

## RAPPORT:

# LUFTTÄTHET I KONTORSBYGGNADER - MÄTNINGAR OCH BERÄKNINGAR



**Åke Blomsterberg**

2009-03-30



## Innehållsförteckning

|  |    |
|--|----|
| Sammanfattning .....   | 5  |
| Bakgrund .....   | 6  |
| Genomförande .....   | 9  |
| Syfte .....  | 9  |
| Testobjekt .....   | 9  |
| Metodik .....  | 10 |
| Projektdeltagare .....   | 10 |
| Lufttätetsprovning .....   | 11 |
| Tätetsprovning med blower doors .....  | 11 |
| Tätetsprovning med byggnadens egna ventilationssystem .....                                  | 12 |
| Tätetsprovning med blower doors och byggnadens egna ventilationssystem.....                  | 12 |
| Bestämning av luftläckagevägar .....   | 12 |
| Beräkning av energianvändning och lufttätet .....  | 13 |
| Resultat .....   | 13 |
| Genomförande av lufttätetsprovningarna.....  | 13 |
| Lufttätet .....  | 14 |
| Luftläckagevägar.....  | 17 |
| Energianvändning – lufttätet.....  | 17 |
| Förslag till metodik för tätetsprovning .....  | 23 |
| Tätetsprovning med byggnadens egna ventilationssystem .....                                  | 23 |
| Tätetsprovning med blower doors .....  | 24 |
| Summering.....   | 24 |
| Referenser .....   | 25 |
| Bilaga 1 Bestämning av lufttätet med blower doors och läckagesökning med<br>värmekamera..... | 27 |
| Bakgrund.....  | 28 |
| Bestämning av lufttätet .....  | 28 |
| Mätförfarande .....  | 28 |
| Tätetskrav.....  | 30 |
| Resultat tätetsprovning.....   | 31 |
| Bedömning avseende bestämningen av lufttäteten .....   | 33 |
| Termografering .....   | 35 |
| Mätförfarande .....  | 35 |
| Förutsättningar .....  | 35 |

|   |    |
|---|----|
| Resultat från termografering .....  | 36 |
| Bedömning.....  | 38 |
| Bilaga 2 – Bestämning av lufttätthet med byggnadens ventilationssystem - mätdata. ... | 39 |

## Sammanfattning

Kontorsbyggnaders lufttätethet påverkar energianvändningen och den termiska komforten. En otät byggnad kan ha hög energianvändning och problem med den termiska komforten. Kunskapen om verklig lufttätethet för svenska kontorsbyggnader och täthetens konsekvenser för energianvändningen är mycket låg. För att säkert kunna uppskatta lufttäthetens inverkan krävs täthetsprovning av hela byggnaden.

Två olika metoder att täthetsprova en hel byggnad t.ex. en kontorsbyggnad har provats i en kontorsbyggnad. Den första metoden innebär att byggnadens egna ventilationssystem används och den andra att ett antal blower doors används. Båda metoderna är användbara. Metoderna kan kombineras t.ex. för att med blower doors hålla mottryck i en del byggnaden, som av praktiska skäl inte tas med i provningen. Valet av metod beror på de förutsättningar provningsobjektet ger. Börja med att uppskatta byggnadens lufttätethet. Hur enkelt är det att styra byggnadens ventilationssystem och är kapaciteten tillräcklig? Hur kan luftflödet i byggnadens ventilationssystem mätas? Finns det möjlighet att montera blower doors i fasaden?

För stora byggnader torde provning med byggnadens egna ventilationssystem vara att föredra. En provning under byggproduktionen kan ofta endast genomföras med blower doors. För många byggnader där kapaciteten hos två blower doors skulle räcka för en täthetsprovning är förmodligen denna metod den enklaste att använda.

De två metoderna är användbara för provning av hela kontorsbyggnader, flerbostadshus, industrilokaler och andra lokaler. För flerbostadshus torde framförallt metoden med blower doors vara tillämplig eftersom ventilationssystemet förmodligen har otillräcklig max kapacitet, om inte byggnaden är mycket tät.

En täthetsprovning är endast komplett om den kompletteras med en läckagesökning.

Genomförd provning visar att resultatet från en provning är känsligt för väderförhållandena som råder vid provningstillfället. Om rekommendationerna (väderförhållanden vid provning och antal mätpunkter för tryck) i den kanadensiska standarden följs, så finns det i de flest fall förutsättningar för att kunna genomföra en provning och få användbara resultat.

Resultatet från den genomförda täthetsprovningen visar en god lufttätethet. Tidigare krav enligt BBR på lufttätethet angav 1,6 l/sm<sup>2</sup> vid 50 Pa för lokaler och 0,8 l/sm<sup>2</sup> för bostäder. Den provade byggnaden uppfyller alltså, med sina 0,7 l/sm<sup>2</sup> även kravet som gäller för bostäder. Alla byggnader provade i USA, Canada och England är otätare.

För den testade byggnaden ökar årsenergianvändningen för värme med ca 20 % jämfört med en helt tät byggnad, medan kylan inte påverkas nämnvärt. Om byggnaden endast hade uppfyllt det gamla BBR-kravet för lokaler, så hade ökningen varit ca 40 %.

Läckagesökningen visade luftläckage framförallt i anslutning mellan olika fasadelement och mellan fasad- och takelement. Dessa otätheter torde vara svåra att åtgärda i efterhand. Under byggproduktionen hade det varit mycket lättare.

Ett bra sätt att säkerställa lufttätheten i nyproduktion är att genomföra täthetsprovningar under byggproduktion, eftersom det är betydligt enklare att åtgärda täthetsbrister innan byggnaden är helt färdig.

För att undvika otäta byggnader bör redan vid projekteringen lufttätningen för alla detaljer redovisas. Under byggproduktionen bör alla vara medvetna om täthetskraven och hur tätheten löses i praktiken och vikten av ett fullgott praktiskt utförande.

## Bakgrund

Det är väl bekant att byggsektorn innehar en nyckelroll i omställningen till hållbar utveckling. Sektorn representerar omfattande ekonomiska, sociala och kulturella värden, samtidigt som den orsakar omfattande miljöpåverkan genom en hög användning av material och energi. Det finns idag uttalade mål för såväl miljöanpassning och energieffektivisering, som formulerats av Byggsektorns kretsloppsrad och i ByggaBodialogen ([www.byggabodialogen.se](http://www.byggabodialogen.se)). I korthet kan man säga att det rör sig om en total minskning av energianvändningen med 10 % fram till år 2010, och med 30 % till år 2025, jämfört med år 2000 ([www.kretsloppsradet.com](http://www.kretsloppsradet.com)) (Miljövårdsberedningen 2000)). Det är värt att notera att ambitionerna satts upp av företrädare för sektorn, och att målen anses möjliga att uppnå.

En betydande del av energianvändningen inom byggsektorn ansvarar kontorsbyggnader för. Den totala energianvändningen för ett kontor är i genomsnitt 220 kWh/(m<sup>2</sup>år). Därav är elanvändningen 108 kWh/(m<sup>2</sup>år), varav 57 kWh/(m<sup>2</sup>år) är verksamhetsel, varav 23 kWh/(m<sup>2</sup>år) är belysning. Detta enligt en undersökning i 123 kontors- och förvaltningsbyggnader av olika ålder (Persson 2007). 69 % av ytan i alla kontorsbyggnader är uppvärmd med fjärrvärme och den genomsnittliga fjärrvärmeanvändningen är 110 kWh/(m<sup>2</sup>år) med 92 kWh/(m<sup>2</sup>år) för byggnader med byggår 1991-2000 (SCB 2006). Många utredningar pekar på en betydande energieffektiviseringspotential för kontorsbyggnader.

Både nya och gamla kontorsbyggnader har en stor potential för energieffektivisering och inneklimatförbättring. Många nya kontor må ha en lägre energianvändning för uppvärmning, men har i gengäld ofta en högre elanvändning jämfört med äldre kontor, vilket beror på hög elanvändning för ventilation, kyla, belysning och kontorsutrustning. Även i äldre kontorsbyggnader har elanvändningen ökat, framförallt pga. kontorsutrustning.

En viktig parameter vad beträffar energianvändningen för uppvärmning och kyla, samt inneklimatet är byggnadens lufttätethet. I en otät byggnad ökar energianvändningen pga. okontrollerat luftläckage. Luften som läcker in och ut genom klimatskärmen passerar t.ex. inte ventilationsvärmväxlaren. Det okontrollerade luftläckaget kan bidra till komfortproblem i form av drag, som kan resultera i att innetemperaturen höjs för att förbättra komforten. Detta leder i sin tur till en ökad energianvändning.

En amerikansk studie (Persily 1998) har sammanställt mätningar av lufttätethet från 139 lokaler i USA (kontor, skolor, affärer, industrier), Kanada (kontor, skolor), England (kontor), samt Sverige (industrier) (se tabell 1). Studien visar en stor spridning i täthet, allt från täta till mycket otäta byggnader. Några direkta slutsatser kunde inte dras. Olika metoder för att mäta lufttätetheten hade använts. I några fall hade byggnadens egna ventilationssystem använts och mätningarna gjorts enligt en kanadensisk standard (CSGB). I många fall användes en mycket stor fläkt, typ den utrustning, som tidigare fanns på SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut i Borås.

Tabell 1. Sammanställning över uppmätt lufttäthet relaterad till omslutningsarean,  $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$  vid 75 Pa, i 139 lokaler (Persily 1998).

| Dataset             | Antal byggnader | Medel | Standardavvikelse | Min  | Max   |
|---------------------|-----------------|-------|-------------------|------|-------|
| NIST kontor, USA    | 8               | 15,3  | 12,3              | 3,9  | 43,3  |
| NRC kontor, Canada  | 8               | 10,6  | 5,4               | 4,9  | 22,5  |
| BRE kontor, England | 10              | 23,3  | 11,9              | 10,8 | 41,7  |
| Kontor, Florida     | 22              | 36    | 28,6              | 5,8  | 124,5 |
| Skolor, New York    | 13              | 8,5   | 4,3               | 2,7  | 14,7  |
| NRC skolor, Canada  | 11              | 28,3  | 8,4               | 17,6 | 44,1  |
| Skolor, Florida     | 7               | 24,5  | 15,4              | 10,9 | 53,9  |
| NRC, affärer        | 10              | 49,3  | 19,6              | 20,6 | 71,3  |
| Florida, affärer    | 6               | 33    | 24,9              | 4    | 75,1  |
| Industri, Sverige   | 9               | 20,3  | 17,4              | 2,7  | 71,3  |
| Industri, Florida   | 9               | 41,4  | 26,6              | 12,6 | 97,1  |
| Blandat, Florida    | 25              | 34    | 23,1              | 4    | 124,5 |

En annan amerikansk studie (Emmerich 2005) drar slutsatsen att okontrollerat luftläckage kan svara för 1/3 av uppvärmningsbehovet i ett typiskt amerikanskt kontor (motvarande en infiltration på 0,35 oms/h) och en mindre del av kylbehovet. Det sistnämnda beror i hög grad på klimatet. Beräkningarna gjordes med ett flercells luftflödessimuleringsprogram och ett dynamiskt byggnads energisimuleringsprogram. Slutsatsen baseras på beräkningar av infiltrationen för 25 amerikanska kontorsbyggnader, som är utvalda för att vara representativa för amerikanska kontorsbyggnader. Använd lufttäthet för dessa byggnader baserar sig på mätdata från ovannämnda 139 lokaler. Lufttätheten uppskattades till att variera mellan 3,3 och 15  $\text{cm}^2/\text{m}^2$  vid 10 Pa tryckskillnad mellan ute och inne. Medelvärdet på lufttätheten är 7  $\text{cm}^2/\text{m}^2$  vid 10 Pa. Kravet enligt BBR94 var för lokaler 1,6  $\text{l}/\text{sm}^2$  vid 50 Pa, vilket motsvarar ca 2  $\text{cm}^2/\text{m}^2$  vid 10 Pa. De 25 amerikanska kontorsbyggnaderna har en genomsnittlig golvarea på 26 000  $\text{m}^2$  och en genomsnittlig höjd på 8 våningar. Den största byggnaden är på 230 000  $\text{m}^2$  och den minsta på 600  $\text{m}^2$ . Lägsta höjd är 1 våning och högsta 45 våningar.

