

# Lufttätthets inverkan på innemiljön och energianvändningen

Byggnadsskalets lufttätthet har en betydande inverkan på en byggnads innemiljö och energianvändning. Det är viktigt att byggsektorns parter är medvetna om denna inverkan, framförallt är det viktigt att byggherren inser att det finns mycket att vinna på det lufttäta byggnad. Om byggherren ställer krav på byggnadsskalets lufttätthet och hur lufttättheten ska följas upp under projekterings- och byggskedet finns goda förutsättningar för att lyckas.

## Ta lufttätetsfrågorna på allvar

I tidigare projekt *Sandberg & Sikander* (2004) har bland annat visats att;

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

En av slutsatserna från projektet är att det är viktigt att få byggherrarna att ta lufttätetsfrågorna på större allvar. Detta kan ske genom att denna grupp informeras om skadliga konsekvenser av lufttätthet och vad dessa skador/olägenheter ”kostar” i ett livscykelperspektiv. Striktare krav från byggherrar avseende förbättrad lufttätthet kan på sikt innebära att även projektör, entreprenör och materialtillverkare stimuleras till ökade ansträngningar för bättre lufttätthet. Se vidare *Sandberg et al*, (2007).

## Konsekvenser av bristande lufttätthet

Enligt en kartläggning *Sandberg & Sikander*, (2004) är de viktigaste negativa konsekvenserna av bristande lufttätthet de som framgår av *tabell 1*.

Artikelförfattare är **Eva Sikander** och **Per Ingvar Sandberg**, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås, samt **Bengt Larsson**, Högskolan i Halmstad.



*Byggherren har möjlighet att ställa krav på byggnadsskalets lufttätthet och därmed skapa bra förutsättningar för en god innemiljö och effektiv energianvändning.*

## 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.

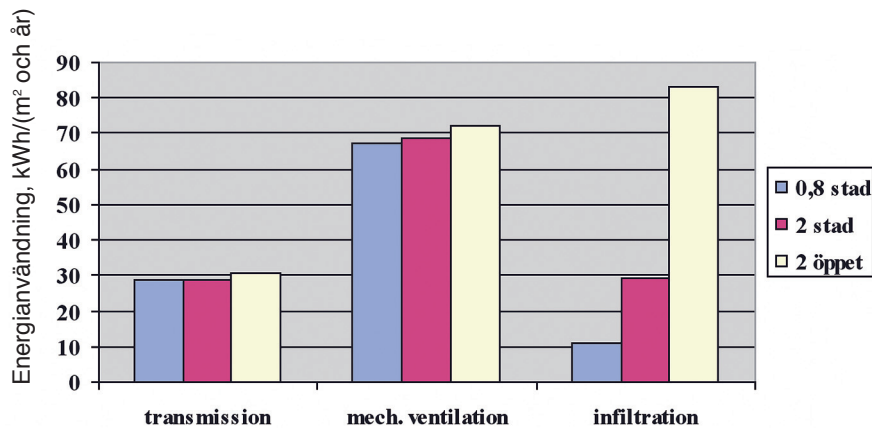
Dålig lufttätthet ger ökad energianvändning eftersom *ventilationsflödet* i de flesta fall *ökar*. Vid kall och blåsig väder-

lek 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 på grund av att ventilationen ökar, se *figur 1 på nästa sida*. Byggnaden är ett flerbostadshus från miljonprogrammet med luftläckage 0,8 l/m<sup>2</sup>s (enligt gamla BBR-kravet) respektive 2,0 l/m<sup>2</sup>s, vilket motsvarar värden som SP ofta mäter upp i

*Tabell 1: Negativa konsekvenser av bristande lufttätthet.*

<b>Energi</b>	Ökad energianvändning, transmissionsförluster Ökad energianvändning, ventilationsförluster
<b>Komfort</b>	Drag Kalla golv
<b>Fukt</b>	Skador av fuktkonvektion
<b>Luftkvalitet</b>	Funktion hos ventilationssystem Spridning av lukter, partiklar, gaser inklusive radon
<b>Annat</b>	Frysrisk hos installationer Försämrad ljudisolerering Brandspridning



Figur 1. Energianvändningen för flerbostadshus, placerade i stadsmiljö respektive i öppet landskap. Beräkningen är utförd vid Chalmers tekniska högskola.

befintliga hus från 1970- och 1980-talen. Byggnaderna är placerade i två olika lägen i landskapet, ett vindutsatt, öppet läge på landsbygden och ett mindre vindutsatt läge i staden.