En tredje amerikansk studie (Emmerich 2005b) har beräknat hur mycket energibehovet för uppvärmning och kyla skulle kunna sänkas i dessa byggnader om lufttätheten förbättrades till en rimlig nivå. För kalla klimat var resultatet att energisparpotentialen är ca 1/3.

I en fjärde amerikansk studie täthetsprovades ASHRAEs huvudkvarter (Brennan 2007), en glasbyggnad med en golvarea på 2 800  $\text{m}^2$ . Byggnaden byggdes 1965. Täthetsprovningen genomfördes inför en renovering för att förbättra byggnadens prestanda. Vid provningen användes tre blower doors ([www.energyconservatory.com](http://www.energyconservatory.com)). Lufttätheten visade sig vara 12  $\text{m}^3/\text{hm}^2$  vid 75 Pa, vilket motsvarar ca 5  $\text{cm}^2/\text{m}^2$  vid 10 Pa. I studien påpekas bl.a. att antalet genomförda täthetsprovning av lokaler är begränsat, men att

dessa mätningar visar att lokaler generellt sett är mycket otäta och att det inte finns någon trend mot förbättrad lufttäthet för nyare byggnader.

I en svensk studie (Sandberg 2004) visas bl.a. att allttjämt

- 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.

De enda kända lufttäthetsmätningar av större byggnader i Sverige är mätningar genomförda av Sveriges Tekniska Forskningsinstitut av industribyggnader (Lundin 1986) och glasgårdar (Wall och Blomsterberg 1993). Dessa mätningar genomfördes med en stor fläkt, som är lätt flyttbar, tack vare att den är fast monterad på en släpvagn. Kunskapen om verklig lufttäthet för svenska kontorsbyggnader och täthetens konsekvenser för energianvändning är alltså mycket begränsad. Dessutom saknas en genomtänkt praktiskt tillämpbar mätmetod för att bestämma den totala lufttätheten för en större byggnad. Fältmätningar av lufttätheten för en del av en fasad eller en komponent har genomförts, med hjälp av en tryckkammare (Adalberth 1998). Vid sådana mätningar är det svårt att exakt bestämma luftläckaget genom provad fasaddel, vilket bidrar till svårigheter att bestämma luftläckaget för hela byggnaden. Vid provning med tryckkammare kan en del av luftläckaget ske vid anslutning mellan tryckkammare och fasad, samt i sidled i fasaden. Risken för luftläckage kan minskas genom att med hjälp av en andra fläkt säkerställa att tryckdifferensen mellan tryckkammaren och övrig byggnad är 0 Pa. Ett annat problem vid provning med tryckkammare är hur representativ provad fasaddel är för hela byggnaden.

Önskvärt vore att beställare kunde ställa krav på täthet för större byggnader. Att sedan kunna testa att kravet är uppnått på ett korrekt sätt med vedertagna metoder är en förutsättning. Detta skulle kunna vara en kvalitetsparameter både för projektering och utförande samt att tidiga tester (mätningar och läckagesökningar) av byggnaden under byggproduktionen kan hjälpa entreprenören att uppnå erforderlig täthet. När byggnadens klimatskärm är färdigställd genomförs verifierande mätningar (Sandberg 2007).

Det finns dessvärre ingen enkel beräkningsmetod eller tumregel för att relatera en byggnads lufttäthet till luftläckaget för t.ex. en kontorsbyggnad i drift. Detta pga. svårigheter att bestämma alla läckagevägars placering och karaktäristik, samt att bestämma vindformfaktorerna (Blomsterberg 1990). Därtill kommer dessa byggnaders komplexitet och inverkan av ventilationssystemet. Om lufttätheten är känd kan en uppskattning av luftläckagevägarna genom klimatskärmen göras med termografering. Därefter kan därtill hörande energianvändning göras med t.ex. IDA ICE. Ju tätare klimatskärmen är desto mindre är detta luftläckage.

Med anledning av ovan beskrivna förhållanden initierades ett projekt med syftet att bidra till god lufttätning av kontorsbyggnader för att:

- ge god komfort för brukarna
- hushålla med energi
- kontrollera ventilationen
- minska risken för fuktskador

Projektet har finansierats av SBUF, Midroc, WSP och Precisionsteknik.



## Genomförande

### Syfte

Syftet för denna studie är att utvärdera och jämföra olika mätmetoder för att bestämma lufttätheten för kontorsbyggnader.

Delsyften är att

- ta fram en enkel mätmetodik för att bestämma lufttätheten för större byggnader såsom kontorsbyggnader
- bestämma lufttätheten för en kontorsbyggnad
- undersöka hur lufttätheten påverkar framförallt energianvändningen för uppvärmning och kyla.

Syftet är att utgående från existerande mätmetoder ta fram en mätmetodik för att kunna täthetsprova den omslutande ytan, klimatskärmen, för en hel större byggnad t.ex. ett större kontor. Metoden skall vara praktiskt genomförbar och ge reproducerbara resultat. Detta torde innebära provning med hjälp av flera mindre fläktar och/eller byggnadens egna ventilationssystem. Under provningen hålls alla öppningar i klimatskärmen stängda dvs. ventiler i fönster och ytterväggar skall vara stängda. Öppningar i ventilationskanaler t.ex. ventilationsdon tätas. Ev. angränsande volymer kan behöva avtätas och/eller sättas under mottryck. Alla innerdörrar är öppna under provningen.

### Testobjekt

En modern kontorsbyggnad studerades, tillhörig Midroc Property, World Trade Center i Malmö. Byggnaden färdigställdes 2007 och innehåller WSPs nya kontor.

För byggnaden har en noggrann uppföljning av energianvändningen och inneklimat genomförts under systemhandlings- och bygghandlingsskedet, samt under byggproduktionen. Uppföljningen har bl.a. inneburit detaljerade energisimuleringar med IDA ICE. Uppföljningen har finansierats av beställargruppen för lokaler, [www.belok.se](http://www.belok.se). Belok har även beviljat finansiering av en uppföljning av energi och inneklimat i den färdiga byggnaden under 2009-2010. WSP flyttade in i november 2007 och hyr ca 2/3 av byggnaden.

Kontorsbyggnaden har en area på ca 6 700 m<sup>2</sup> BRA eller 5 800 m<sup>2</sup> LOA, omfattande tre kontorsplan (plan 3 - 5) med planmått ca 90 m x 17 m, samt två plan (plan 1 - 2) med konferensrum, reception m.m. Fönsterandelen av fasaden är ca 53 % och glasandelen ca 48 %. Yttre rörlig solavskärmning mot söder, väster och öster finns och är placerad i en dubbelskalsfasad. Enkel- och dubbelskalsglasfasaden är en prefabricerad glasfasad. Ventilationssystemet är ett behovsstyrt (VAV-ventilation) mekaniskt från- och tilluftssystem med värmeåtervinning.

Sammanfattningsvis:

- Kontorsbyggnad med total 5 plan
- 6 700 m<sup>2</sup> BRA eller 5 800 m<sup>2</sup> LOA
- Glasfasad av dubbelskalstyp
- ”Yttre” rörlig solavskärmning mot väster, söder och öster

- Behovsstyrd FTX (VAV-ventilation)
- Stor flexibilitet (enkelt att skifta mellan kontorslandskap och cellkontor)
- Kravspecifikation inneklimat och energi

## Metodik

Hypotesen är att i många fall kan en täthetsprovning genomföras med hjälp av byggnadens egna ventilationssystem. En utvärdering och jämförelse mellan tre alternativa metoder för täthetsprovning genomfördes.

De tre metoderna är:

- Täthetsprovning med hjälp av samtidig användning av ett antal blower doors (portabla fläktar), [www.energyconservatory.com](http://www.energyconservatory.com). Förra året testades denna metod för en kontorsbyggnad vid SBI i Danmark.
- Täthetsprovning med byggnadens egna ventilationssystem. En kanadensisk standard för denna typ av mätningar tillämpades (CGSB 1996).
- En kombination av befintligt ventilationssystem och portabla fläktar.

Med hjälp av täthetsprovningarna bestäms klimatskärmens täthet. Läckagesökning görs med rök och med hjälp av värmekamera.

## Projektdeltagare

Projektet har genomförts av en projektgrupp (se tabell 1).

| Ansvarsområde                        | Namn   | Företag                      |
|--------------------------------------|--|------------------------------|
| Projektleddning                      | Projektleddare tekn.dr. Åke Blomsterberg   | WSP Environmental i Malmö    |
| Byggnads- och installationsteknik    | Civ. ing. Rikard Sjöqvist  | Midroc Projects i Malmö      |
| Byggnadsteknik – byggproduktion      | Ing. Bengt Bengtsson   | Allbygg i Höganäs            |
| IDA-ICE simuleringar                 | Byggnadsfysiker civ. ing. Hans Wetterlund, som genomförde de ursprungliga IDA ICE beräkningar för WSPs nya kontor i Malmö. | WSP Environmental i Göteborg |
| Täthetsprovningar och läckagesökning | Civ. ing. Tobias Mårtensson<br>Civ. ing. Hans Wetterlund<br>Civ. ing. Hans Fredin<br>Civ. ing. Jan Trygg                   | WSP Environmental i Malmö    |

Rikard Sjöqvist, Midroc Projects, har varit projektleddare uppförandet av kontorsbyggnaden, som ingår i detta projekt. Midroc förvaltar även byggnaden.

Allbygg i Höganäs AB har varit byggtreprenör för kontorsbyggnaden. Vd för Allbygg, Bengt Bengtsson, har lång erfarenhet av byggtreprenader för bl.a. kontorsbyggnader.

Samarbete har skett med Andrew Persily vid National Institute of Standards and Technology (USA), som bl.a. ansvarar för en databas med resultat från täthetsprovningar av lokaler.

En referensgrupp har varit knuten till projektet. I gruppen ingick beställaregruppen lokaler genom Rikard Sjöqvist från Midroc, samt Eva Sikander från Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Leif Svensson från Wihlborgs, Henrik Swärd från Precisionsteknik Nordic och Johnny Kronvall från Institutet för hållbar stadsutveckling vid Malmö stad och Högskola.

## Lufttäthetsprovning

Täthetsprovning av en byggnad innebär att byggnaden sätts under över- eller undertryck med fläkt. Luftflödet genom fläkten och tryckskillnaden mellan ute och inne mäts. Tryckskillnaden varierar stegvis mellan t.ex. 10 och 70 Pa. Under provningen måste alla ventilationsöppningar mellan inne och ute vara stängda och tätade. Syftet är att bestämma lufttätheten för byggnadsskalet dvs ytterväggar, tak och golv. Denna täthet påverkar funktionen hos byggnadens ventilation, samt energianvändningen och den termiska komforten.