När den otäta ( $2,0 \text{ l/m}^2\text{s}$ ) byggnaden simuleras i staden står den ofrivilliga ventilationen för 23 procent av den totala energianvändningen och är ungefär lika stor som transmissionsförlusterna. När byggnaden har en normenlig täthet ( $0,8 \text{ l/m}^2\text{s}$ ) är den ofrivilliga ventilationen tio procent av den totala energianvändningen.

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 större än de genom det mekaniska ventilationssystemet och står för så mycket som 45 procent 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 lika effektivt 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. 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 kost-

nader 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.

*Kostnad för oförändrad operativ temperatur.* Lokalt nedkylda ytor, se till exempel figur 2, 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 produktivitetssminskningar vid kontorsarbete.* Omfattande studier visar att produktiviteten i till exempel kontorsarbete minskar vid brister i den termiska komforten. Flera undersökningar visar att en ökning av antalet missnöjda med den termiska komforten med tio procent i runda tal minskar produktivi-

teten med en procent. Intressant att nämna här är att andra undersökningar visat att en ökning av antalet missnöjda med luftkvaliteten med tio procent också medfört en minskning av produktiviteten med en procent. Dessa produktivitetssminskningar kan ha stor betydelse för lokaler med höga personalkostnader, till exempel kontor.

*Kostnader för bad will, klagomål etcetera.* Hyresgäster som upplever dålig termisk komfort klagat troligen hos fastighetsägaren och/eller talar illa om denne och fastigheten. Eventuellt går det så långt att hyresgästen flyttar. Detta innebär direkta kostnader i form av tid för till exempel telefonsamtal, besiktning och administration och indirekta kostnader för bad will som kan orsaka intäktsbortfall eller betalningsovillighet.

### Försämrad luftkvalitet

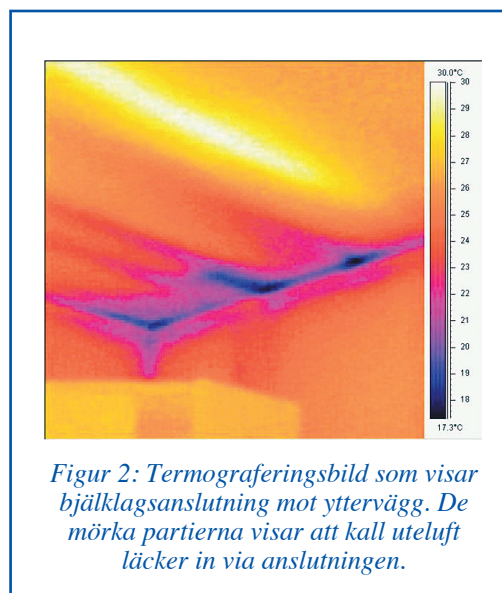
Luftflöde genom otätheter i byggnadsskalet för med sig sitt innehåll av gaser och partiklar. Otätheter kan då utgöra en oönskad spridningsväg för olika typer av ämnen som påverkar luftkvaliteten negativt.

*Spridning mellan lägenheter.* Otätheter i lägenhetsskiljande väggar medför risker för att för att matos, tobaksrök med mera 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 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 luftkvali-



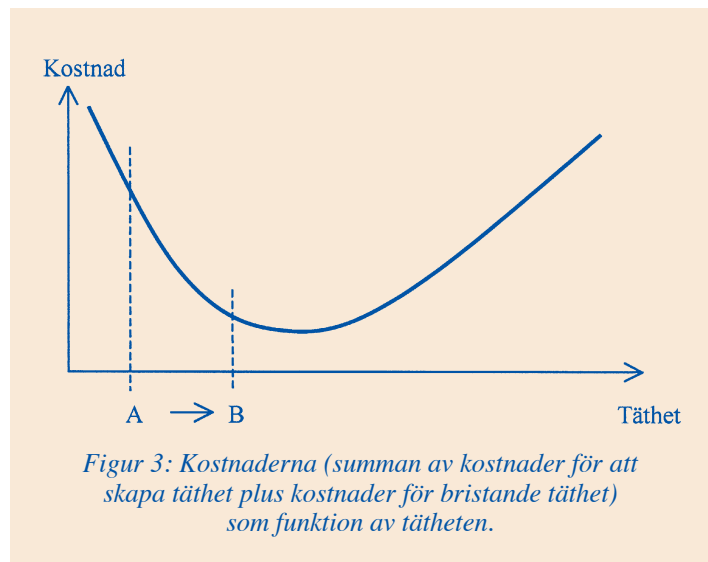
Figur 2: Termograferingsbild som visar bjälklagsanslutning mot yttervägg. De mörka partierna visar att kall uteluft läcker in via anslutningen.