Täthetsprovningarna kräver en omfattande genomgång av tillvägagångssättet. Oavsett metod måste ett stort antal ventilationsöppningar blockeras och ev. angränsande byggnader avskiljas. Dessutom måste ett stort antal innerdörrar vara öppna under provningarna. Ventilationssystemet behöver, framförallt i den första metoden, tvångsstyras. Tryckskillnaden mellan ute och inne måste säkerställas i hela byggnaden under provningen, vilket kräver mätningar på flera ställen i byggnaden.

## Täthetsprovning med blower doors

Uttdrag från den Europeiska standarden: Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization (CEN 2000):

- Stäng och täta alla ventilationsöppningar i klimatskalet.
- Blockera och täta alla ventilationsdon, samt kontrollera tätningarna efter trycksättning av byggnaden.
- Genomför en nolltrycksmätning före.
- Anslut fläkten ”blower door” till klimatskalet med hjälp av ett fönster, en ytterdörr eller en ventilationsöppning.
- Skapa en tryckskillnad 10 – 60 Pa, i steg om  $\leq 10$  Pa med hjälp av fläkten, minst fem steg
- Genomför en nolltrycksmätning efteråt.

Denna standard har mer detaljerade krav på genomförandet än den kanadensiska för provning med ventilationssystemet.

En blower door en kapacitet på ca 8 500 m<sup>3</sup>/h vid en tryckskillnad på 50 Pa.

### Täthetsprovning med byggnadens egna ventilationssystem

Utdrag från kanadensisk standard: Determination of the Overall Envelope Airtightness of Buildings by the Fan Pressurization Method Using the Building's Air Handling Systems (CSGB 1996):

- Kalibrera luftflödesmätare ( $\pm 5\%$ ), tryckgivare ( $\pm 1$  Pa), temperaturgivare ( $\pm 1$  °C)
- Vid provning bör följande klimatförhållande råda

| Byggnadshöjd, våningar | Utetemperatur, °C | Vindhastighet, m/s |
|------------------------|-------------------|--------------------|
| $\leq 10$              | $\geq 5$          | $\leq 5$           |
| 11 – 20                | $\geq 8$          | $\leq 5$           |
| 21 – 30                | $\geq 10$         | $\leq 5$           |
| $\geq 31$              | $\geq 15$         | $\leq 5$           |

- Tryckskillnad mellan inne och ute mäts relativt ett inre tryckuttag på halva byggnadshöjden,  $H/2$ , för mark- och taknivå på läsidan.
- Tryckutjämnande box används ute för mätning av tryckskillnad mellan ute och inne
- Stäng alla fönster och dörrar mot ute
- Öppna alla innerdörrar
- Stäng av alla T-lufts- eller alla F-luftsfläktar
- Blockera och täta alla ventilationsöppningar i klimatskalet, samt kontrollera tätningarna efter trycksättning av byggnaden
- Skapa en tryckskillnad 0 – 75 Pa med hjälp av byggnadens ventilationssystem. Gör åtminstone mätningar vid fyra olika tryckskillnader.
- Bestäm  $Q = C (\Delta P)^n$  medelst regression (luftflöde som funktion av tryckskillnaden mellan ute och inne), där

$Q$  = luftflöde

$C$  = tryckfaktor

$\Delta P$  = tryckskillnad mellan ute och inne

$n$  = flödeskoefficient

### Täthetsprovning med blower doors och byggnadens egna ventilationssystem

Ovan nämnda metoder kan kombineras t.ex. för att med blower doors hålla mottryck i en del byggnaden, som av praktiska skäl inte tas med i provningen. En annan anledning är om man vill täthetsprova en del av byggnaden t.ex. ett rum, i så fall kan en blower door användas för detta rum och byggnadens ventilationssystem håller ett mottryck i övriga byggnaden.

### Bestämning av luftläckagevägar

Byggnaden försattes under undertryck med hjälp av befintligt ventilationssystem.

En värmekamera användes för att kontrollera skillnader i ytemperaturer på klimatskärmens insida. Efter att ha försatt byggnaden i undertryck i ca ½ timme kan man med hjälp av värmekamera urskilja otätheter där uteluft strömmar förbi och kyler ner klimatskärmen. Där nedkylda ytor kan påvisas och luftläckage kan misstänkas, kontrolleras luft rörelser med indikeringsrök för att bekräfta om det är luftläckage eller inte.

## Beräkning av energianvändning och lufttäthet

Energiberäkningar genomfördes för att bestämma energianvändningens beroende av lufttätheten. Utgångspunkten var IDA ICE beräkningar som redan gjorts för denna byggnad under projekteringen. Beräkningarna baseras på de för byggnaden projekterade värdena på luftflödena i ventilationssystemet, lufttemperaturen i byggnaden, uppmätt täthet, uppskattning av läckagevägarnas placering etc.

Tidigare genomförda IDA ICE beräkningar upprepades således med verklig lufttäthet för klimatskärmen (Blomsterberg 2007). IDA ICE innehåller en luftflödesmodell med indata bl.a. i form av läckageareor, vilket innebär att resultaten från täthetsprovning och läckagesökning kan användas.

## Resultat

### Genomförande av lufttäthetsprovningarna

Planering och förberedelser för själva mätningen kan vara tidskrävande, men är mycket viktiga för att uppnå lyckade mätningar. En förbesiktning av testobjektet kan behövas för att bestämma hur byggnaden skall avgränsas, vilka genomföringar och ventilationsöppningar som måste tätas och hur dessa kan tätas, var större luftläckage kan finnas, hur ventilationssystemet kan styras och stängas av, var och hur tryckskillnaderna kan mätas.

Tättningsarbetet av ventilationsöppningar och andra genomföringar kan vara tidskrävande.

Täthetsprovningarna med hjälp av det inbyggda ventilationssystemet kräver god kunskap om SÖ-systemet (styr- och övervakningssystem) för byggnaden ifråga. Detta för att kunna styra och kontrollera ventilationsflödet och uppnå önskvärda tryckskillnader.

Mätningarna av tryckskillnaden mellan ute och inne är omständlig och tidskrävande, om ambitionen är att mäta tryck för olika fasader och höjder för att öka mätnoggrannheten. Få mätpunkter för tryck ökar osäkerheten i mätresultaten, eftersom tryckskillnaderna kan variera från fasad till fasad, även om randvillkoren (vindhastighet och utetemperatur) enligt den kanadensiska standarden uppfylls. Ingen av de tillämpade mätstandarderna kräver dock mer än två tryckmätpunkter. Tryckmätningarna skulle underlättas av någon form av automatisk lagring av mätdata.

Om en täthetsprovning genomförs med byggnadens egna ventilationssystem, så kan luftflödesmätningen vara ett problem. I många (de flesta äldre) kontorsbyggnader finns nämligen inte fasta mätuttag för mätning av luftflöde. I många fall är det då önskvärt att kunna mäta luftflödena i ventilationskanalerna med spårgasteknik.

Vad beträffar täthetsprovning med flera blower doors gäller det att säkerställa att de går att montera i fasaden, att vägguttag(en) har tillräcklig kapacitet.

## Lufttätthet

Den provade byggnaden räknas som *annan byggnad* avseende uppställda krav om lufttätthet. Enligt BBR 10, kapitel 9:212 skall byggnadens klimatskärm vara så tät att det genomsnittliga luftläckaget vid  $\pm 50$  Pa tryckskillnad ej överstiger  $1,6$  l/s per  $m^2$  omslutande area.

Med omslutande yta menas sammanlagd area ( $m^2$ ) för omslutande byggnadsdelars ytor mot uppvärmd inneluft. Med omslutande byggnadsdel avses sådan byggnadsdel som begränsar uppvärmda delar av bostäder eller lokaler mot det fria, mot mark eller mot delvis uppvärmt eller icke uppvärmt utrymme.

Provningsen omfattade WSPs del av byggnaden dvs. ca  $2/3$  av kontorsbyggnaden. Det hade varit möjligt att prova även hela byggnaden, men detta hade inneburit att en restaurang m.m. i en lägre mellanbyggnad hade ingått. Denna mellanbyggnad hade varit mycket svår att avskilja. Skiljeväggen (en brandvägg) mellan del 1 (hyrs av WSP) och del 2 (småkontor), som i sin tur är kopplad till mellanbyggnaden, var en naturlig avgränsning. Denna skiljevägg har inte medräknats i beräkningen av luftläckaget, eftersom det är en innervägg. Ett kontrollerat mottryck har säkerställt över skiljeväggen under täthetsprovningsen. Mottrycket åstadkoms med byggnadens ventilationssystem. Det var möjligt tack vare att ett fläktsystem ventilerade del 1 och ett annat del 2. Hade detta inte varit möjligt hade mottrycket kunnat åstadkommas med blower doors.

Golvytan på plan 1 angränsar mot ett delvis uppvärmt garage (skiljer två brandceller åt) och har ej medräknats som omslutande yta. Dörrar mot garage har särskilt tätats under testet.

Resultatet från en täthetsprovning utvärderas med följande ekvation:

$$Q = C_L (\Delta P)^n \text{ där}$$

$Q$  = luftflöde, l/s

$C_L$  = tryckfaktor,  $l/(s Pa^n)$

$\Delta P$  = tryckskillnad mellan ute och inne, Pa

$n$  = flödeskoefficient

Lufttätthet, uppmätt med två blower doors, vid  $-50$  Pa tryckskillnad (undertryck) är  $0,61$  l/s per  $m^2$ , med en mätosäkerhet på  $\pm 14$  %. Detta baseras på mätningar av tryckskillnaden på två olika punkter (se bilaga 1).

|       |                |      |
|-------|----------------|------|
| $C_L$ | $[l/(s Pa^n)]$ | 102  |
| $n$   | $[-]$          | 0,79 |

Lufttätthet, uppmätt med ventilationssystemet, vid  $-50$  Pa tryckskillnad (undertryck) är  $0,73$  l/s per  $m^2$ . Detta baseras på mätningar av tryckskillnaden på sju olika punkter (se tabell 1). Dessa tryckskillnader uppvisar stora skillnader från fasad till fasad pga. vindtrycket trots att måttlig vindhastighet rådde vid mättillfället,  $1 - 5$  m/s (se även bilaga 2). Medeltryckskillnaden har beräknats.

Tabell 1 Placering av mätpunkter för tryckskillnad, fasad och höjd över mark. Söder-, väster- och österfasad är en dubbelskalsfasad. Öster- och västerfasad är gavlar.

|                   |       |       |      |      |        |        |       |
|-------------------|-------|-------|------|------|--------|--------|-------|
| Fasad             | söder | söder | norr | norr | väster | väster | öster |
| Höjd över mark, m | 9,7   | 17,7  | 0,5  | 21,6 | 9,7    | 17,7   | 0,6   |

|                      |                          |      |
|----------------------|--------------------------|------|
| <b>C<sub>L</sub></b> | [l/(s Pa <sup>n</sup> )] | 178  |
| <b>n</b>             | [-]                      | 0,70 |

Lufttäthet, uppmätt med ventilationssystemet, vid – 50 Pa tryckskillnad (undertryck) är 0,76 l/s per m<sup>2</sup>. Detta är samma mätning som föregående men utvärderingen baseras på mätningar av tryckskillnaden på sju olika punkter. Medeltryckskillnaden har beräknats med viktning efter fasad- och taktytor.

|                      |                          |      |
|----------------------|--------------------------|------|
| <b>C<sub>L</sub></b> | [l/(s Pa <sup>n</sup> )] | 211  |
| <b>n</b>             | [-]                      | 0,76 |

Lufttäthet, uppmätt med ventilationssystemet, vid – 50 Pa tryckskillnad (undertryck) är 0,77 l/s per m<sup>2</sup>. Detta är samma mätning som föregående men utvärderingen baseras på mätningar av tryckskillnaden på två olika punkter, på 0,5 m och 21,6 m höjd på läsidan mot norr. Medeltryckskillnaden har beräknats. Detta i överensstämmelse med den kanadensiska standarden.

|                      |                          |      |
|----------------------|--------------------------|------|
| <b>C<sub>L</sub></b> | [l/(s Pa <sup>n</sup> )] | 224  |
| <b>n</b>             | [-]                      | 0,65 |

Lufttäthet, uppmätt med ventilationssystemet, vid +50 Pa tryckskillnad (övertryck) är 0,69 l/s per m<sup>2</sup>. Detta baseras på mätningar av tryckskillnaden på sju olika punkter (se tabell 1). Medeltryckskillnaden har denna gång beräknats utan viktning.

|                      |                          |      |
|----------------------|--------------------------|------|
| <b>C<sub>L</sub></b> | [l/(s Pa <sup>n</sup> )] | 276  |
| <b>n</b>             | [-]                      | 0,57 |

Lufttäthet, uppmätt med ventilationssystemet, vid +50 Pa tryckskillnad (övertryck) är 0,65 l/s per m<sup>2</sup>. Detta är samma mätning som föregående men utvärderingen baseras på mätningar av tryckskillnaden på sju olika punkter. Medeltryckskillnaden har beräknats med viktning efter fasad- och taktytor.

|                      |                          |      |
|----------------------|--------------------------|------|
| <b>C<sub>L</sub></b> | [l/(s Pa <sup>n</sup> )] | 189  |
| <b>n</b>             | [-]                      | 0,65 |

Lufttäthet, uppmätt med ventilationssystemet, vid +50 Pa tryckskillnad (övertryck) är 0,74 l/s per m<sup>2</sup>. Detta är samma mätning som föregående men utvärderingen baseras på mätningar av tryckskillnaden på två olika punkter, på läsidan mot norr. Medeltryckskillnaden har beräknats. Detta i överensstämmelse med den kanadensiska standarden.

|                      |                          |      |
|----------------------|--------------------------|------|
| <b>C<sub>L</sub></b> | [l/(s Pa <sup>n</sup> )] | 173  |
| <b>n</b>             | [-]                      | 0,65 |

Mätningarna med olika sätt att utvärdera sammanfattas i nedanstående tabell, tabell 2. Läckagearean vid 4 Pa enligt LBL-metoden (Sherman 1980, ASHRAE 2005) och vid 10 Pa enligt den kanadensiska stanarden (CGSB 1986, ASHRAE 2005) anges.

Tabell 2 Sammanfattning av täthetsprovningarna med olika sätt att beräkna tryckskillnaden och olika sätt att presentera resultatet.

| Mätmetod:<br>Blower door enligt<br>EN 13829 | Under-<br>eller över-<br>tryck | Läckage<br>area, cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup><br>vid 4 Pa | Läckage<br>area,<br>cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup><br>vid 10<br>Pa | Tryckfaktor,<br>C | Flödes-<br>exponent | Luftflöde,<br>l/s vid 50<br>Pa | Luftflöde,<br>l/sm <sup>2</sup> vid<br>50 Pa | Luftflöde,<br>m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup><br>vid 75<br>Pa |
|---|--------------------------------|--|---|-------------------|---------------------|--------------------------------|--|---|
| 1.  | Undertryck                     | 0,32   | 0,53  | 102               | 0,79                | 2243                           | 0,61   | 0,83  |

Mätmetod: Ventilationssystem enligt  
CGSB, 149.10-M86  
Tryckmedel norr 21,6 m och 0,5 m  
höjd

|    |            |      |      |     |      |      |      |      |
|----|------------|------|------|-----|------|------|------|------|
| 2. | Undertryck | 0,58 | 0,85 | 224 | 0,65 | 2861 | 0,77 | 1,01 |
| 3. | Övertryck  | 0,46 | 0,69 | 173 | 0,67 | 2397 | 0,65 | 0,85 |

Tryckmedel söder, vä-  
ster och norr

|    |            |      |      |     |      |      |      |      |
|----|------------|------|------|-----|------|------|------|------|
| 4. | Undertryck | 0,49 | 0,75 | 178 | 0,70 | 2698 | 0,73 | 0,97 |
| 5. | Övertryck  | 0,63 | 0,86 | 276 | 0,57 | 2542 | 0,69 | 0,86 |

Tryckmedel söder, väster och norr viktad efter  
omslutningsyta

|    |            |      |      |     |      |      |      |      |
|----|------------|------|------|-----|------|------|------|------|
| 6. | Undertryck | 0,55 | 0,82 | 211 | 0,66 | 2829 | 0,76 | 1,00 |
| 7. | Övertryck  | 0,49 | 0,72 | 189 | 0,65 | 2418 | 0,65 | 0,85 |

De två metoderna ger alltså olika täthetsvärden. Skillnaden torde dock ligga inom mätosäkerheten, åtminstone vid 50 Pa. Skillnaden blir avsevärt större om jämförelsen görs för läckagearean vid 4 Pa och 10 Pa. Under blower door mätningen hade vindhastigheten ökat jämfört med under ventilationssystemsmätningen, dock var vindhastigheten hela tiden lägre än 5 m/s. Detta innebär en större mätonoggrannhet vid lägre tryckskillnader.

Övertrycksmätningen ger något lägre värde jämfört med undertrycksmätningen, dock inom mätonoggrannheten.

Täthetsvärdena blir olika beroende på hur medeltrycket beräknas vid provning med hjälp av ventilationssystemet. Det är dock ingen stor skillnad mellan en noggrann beräkning av medelvärdet av tryckskillnaden och en beräkning baserad på två tryck dvs. enligt den kanadensiska standarden.

Tidigare krav enligt BBR på lufttäthet angav 1,6 l/sm<sup>2</sup> vid 50 Pa för lokaler och 0,8 l/sm<sup>2</sup> för bostäder. Den provade byggnaden uppfyller alltså även kravet som gäller för bostäder. Detta oavsett metod för täthetsprovning eller metod för att beräkna tryckskillnaden.

ASHRAEs huvudkontor, som även den är en glasbyggnad (dock byggd 1965), är avsevärt otätare med sina 12 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> vid 75 Pa (Brennan 2007). Alla byggnader provade i



USA, Canada och England är otätare än den svenska kontorsbyggnaden (se tabell 1 i Bakgrunden).

## Luftläckagevägar

Utförd termografering och luftläckagesökning har gett följande resultat (se även bilaga 1):

- **Takanslutning plan 5**  
Luftläckage kunde återkommande detekteras i takanslutningen mellan Al-partierna och taket ovan undertak på plan 5.
- **Takanslutning plan 6**  
Kraftigt luftläckage förekommer ovan undertak på plan 6 i anslutning till hisschaktet.
- **Prefabricerade glasfasadelement (moduler 2,7 m x 4 m av aluminium och glas)**  
Stora delar av klimatskalet består av Al-partier (prefabricerade glasfasadelement) med god lufttätthet. Dock förekommer det luftläckage där partierna ansluter mot utfackningsväggar. Lokal brist mellan glas och båge i rummet för kontorsmaterial på plan 1 orsakade ett luftläckage.
- **Golvinkel mot utfackningsväggar**  
Återkommande luftläckage kunde detekteras i golvinkeln mot utfackningsväggar på respektive plan.
- **Tättningslist i servicedörrar**  
Nedre delen av tättningslisten runt servicedörrarna (till dubbelskalsfasaden) påvisade ett luftläckage. Vid stickprovskontroll bedömdes luftläckaget som återkommande. Det finns 6 st servicedörrar inom del 1 av byggnaden.

Ovan redovisade källor till luftläckage bidrar till det uppmätta totala luftläckaget. Det är dock svårt att avgöra effekterna av eventuella åtgärder mot dessa luftläckage ger för resultat på det totala luftläckaget.

Efter utförd täthetsprovning och enligt analys av tryckförhållandet över byggnadshöjden är bedömningen att luftläckagen är relativt jämt fördelade i höjddled med huvudsakliga uppdelningen av källor till luftläckage enligt ovan.

## Energianvändning – lufttätthet

Ovan bestämda lufttätthet och luftläckagevägar har använts för att bestämma lufttäthetens betydelse för energianvändningen. Energianvändningen har beräknats för den del byggnaden som täthetsprovades. Byggnadens lufttätthet har bestämts på tre olika sätt:

1. Täthet enligt schablon. Man räknar med ett konstant läckflöde hela året som är 1/20 av läckflödet vid 50 Pa. Detta är en mycket förenklad metod. Kvoten har erfarenhetsmässigt visat sig kunna variera mellan 1/6 och 1/40 (Blomsterberg 1990).
2. Uppmätt läckflöde vid 50 Pa med tryckkoefficienter för vindtryck (AIVC 1986), alternativet ganska öppet landskap eller kustnära. IDA-programmets flödeskoefficient (förvald inställning n) används.

3. Läckflöde med tryckprovningens tryckfaktorer och flödeskoefficienter samt tryckkoefficienter för vindtryck (AIVC 1986), alternativet ganska öppet landskap eller kustnära.

I IDAs luftflödesmodell finns följande alternativ:

1. Som standard används flödeskoefficienten  $n=0,6$ , som dock kan ändras.
2. Otäthetsfaktorn används som indata, till exempel  $0,7 \text{ l/s,m}^2$  vid  $50 \text{ Pa}$ .
3. IDA räknar ut tryckfaktorn  $C$ , som sedan tillsammans med  $n$ , vindtryck och formfaktorer för fasaden, används för att beräkna inläckaget av luft.
4. IDA beräknar även  $L$ , läckageytans storlek i zonen. Man kan ha olika stora läckageytor i olika zoner, till exempel plan 6 eller plan 2

Indata till IDA ICE beräkningarna:

|   |  |
|---|--|
| Klimat                                  | Malmö/Köpenhamn  |
| Komforttemperatur                       | 22,5 – 24,5 °C   |
| Fönsterstorlek                          | Söder 68 % av fasad<br>Norr 46 % av fasad<br>Väster 40 % av fasad<br>Öster 40 % av fasad |
| $A_{temp}$                              | 3481 m <sup>2</sup>  |
| Totalt g-värde (persienn + glas)        |  |
| S, V, Ö                                 | 0,10   |
| Totalt g-värde N                        | 0,51   |
| U-värde glas S, V, Ö                    | 1,0 W/m <sup>2</sup> °C  |
| U-värde glas N                          | 1,1 W/m <sup>2</sup> °C  |
| U-värde karm                            | 1,8 W/m <sup>2</sup> °C  |
| Karmen utgör cirka 10 % av fönsterarean |  |
| Ventilationssystem, VAV                 |  |
| Drifttid                                | kl 06 till kl 23.  |
| Maxflödet under drift                   | 2,86 l/s,m <sup>2</sup> (mitt i sommarn),  |
| Minflödet under drift                   | 0,35 l/s,m <sup>2</sup>  |
| SFP-tal                                 | 2,0 W/(m <sup>3</sup> /s)  |
| Verkningsgrad värmeväxlare              |  |
| ventilation                             | 70 %   |
| Verkningsgrad fjärrvärmväxlare          | 100%   |
| COP kyla                                | 1,0  |

Tabell 3 Med IDA beräknad årsenergianvändning för uppvärmning, MWh, som funktion av tätheten.