teten 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. Partiklar och lukter kan också frigöras från material i konstruktionen och nå inomhus via lufttätheter. 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 etcetera, men de viktigaste följderna av dålig luftkvalitet har man i arbetslokaler, till exempel kontor och skolor eftersom produktiviteten påverkas negativt av dålig luftkvalitet. En annan konsekvens av låg luftväxling som visats 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 fukt-konvektion och



Figur 3: Kostnaderna (summan av kostnader för att skapa täthet plus kostnader för bristande täthet) som funktion av tätheten.

kan ge allvarliga fuktskador eftersom ganska stora mängder fukt kan kondensera under kort tid. Den viktigaste förutsättningen för att undvika skador av fukt-konvektion är att undvika otätheter och luftläckage.

Risikkostnaden 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.

### Lönsamhet och lufttätt byggande

Den utgångspunkt vi antagit idag är att vi befinner oss vid A i figur 3 och att det skulle vara lönsamt att öka tätheten till exempel till B. Den ökade kostnad en bättre täthet skulle medföra (utbildning, kontroll, dyrare lösningar etcetera) skulle

mer än väl uppvägas av minskade kostnader för otätheter.

Att bygga lufttätt innebär extra kostnader i produktionskedjet, kostnader som i lönsamhetskalkylen betalas tillbaka under kommande år genom till exempel energibesparingar och ökade hyresintäkter. I Sandberg et al, (2007) beskrivs en enkel modell, se exempel i figur 4, som kan ligga till grund för beslut om fastighetsägaren ska 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 lufttätheten och för det andra är det svårt

att i kronor värdera många av de fördelar som man får då byggnaden är lufttät.

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, bättre ljudisolering etcetera – att vara lika betydelsefulla i det långa loppet, även om de inte har tilldelats några konkreta värden i ovanstående kalkyl.

### Byggherrens krav är avgörande

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 projekte-

Indata	Enh (bruksarea)	Kalkyl	Engångs-	Årskostnad
			kostnad	
Ökad arbetstid hus nr 1	0,5 tim/m <sup>2</sup>	<b>Kostnader</b>		
Arbetskostnad	400 kr/tim	Extra arbetstid	190 kr/m <sup>2</sup>	
Kontroll	0,05 tim/m <sup>2</sup>	Ökad kontroll	25 kr/m <sup>2</sup>	
Kontrollantkostnad	500 kr/tim	Utbildning av arbetare	5 kr/m <sup>2</sup>	
Livslängd (LCC)	10 år	Övriga kostnader	20 kr/m <sup>2</sup>	
Kalkylränta	5 %	<b>Summa kostnad</b>	<b>240</b>	<b>31 kr/m<sup>2</sup> och år</b>
Annuitetsfaktor	0,1295	<b>Intäkter</b>		
Utbildningskostnad	20000 kr/projekt	Minskad energiåtgång		55 kr/m <sup>2</sup> och år
Övriga kostnader	20 kr/m <sup>2</sup>	Minskade åtgärder för fuktskador		3 kr/m <sup>2</sup> och år
Antal hus i projektet	2 st	Ökad uthyrningsgrad		5 kr/m <sup>2</sup> och år
BRA per hus	2000 m <sup>2</sup> BRA	Ökad hyresnivå		20 kr/m <sup>2</sup> och år
Inkörningsstal	0,95	Ökad trivsel och komfort		
Inkörningsfaktor ack mvärde	0,95	Minskad spridn av partiklar		
Minskad energiåtgång	55 kWh/m <sup>2</sup> och år	Bättre ljudisolering		
Energikostnad	1 kr/kWh	<b>Summa intäkt</b>		<b>83 kr/m<sup>2</sup> och år</b>
Åtgärder för fuktskador	10000 kr/år och projekt	<b>Täckningsbidrag (TB)</b>		<b>51 kr/m<sup>2</sup> och år</b>
Hyresnivå	1000 kr/m <sup>2</sup> och år	<b>Totalt täckningsbidrag (TTB för projektet)</b>		<b>206 kkr/år</b>
Ökad uthyrningsgrad	0,5 %			
Ökad hyresnivå	2 %			

Figur 4: Lönsamhetskalkyl för projekt med två hyresfastigheter som byggs lufttäta. Alla värden är antagna värden, men modellen kan användas av byggherrar som kan använda egna värden. Modellen är framtagen av Bengt Larsson vid Högskolan i Halmstad.