|  | Med otäthet 1,6<br>l/s,m <sup>2</sup> vid 50 Pa | Med otäthet 0,7<br>l/s,m <sup>2</sup> | Med otäthet 0,4<br>l/s,m <sup>2</sup> | Med otäthet 0<br>l/s,m <sup>2</sup> |
|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Konstant luftläckage 1/20<br>av luftläckaget (l/s) vid<br>50 Pa  | 141   | 123                                   | 117                                   | 111                                 |
| Varierande luftläckage<br>baserat på läckageflöde<br>0,77 l/sm <sup>2</sup> vid 50 Pa<br>(CGSB-metoden) med<br>flödeskoefficient 0,6<br>(förvald inställning i<br>IDA)                     |   | 144                                   |                                       |                                     |
| Varierande luftläckage<br>baserat på läckageflöde<br>0,77 l/sm <sup>2</sup> vid 50 Pa<br>(CGSB-metoden) med<br>flödeskoefficient 0,65<br>(enligt mätningar, se ta-<br>bell 2, fall 2)      |   | 141                                   |                                       |                                     |
| Varierande luftläckage<br>baserat på läckageflöde<br>0,61 l/sm <sup>2</sup> vid 50 Pa<br>(blower door metoden)<br>med flödeskoefficient 0,6<br>(förvald inställning i<br>IDA)              |   | 137                                   |                                       |                                     |
| Varierande luftläckage<br>baserat på läckageflöde<br>0,61 l/sm <sup>2</sup> vid 50 Pa<br>(blower door metoden)<br>med flödeskoefficient<br>0,79 (enligt mätningar, se<br>tabell 2, fall 1) |   | 126                                   |                                       |                                     |

Tabell 4 Med IDA beräknad årsenergianvändning för kyla exkl. servrar, MWh, som funktion av tätheten.

|   | Med otäthet 1,6<br>l/s,m <sup>2</sup> vid 50 Pa | Med otäthet 0,7<br>l/s,m <sup>2</sup> | Med otäthet 0,4<br>l/s,m <sup>2</sup> | Med otäthet 0<br>l/s,m <sup>2</sup> |
|---|---|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Konstant luftläckage 1/20 av<br>luftläckaget (l/s) vid 50 Pa  | 51  | 52                                    | 52                                    | 53                                  |
| Varierande luftläckage baserat<br>på läckageflöde 0,77 l/sm <sup>2</sup> vid<br>50 Pa (CGSB-metoden) med<br>flödeskoefficient 0,6 (förvald<br>inställning i IDA)                        |   | 52                                    |                                       |                                     |
| Varierande luftläckage baserat<br>på läckageflöde 0,77 l/sm <sup>2</sup> vid<br>50 Pa (CGSB-metoden) med<br>flödeskoefficient 0,65 (enligt<br>mätningar, se tabell 2, fall 2)           |   | 52                                    |                                       |                                     |
| Varierande luftläckage baserat<br>på läckageflöde 0,61 l/sm <sup>2</sup> vid<br>50 Pa (blower door metoden)<br>med flödeskoefficient 0,6<br>(förvald inställning i IDA)                 |   | 53                                    |                                       |                                     |
| Varierande luftläckage baserat<br>på läckageflöde 0,61 l/sm <sup>2</sup> vid<br>50 Pa (blower door metoden)<br>med flödeskoefficient 0,79<br>(enligt mätningar, se tabell 2,<br>fall 1) |   | 52                                    |                                       |                                     |

Tabell 5 Med IDA beräknad årsenergianvändning för uppvärmning, kWh/m<sup>2</sup>, som funktion av tätheten.

|  | Med otäthet 1,6<br>l/s,m <sup>2</sup> vid 50 Pa | Med otäthet 0,7<br>l/s,m <sup>2</sup> | Med otäthet 0,4<br>l/s,m <sup>2</sup> | Med otäthet 0<br>l/s,m <sup>2</sup> |
|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Konstant luftläckage<br>1/20 av luftläckaget (l/s)<br>vid 50 Pa  | 41  | 35                                    | 34                                    | 32                                  |
| Varierande luftläckage<br>baserat på läckageflöde<br>0,77 l/sm <sup>2</sup> vid 50 Pa<br>(CGSB-metoden) med<br>flödeskoefficient 0,6<br>(förvald inställning i<br>IDA)                     |   | 41                                    |                                       |                                     |
| Varierande luftläckage<br>baserat på läckageflöde<br>0,77 l/sm <sup>2</sup> vid 50 Pa<br>(CGSB-metoden) med<br>flödeskoefficient 0,65<br>(enligt mätningar, se ta-<br>bell 2, fall 2)      |   | 41                                    |                                       |                                     |
| Varierande luftläckage<br>baserat på läckageflöde<br>0,61 l/sm <sup>2</sup> vid 50 Pa<br>(blower door metoden)<br>med flödeskoefficient 0,6<br>(förvald inställning i<br>IDA)              |   | 39                                    |                                       |                                     |
| Varierande luftläckage<br>baserat på läckageflöde<br>0,61 l/sm <sup>2</sup> vid 50 Pa<br>(blower door metoden)<br>med flödeskoefficient<br>0,79 (enligt mätningar, se<br>tabell 2, fall 1) |   | 36                                    |                                       |                                     |

Tabell 6 Med IDA beräknad årsenergianvändning för kyla exkl. servrar, kWh/m<sup>2</sup>, som funktion av tätheten.

|  | Med otäthet 1,6<br>l/s,m <sup>2</sup> vid 50 Pa | Med otäthet 0,7<br>l/s,m <sup>2</sup> | Med otäthet 0,4<br>l/s,m <sup>2</sup> | Med otäthet 0<br>l/s,m <sup>2</sup> |
|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Konstant luftläckage<br>1/20 av luftläckaget (l/s)<br>vid 50 Pa  | 15  | 15                                    | 15                                    | 15                                  |
| Varierande luftläckage<br>baserat på läckageflöde<br>0,77 l/sm <sup>2</sup> vid 50 Pa<br>(CGSB-metoden) med<br>flödeskoefficient 0,6<br>(förvald inställning i<br>IDA)                     |   | 15                                    |                                       |                                     |
| Varierande luftläckage<br>baserat på läckageflöde<br>0,77 l/sm <sup>2</sup> vid 50 Pa<br>(CGSB-metoden) med<br>flödeskoefficient 0,65<br>(enligt mätningar, se ta-<br>bell 2, fall 2)      |   | 15                                    |                                       |                                     |
| Varierande luftläckage<br>baserat på läckageflöde<br>0,61 l/sm <sup>2</sup> vid 50 Pa<br>(blower door metoden)<br>med flödeskoefficient 0,6<br>(förvald inställning i<br>IDA)              |   | 15                                    |                                       |                                     |
| Varierande luftläckage<br>baserat på läckageflöde<br>0,61 l/sm <sup>2</sup> vid 50 Pa<br>(blower door metoden)<br>med flödeskoefficient<br>0,79 (enligt mätningar, se<br>tabell 2, fall 1) |   | 15                                    |                                       |                                     |

För den testade byggnaden ökar årsenergianvändningen för värme med ca 20 % (14 – 27 %) jämfört med en helt tät byggnad, medan kylan inte påverkas nämnvärt. Om byggnaden endast hade uppfyllt det gamla BBR-kravet för lokaler, så hade ökningen för värme varit den dubbla. Att årsenergianvändningen för kyla påverkas inte nämnvärt av byggnadens lufttäthet, beror på att luften som läcker in utifrån påverkar inte i någon större utsträckning kylbehovet.

Årsenergianvändningen råkar i detta fall bli nästan densamma för blower door mätningen och den enkla metoden, där verklig naturlig ventilation beräknas som 50 Pa-värdet/20. Detta är normalt inte fallet (Blomsterberg 1990).

## Förslag till metodik för täthetsprovning

Det första steget bör vara att uppskatta byggnadens lufttäthet. Detta för att kunna uppskatta vilken fläktkapacitet, som behövs för täthetsprovningen. Uppskattningen kan göras med hjälp av BBR94-kravet som för lokaler var 1,6 l/sm<sup>2</sup> vid 50 Pa. Om vid provning det visar sig att fläktkapaciteten är otillräcklig, så är byggnaden alltför otät och läckagesökning bör göras, som underlag för förslag till åtgärder.

Det allra bästa tillvägagångssättet för att säkerställa lufttätheten i nyproduktion är att genomföra täthetsprovningar under byggproduktion. Det är nämligen betydligt enklare att åtgärda täthetsbrister innan byggnaden är helt färdig.

För att undvika otäta byggnader bör vid projekteringen lufttätningen för alla detaljer redovisas. Under byggproduktionen måste sedan alla vara medvetna om täthetskravet och hur tätheten löses i praktiken och vikten av ett gott praktiskt utförande. Detta för att säkerställa att byggnaden uppfyller täthetskraven.

## Täthetsprovning med byggnadens egna ventilationssystem

- Kalibrera luftflödesmätare ( $\pm 5\%$ ), tryckgivare ( $\pm 1$  Pa), temperaturgivare ( $\pm 1$  °C).
- Planera och förbered t.ex. genom en förbesiktning av testobjektet. Detta för att på platsen kunna bestämma:
  - hur byggnaden skall avgränsas t.ex. om ev. källare skall ingå i täthetsprovningen
  - vilka genomföringar, ventilationsöppningar i klimatskärmen som måste tätas vid täthetsprovningen och hur dessa tätas
  - var en ev. skiljevägg till angränsande byggnad eller utrymmen måste tätas
  - var större luftläckage kan tänkas finnas
  - hur ventilationssystemet kan styras och stängas av
  - vilka möjligheter det finns att mäta luftflödet i ventilationssystemet
  - var tryckskillnaden över klimatskärmen kan mätas, se rekommendation nedan
- Studera SÖ-systemet för att fastställa att det går att reglera ventilationflödet och uppnå önskvärda tryckskillnader, samt ha kontroll över luftflödet.
- Säkerställ att det går att mäta luftflödet
- För byggnad  $\leq 10$  plan bör vindhastigheten vara  $\leq 5,5$  m/s och utetemperatur  $\geq 5$  °C vid provning.
- Tryckskillnad mellan inne-ute mäts relativt halva byggnadshöjden, H/2, för mark- och taknivå.
- Tryckutjämnande box används ute för mätning av tryckskillnad mellan ute och inne
- Stäng av eventuellt larm.
- Stäng alla fönster och dörrar mot ute.
- Öppna alla innerdörrar.

- Stäng av alla T-lufts- eller alla F-luftsfläktar
- Blockera och täta alla ventilationsöppningar, samt kontrollera tätningarna efter trycksättning av byggnaden.
- Skapa en tryckskillnad 0 – 75 Pa.
- Bestäm  $Q = C (\Delta P)^n$  medelst regression (luftflöde som funktion av tryckskillnaden mellan ute och inne).
- I övrigt tillämpas den kanadensiska standarden.

### Täthetsprovning med blower doors

- Planera och förbered t.ex. genom en förbesiktning av testobjektet. Detta för att på platsen kunna bestämma:
  - hur byggnaden skall avgränsas t.ex. om ev. källare skall ingå i täthetsprovningen
  - vilka genomföringar, ventilationsöppningar i klimatskärmen som måste tätas vid täthetsprovningen och hur dessa tätas
  - var en ev. skiljevägg till angränsande byggnad eller utrymmen måste tätas
  - var större luftläckage kan tänkas finnas
  - var blower doors kan monteras och om det finns vägguttag i närheten
  - hur ventilationssystemet kan stängas av
  - var tryckskillnaden över klimatskärmen kan mätas
- Tryckskillnad mellan inne-ute mäts relativt halva byggnadshöjden, H/2, för mark- och taknivå.
- För byggnad  $\leq 10$  plan bör vindhastigheten vara  $\leq 5,5$  m/s och utetemperatur  $\geq 5$  °C vid provning.
- Stäng av eventuellt larm
- Stäng alla fönster och dörrar mot ute
- Öppna alla innerdörrar
- Blockera och täta alla ventilationsöppningar, samt kontrollera tätningarna efter trycksättning av byggnaden.
- Skapa en tryckskillnad 10 – 60 Pa
- Bestäm  $Q = C (\Delta P)^n$  medelst regression (luftflöde som funktion av tryckskillnaden mellan ute och inne)
- I övrigt enligt EN 13829.

### Summering

Valet mellan de två metoderna är inte helt enkelt, utan får bli en bedömning från objekt till objekt. Oavsett metod är det nödvändigt att i förväg uppskatta byggnadens lufttäthet och bestämma om ventilationssystemet har tillräcklig kapacitet och hur många blower



doors, som kan behövas. Ett rimligt antagande kan vara att byggnaden uppfyller BBR94-kravet som för lokaler var 1,6 l/sm<sup>2</sup> vid 50 Pa. Uppfylls inte detta krav så är byggnaden alltför otät och bör åtgärdas. Mätningar med båda metoderna utföres lämpligen när ingen eller begränsad verksamhet pågår i byggnaden.

En begränsning kan vara antalet blower doors som praktiskt kan monteras i byggnaden. För stora byggnader kan provning med byggnadens egna ventilationssystem vara att föredra, framförallt om det visar sig att mer än 4 - 5 blower doors skulle behövas. En provning under byggproduktionen kan ofta endast genomföras med blower doors, eftersom ventilationssystemet sällan är i drift. För många byggnader där kapaciteten hos två blower doors skulle räcka för en täthetsprovning är förmodligen denna metod den enklaste att använda.

Metoderna är inte användbara endast för kontorsbyggnader, utan kan med fördel tillämpas på flerbostadshus, industrilokaler och andra lokaler. För flerbostadshus torde framförallt metoden med blower doors vara tillämplig eftersom ventilationssystemet förmodligen har otillräcklig max kapacitet. De flesta bostäder har en grundventilation på 0,35 l/sm<sup>2</sup>, med möjlighet till viss forcering i köket.

## Referenser

Adalberth, K., 1998. God lufttätet – En guide för arkitekter, projektörer och entreprenörer. Byggeforskningsrådet.

AIVC, 1986. Air infiltration calculation techniques – An applications guide. Air Infiltration and Ventilation Centre.

ASHRAE, 2005. ASHRAE Handbook Fundamentals. ASHRAE, Atlanta, USA.

Blomsterberg, Å., 1990. Ventilation and airtightness in low-rise residential buildings - Analyses and full-scale measurements. Statens råd för byggnadsforskning, D10:1990, doktorsavhandling.

Blomsterberg, Å., 2007, Uppföljning av energi, dagsljus och inneklimat för ett glaskontor under system- och bygghandlingskedet – Hamnplan i Malmö. Beställargruppen lokaler, [www.belok.se](http://www.belok.se).

Brennan, T., Persily, A., Clarkin, M., Emmerich, S., 2007. Measuring airtightness at ASHRAE headquarters. ASHRAE Journal, september 2007.

CEN, 2000. Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization. European Committee for Standardization, EN 13829.

CGSB, 1986. Determination of the Airtightness of Buildings envelopes by the Fan Depressurization Method Using the Buildings's Air Handling Systems, Canadian General Standards Board, Standard 149.10-M86, National Standard of Canada.

CGSB, 1996. Determination of the Overall Envelope Airtightness of Buildings by the Fan Pressurization Method Using the Buildings's Air Handling Systems, Canadian General Standards Board, National Standard of Canada.

Emmerich, S., et. al., 2005. Impact of Infiltration on Heating and Cooling Loads in U.S. Office Buildings. National Institute of Standards and Technology, USA.

Emmerich, S., et. al., 2005b. Investigation of the Impact of Commercial Building Envelope Airtightness on HVAC Energy Use. National Institute of Standards and Technology, USA.

Lundin, L., 1986, Air Leakage in Industrial Buildings - Description of Equipment. Measured Air Leakage in Buildings, ASTM STP 904, pp 101 - 105, Philadelphia, USA.

Miljövårdsberedningen, 2000. Tänk nytt – tänk hållbart! – att bygga och förvalta för framtiden. En rapport från miljövårdsberedningens dialog bygga/bo, www.mvb.gov.se.

Wall, M., Blomsterberg, Å., "Lufttätthet och ventilation i inglasade gårdar". Lunds Tekniska Högskola, Byggnadskonstruktion, Rapport TABK-93/3016, 1993.

Persily, A., 1998. Airtightness of Commercial and Institutional Buildings: Blowing Holes in the Myth of Tight Buildings. Presenterad vid Thermal Envelopes VII konferensen i Florida.

Persson, A., 2007. Förbättrad energistatistik för lokaler – Stegvis STIL – Rapport för år 1 – Inventering av kontor och förvaltningsbyggnader. Statens Energimyndighet, rapport ER 2007:34.

Sandberg, P. I., et al, 2004. Lufttätthetsfrågorna i byggprocessen – Kunskapsinventering, laboriemätningar och simuleringar för att kartlägga behov av tekniska lösningar och utbildning. Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP Rapport 2004:22.

Sandberg, P. I., et al, 2007. Lufttätthetsfrågorna i byggprocessen – Etapp B. Tekniska konsekvenser och lönsamhetskalkyler. Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP Rapport 2007:23.

SCB, 2006. Energistatistik för lokaler 2005. Statistiska centralbyrån, EN16SM0603, www.scb.se.

Sherman, M., Grimsrud, D., 1980. Infiltration-pressurization correlation: Simplified physical modeling. ASHRAE Transactions 86(2):778.

## Bilaga 1 Bestämning av lufttätthet med blower doors och läckagesökning med värmekamera.

- Kund:** WSP Environmental  
Att: Åke Blomsterberg
- Objekt:** Kv Bilen 8, Hamnplan Malmö
- Uppdrag:** Bestämning av lufttätthet byggnad samt söka efter luftläckage med värmekamera.
- Mätutrustning:
- Mätning enligt SS EN 13829. Mätningen utfördes med 2st sammankopplade täthetsprovningstrustningar av fabrikat Minneapolis Blowerdoor.
  - Termografering enligt SS EN 13187: Mätning med värmekamera Flir B200 samt Flir T360. Instrumentens mätosäkerhet uppges vara  $\pm 2\%$ .
- Provningsdag:** 2009-01-10
- Mätningen utförd av:** Hans Fredin  
Tobias Mårtensson  
Hans Wetterlund  
Jan Trygg  
WSP Environmental  
Box 574  
SE - 201 25 Malmö  
Besök: Jungmansgatan 10  
Tel: +46 40 35 42 00  
Fax: +46 40 35 43 99  
WSP Sverige AB  
Org nr: 556057-4880  
Styrelsens säte: Stockholm  
[www.wspgroup.se](http://www.wspgroup.se)
- Uppdragsledare:** Åke Blomsterberg
- Bilagor:** Bilaga 1 Bildserie över indikerade luftläckage Kv Bilen 8  
Bilaga 2 Täthetsprovningsprotokoll Kv Bilen 8

## Bakgrund

WSP Environmental har beviljats finansiella medel från SBUF för att tillsammans med Midroc, Allbyggaren i Höganäs samt Precisionsteknik AB med två olika mättekniker bestämma lufttätheten i kontorsbyggnad inom Kv Bilen 8, Hamnplan Malmö. Projektet syftar till att med dels befintligt ventilationssystem, dels med portabla fläktar, bestämma lufttätheten samt att utvärdera resultaten från dessa ur ett energiperspektiv. Denna rapport redovisar den mätmetod där portabla fläktar har använts, så kallade Blowerdoor. Mätningen är utförd enligt mätstandarden SS EN 13829. I denna rapport redovisas även utförd luftläckagesökning med värmekamera och indikeringsrök.

## Bestämning av lufttäthet

### Mätförfarande

Nedan följer en beskrivning av förutsättningarna inför mätningen samt utförda särskilda tätningar och hänsynstagande. Samtliga innerdörrar ställdes upp för att trycket skulle fördelas jämt över klimatskalet. Enbart undertrycksmätning utfördes.

### Tätning av genomföringar

Friskluftsintag samt avluftskanal tätades centralt vid ventilationsaggregatet. Självdragskanalerna till hisschakt samt trapphus tätades utvändigt. Vattenlås och avloppsledning kontrollerades.

Ovanstående tätningar kontrollerades därefter med indikeringsrök när byggnaden försatts under ca 70Pa undertryck.

### Särskild hänsyn till interna ytor

Kontorsbyggnaden har ett underliggande garaget under hela plan 1. Garaget har separat ventilationssystem samt separat uppvärmningssystem. Ytan mot garaget har betraktats som tät under mätningen av lufttätheten. Dörrar mot garaget tätades.

Kontorsbyggnaden, även kallad del 1, angränsar till del 2 av bygganden vid systemlinje 11 (se ritningar nedan). Detta gäller dock enbart plan 3-5. För att eliminera eventuellt internt luftläckage mellan del 1 och del 2 har motsvarande mottryck skapats i del 2 med hjälp av det ventilationssystemet som betjänar denna del av bygganden. Ett 10mm temporärt hål borrades upp genom brandcellsväggen mellan del 1 och del 2 på plan 4 för att kunna kontrollera tryckskillnaden över skiljeväggen under testets gång.

### Mätutrustning

Byggnadens storlek tillsammans med uppställda krav på luftläckage medförde att två stycken fläktar behövdes för att kunna bestämma lufttätheten. Dessa monterades på plan 1 i entrédörren som ersattes med en vindtät duk, uppspänd på en ram, där fläktarna monterades i. Dukens anslutning och tätning till dörrkarm kontrollerades med rök när byggnaden försatts under tryck.

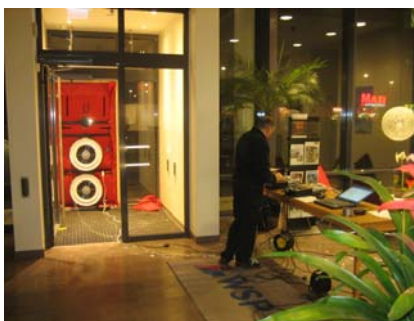


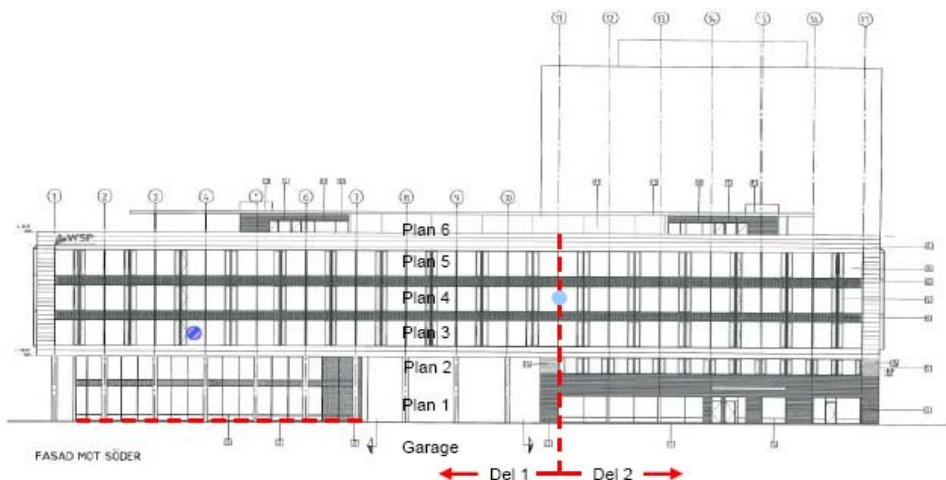
Bild 1. Bild över försöksupställningen

Kontroll av tryckförhållandet över fasaden, sk nolltryckmätning innan och efter tät-

hetsprovning, utfördes dels på plan 1 mot norr, genom installerad Blowerdoor-duk, dels på plan 3 mot syd, genom servicedörr till dubbelglasfasaden och dels på plan 6 genom en av terassdörrarna som ersätts tillfälligt med en uppspänd Blowerdoor-duk.