*Figur 5: Täthetsprovningar utförs med hjälp av fläktar som placeras i en öppning i fasaden. Med hjälp av fläkten skapas ett undertryck respektive övertryck över byggnadsskalet. Läckagesökning med hjälp av värmekamera kan utföras i samband med undertrycket. Det finns fläktar med mindre kapacitet lämpade för små byggnader samt fläktar med stor kapacitet som är lämpade för stora byggnader och hallar.*

ringsskedet. Under byggskedet begränsas oplanerade ändringar föranledda av 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. Våra förslag till byggherrekrav är avsedda att ge byggherrar uppslag inför det egna arbetet med att ställa krav och följa upp dessa så att byggnaderna får god lufttätethet.

Byggherrens ambitionsnivå ligger till grund för de rutiner som ska tillämpas och de krav som formuleras för den lufttätta byggnaden. Ambitionsnivån återspelas framförallt i;

- byggherrens engagemang
- kravformulering
- vilken kompetens som handlas upp
- utbildning/information från byggherrens sida
- byggherrens arbete med att följa upp att kraven uppfylls
- konsekvenser som avtalas om krav ej uppfylls
- eventuella gratifikationer om kraven uppfylls eller vissa angivna nivåer nås.

Byggherrens krav för lufttät byggnad kan vara flera och sträcker sig över flera skeden i byggprocessen;

- en ansvarig för lufttätetsfrågorna ska anges hos projektören

- projekteringen ska ge förutsättningar för att byggnaden uppfyller täthetskravet, som kan vara (beroende på ambitionsnivå och andra förutsättningar) 0,2 till 0,6 l/m<sup>2</sup> vid 50 Pa tryckskillnad

- projekteringen ska ge goda förutsättningar för lufttätethet som är beständig
- projektering för lufttät byggnad ska tydligt redovisas på detaljnivå
- en ansvarig för byggnadens lufttätethet utses av entreprenören
- arbetsplanering ska utföras och en plan för egenkontroller ska upprättas
- utbildning av personal på byggarbetsplats ska genomföras
- resultat från egenkontroller ska dokumenteras
- mätningar och läckagesökning ska genomföras i tidigt skede
- verifierande mätning ska genomföras vid färdigställande av byggnadens klimatskal och ska uppfylla det aktuella täthetskravet.

För vidare information om förslagen till byggherrens krav och arbete för fukt-säker byggnad, se Sandberg et al, (2007). I rapporten redovisas även ett antal goda exempel på lufttät byggnad.

Den metod som används för verifiering av en byggnads lufttätethet är i de flesta fall en standardiserad metod som beskrivs i EN 13829:2000, se figur 5. 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 ett viktigt syfte med projektet varit att öka kunskapen om konsekvenserna av brister i lufttätetheten har ett omfattande informationsmaterial om lufttät byggnad tagits fram som byggsektorns aktörer kan ta del av och sprida:

- "Tidningen" *Lufttätethets lov* på fyra sidor innehåller de viktigaste resultaten och är avsedd att spridas i hela byggsektorn.
- Affischen "Täta tätt!" i A3-format eller större är avsedd att hängas upp i byggboddar och korridorer för att göra olika aktörer inom byggsektorn uppmärksamma på behovet av bättre lufttätethet.
- Powerpointpresentationen "Otätetheten suger" innehåller cirka 50 bilder med kommentarer om konsekvenser och kostnader av bristande lufttätethet.
- Slutligen har en populärversion av projektets slutrapport, "Lufttätethets handbok", tagits fram med de viktigaste resultaten och deras bakgrund.

Allt informationsmaterial finns tillgängligt på bland annat SP:s hemsida för att laddas ner utan kostnad.

Projektet som artikeln bygger på har finansierats via SBUF och Byggekostnadsforum. ■

## Referenser

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

Sandberg, P.I., Sikander, E., Wahlgren, P. och Larsson, B., 2007. *Lufttätetsfrågorna i byggprocessen – Etapp B. Tekniska konsekvenser och lönsamhetskalkyler*. SP Rapport 2007:23 från SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.