Mätning av tryckskillnaden över fasaden under täthetsprovningen gjordes dels på plan 1 och dels på plan 3.

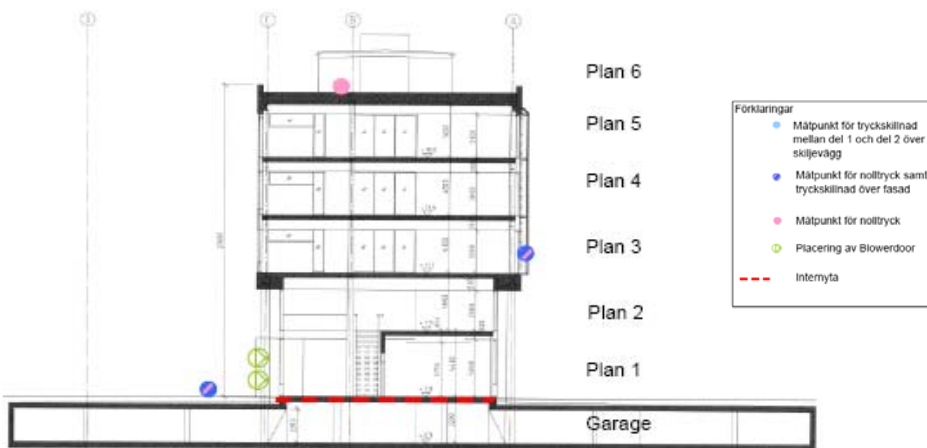
Genom flödesjustering av fläkten skapades över- respektive undertryck i byggnaden i förhållande till tryckförhållandet utanför byggnaden.



Figur 1. Fasadbild med utmärkta tryckpunkter och internytor.



Figur 2. Planritning över plan 3 med utmärkt skiljevägg och kontrollmätningsspunkt av tryckskillnaden över väggen



Figur 3. Sektion med utmärkta tryckpunkter och internytor.

## Täthetskrav

Rubricerad byggnad räknas som *annan byggnad* avseende uppställda krav om lufttät-  
het. Enligt BBR 10, kapitel 9:212 skall byggnadens klimatskärm vara så tät att det ge-  
nomsnittliga luftläckaget vid  $\pm 50$  Pa tryckskillnad ej överstiger  $1,6$  l/s per  $m^2$   
omslutande area.

Med omslutande yta menas sammanlagd area ( $m^2$ ) för omslutande byggnadsdelars ytor  
mot uppvärmd inneluft. Med omslutande byggnadsdel avses sådan byggnadsdel som  
begränsar uppvärmda delar av bostäder eller lokaler mot det fria, mot mark eller mot  
delvis uppvärmt eller icke uppvärmt utrymme.

Skiljeväggen mellan del 1 och del 2 har inte medräknats i beräkningen av luftläckaget.  
Ett kontrollerat mottryck har rått över väggen under täthetsprovningen.

Golvytan på plan 1 angränsar mot ett uppvärmt garage och har ej medräknats som  
omslutande yta. Dörrar mot garage har särskilt tätats under testet.

## Resultat täthetsprovning

Redovisningen av resultatet kommer att utgå från innehållet i EN 13829.

### Enligt EN 13829

Förutsättningar *före* mätning

$$(T_i - T_u) * h < 500mK$$

Vindförhållande

$$\leq 6 \text{ m/s}$$

< 3 Beaufort scale

Nolltryckmätning *före*

$$\Delta p_{0,1+} \leq +5 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{0,1-} \leq -5 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{01}$$

### Mätning Kv Bilen 8

$$\left. \begin{array}{l} T_{i,plan1} = 19^{\circ} C \\ T_{i,plan5} = 21^{\circ} C \end{array} \right\} T_{medel} = 20^{\circ} C$$

$$T_u = 4^{\circ} C$$

$$(20 - 4) * 20 = 360mK$$

1-3 m/s V

| Tryck             | Plan |      |     |
|-------------------|------|------|-----|
|                   | 1 N  | 3 S  | 6 N |
| $\Delta p_{0,1+}$ | 0    | 0    | 13  |
| $\Delta p_{0,1-}$ | -7,8 | -8,4 | 0   |
| $\Delta p_{01}$   | -0,5 |      |     |

Nolltryckmätningen avviker från mätstandarden. Se *Bedömning* för vidare information.

Förutsättningar *under* mätning

Tryckskillnad internt får maximalt variera 10 % av uppmätt tryckskillnad över fasaden.

Tryckmätning över fasaden ska ske på bottenplan samt toppplan.

Tryckslangar bör ej dras vertikalt.

Tryckslangar bör ej utsättas för höga temperaturer.

Dynamisk tryckdämpning pga vind.

Maximala steg om  $\pm 10 \text{ Pa}$

Minimalt 5st mätpunkter

Öppen planlösning och ljusschakt mellan plan 3-plan 5 medför en minimal variation av tryckskillnaden.

Tryckmätning har skett på plan 3, och plan 1. Nolltrycksmätning har skett på Plan 1, plan 3 samt plan 6.

Ej utfört.

Stabila temperaturförhållande.

Tryckslangar förlagda i en trycklåda.

-12 Pa

6st

Minimala tryckskillnaden som ska uppnås under test.

$\geq 10 \text{ Pa}$

alt

$$\geq \max \left\{ \begin{array}{l} [5 * \Delta p_{01+}] Pa \\ [5 * \Delta p_{01-}] Pa \end{array} \right.$$

Minimala tryckskillnaden som ska uppnås under test.

$$[23] Pa \Rightarrow [70] Pa$$

alt

$$[\Delta p_{01+}] = 4,3 Pa \text{ (Plan 1N + 3S + 6N)/3}$$

$$[\Delta p_{01-}] = 5,4 Pa \text{ (Plan 1N + 3S + 6N)/3}$$

$$\geq \max \left\{ \begin{array}{l} [5 * \Delta p_{01+}] \\ [5 * \Delta p_{01-}] \end{array} \right. = \left\{ \begin{array}{l} 22 Pa \\ 27 Pa \end{array} \right.$$

Förutsättningar efter mätning

Nolltryckmätning efter

$$\Delta p_{0,2+} \leq +5 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{0,2-} \leq -5 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{02}$$

| Tryck             | Plan |      |      |
|-------------------|------|------|------|
|                   | 1 N  | 3 S  | 6 N  |
| $\Delta p_{0,2+}$ | 0    | 0    | 12,7 |
| $\Delta p_{0,2-}$ | -6,6 | -4,5 | 0    |
| $\Delta p_{02}$   | 0,3  |      |      |

Nolltryckmätningen avviker från mätstandarden. Se *Bedömning* för vidare information.

Ti

$$T_i, \text{ plan 1} = 19^\circ \text{C}$$

Tu

$$T_i, \text{ plan 5} = 21^\circ \text{C}$$

$$T_u = 4^\circ \text{C}$$

Vindförhållande

3-5 m/s V

Tabell 1. Förutsättningar inför, under och efter täthetsprovningen.

## Analys av mätvärdena

Beräknad omslutande yta: 3700 m<sup>2</sup>

**Lufttäthet vid -50 Pa tryckskillnad: 0,61 l/s per m<sup>2</sup>**

|                        |                          |      |
|------------------------|--------------------------|------|
| <b>C<sub>env</sub></b> | [l/(s Pa <sup>n</sup> )] | 101  |
| <b>C<sub>L</sub></b>   | [l/(s Pa <sup>n</sup> )] | 102  |
| <b>n</b>               | [-]                      | 0,79 |

Mätosäkerhet: +/- 14%



## Bedömning avseende bestämningen av lufttäteten

Kontorsbyggnaden uppfyller med marginal det täthetskrav om  $\leq 1,6 \text{ l/s,m}^2$  som testas enligt ovan. I *Bilaga 2 Täthetsprovningsprotokoll Kv Bilan 8* redovisas mätningen mer noggrant.

Som framgår ovan så uppfylldes ej mätstandarden till fullo avseende nolltryckmätningen. Det som påverkar detta värde är dels yttre belastning i form av vindtryck, dels temperaturgradienten mellan inne och ute som skapar skillnader i luftdensiteten som i sin tur skapar tryckskillnader över fasaden.

Den teoretiska modellen för termiska tryckdifferenser över en höjd (h) ser ut som följer:

$$\Delta p = 9,81 * (\rho(T_u) - \rho(T_i)) * h$$

$$\rho(T) = 1,29 * \frac{273}{273 + T}$$

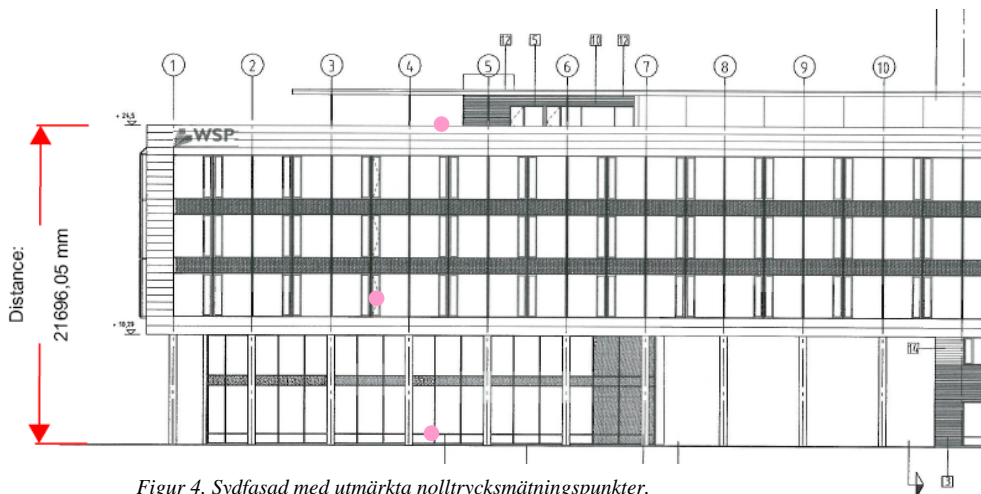
$$T_u = 4^{\circ} \text{C}$$

$$T_i = 20^{\circ} \text{C}$$

$$h = 22 \text{m}$$

$$\Rightarrow \Delta p \approx 15 \text{Pa}$$

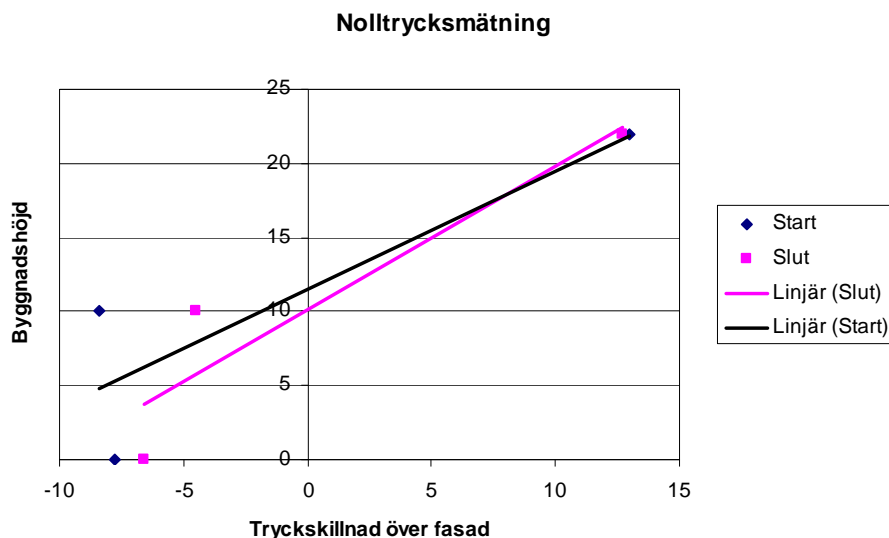
Nolltrycksmätningens fördelning över höjden illustreras nedan.



Figur 4. Sydfasad med utmärkta nolltrycksmätningpunkter.

### Förklaringar

- Mätpunkt för nolltryck



Figur 5: Tryckförhållande över fasaden vid nolltrycksmätning

Ovanstående graf illustrera vilken yttre belastning vinden har på byggnaden under testet samt effekten av den termiska tryckdifferensen. Genom att studera där tryckgradienten är noll och relatera detta till byggnadshöjden kan man bedöma fördelningen av luftläckagen. Förutsättningen är dock att samma temperaturgradient och minimal vindbelastning råder över byggnadens höjd. Om man antar att detta gäller vid testet visar tryckgradienten på ett större absolut tryck i toppen [ca 13Pa] relativt botten [ca 8 Pa]. Detta tyder på ett något ojämnt fördelat luftläckage med en större andel vid toppen. Vinden var dock betydande vilket gör att denna typ av analys inte är helt betydande.

Nolltrycksmätningen på plan 3 avviker från trendlinjen för tryckgradienten mellan plan 1 och plan 6. Detta kan bero på att mätpunkten satt på söderfasaden på plan 3 medan mätpunkterna på plan 1 och plan 6 var på nordsidan. Vidare uppfyller ej ovan redovisade nolltrycksvärden kravet om  $\leq \pm 5$  Pa. Detta är ett avsteg från mätstandarden vilket gör att uppmätt lufttätethet kan skilja något från verkligt. Dock är erfarenheten att angiven osäkerhetsmarginal på slutresultatet även täcker in detta avsteg.

Nedan följer den termografering tillsammans med indikeringsrök som använts för en övergripande luftläckagesökning i byggnaden.

## Termografering

### Mätförfarande

Huset försattes i ca 40 Pa undertryck med hjälp av befintligt ventilationssystem.

Värmekamera användes för att kontrollera skillnader i ytemperaturer på klimatskärmens insida. Efter att ha försatt byggnaden i undertryck i ca ½ timme kan man med hjälp av värmekamera urskilja otätheter där uteluft strömmar förbi och kyler ner klimatskärmen. Där nedkylda ytor kan påvisas och luftläckage kan misstänkas, kontrolleras luft rörelser med indikeringsrök för att eventuellt bekräfta luftläckagen.

### Förutsättningar

|                              | Tidpunkt   |       |                |               |
|------------------------------|--|-------|----------------|---------------|
|                              | -24h   | -12h  | Start<br>10:00 | Slut<br>18:00 |
| <b>Temperatur</b>            |  |       |                |               |
| Utomhus.                     | 2-7°C  |       | 4°C            | 4°C           |
| Inomhus.                     |  |       | 20°C           | 20°C          |
| <b>Klimatförutsättningar</b> |  |       |                |               |
| Vindstyrka.                  |  |       | 1-3 m/s        | 3-5 m/s       |
| Vindriktning.                |  |       | V              | V             |
| Solstrålning mot fasad.      |  | Ingen | Halvklart      | Ingen         |
| <b>Byggnadsinformation</b>   |  |       |                |               |
| Tryckförhållande över fasad. | Forcerat undertryck på 70Pa mätt på plan 3 S.  |       |                |               |
| Uppvärmning.                 | Huset värms med tempererad tilluft i kombination med vattenburna konvektorer.  |       |                |               |
| Huvudsakligt ytmaterial.     | Målad gips på väggar och tak. Golvbeläggning av träfaner och textilmatta. Fönsterpartier av aluminium.<br>$\varepsilon = 0,90$ |       |                |               |

Tabell 2. Förutsättningar inför, under och efter termograferingen.

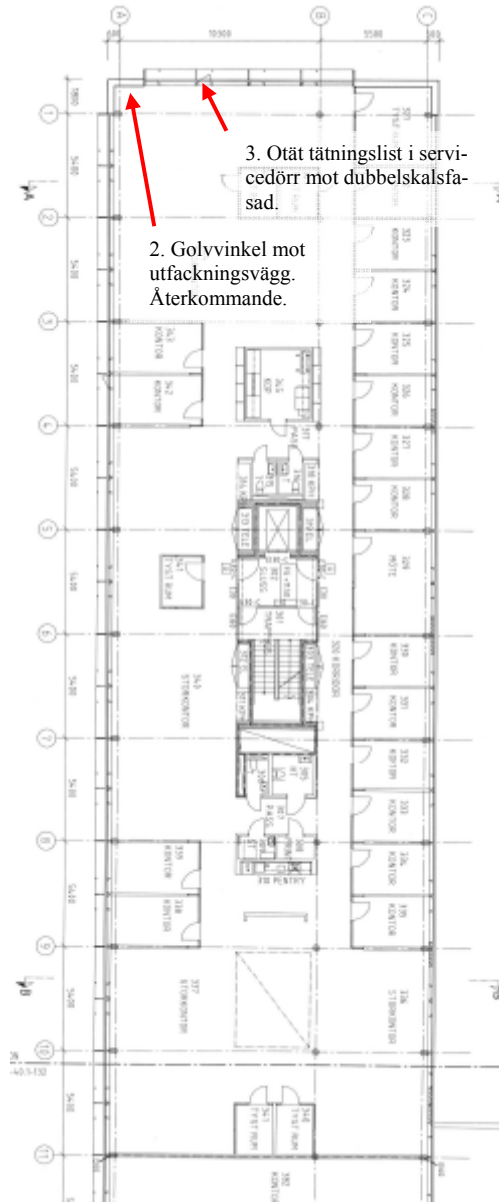
Nedan följer redovisning av indikerade luftläckage som är återkommande och/eller värda att anmärka på. Punkterna på planritningen finns även redovisade i *Bilaga 1 Bild-*

serie över indikerade luftläckage Kv Bilen 8. Under kapitlet *Bedömning* sammanfattas iakttagelser som gjorts under utförandet av täthetsprovningen.

## Resultat från termografering

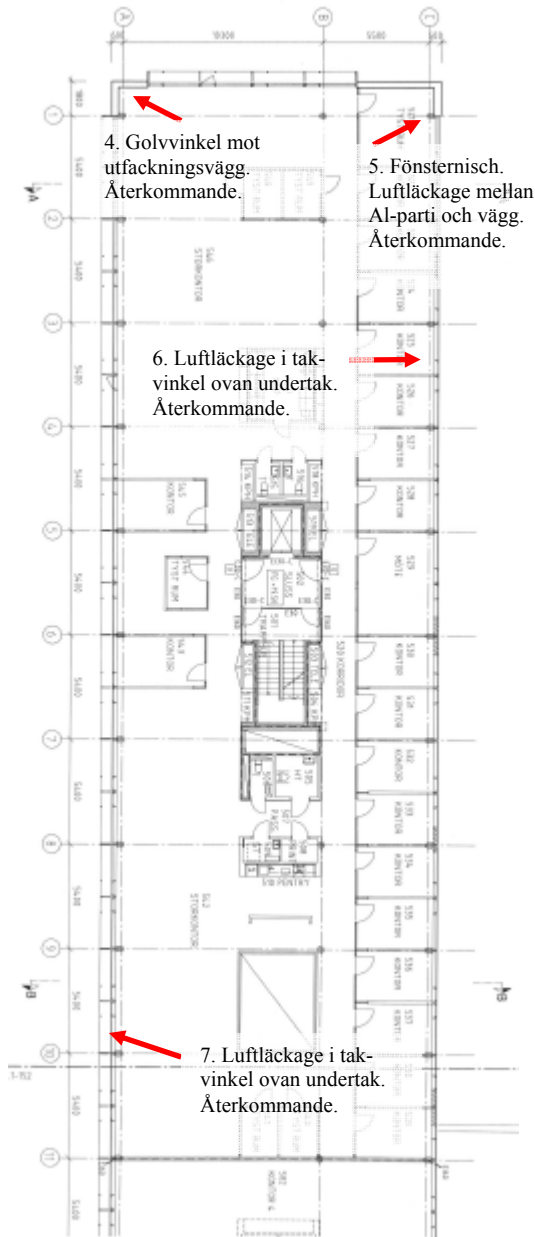


Figur 6: Planritning över Plan 1, Kv Bilen 8

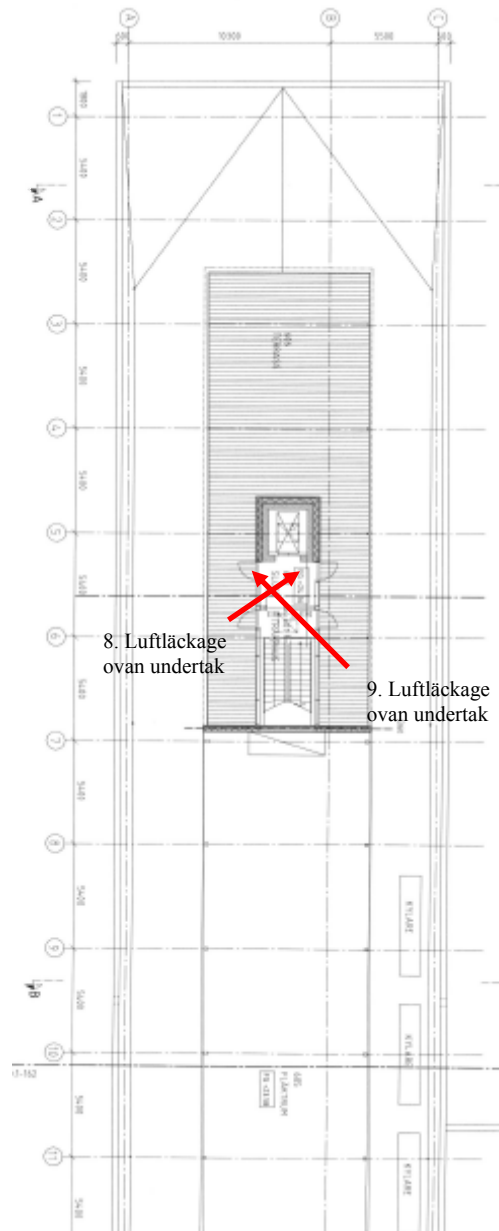


Figur 7: Planritning över Plan 4, Kv Bilen 8

Norr



Figur 8: Planritning över Plan 5, Kv Bilen 8



Figur 9: Planritning över Plan 6, Kv Bilen 8

## Bedömning

Rubricerad byggnad uppfyller med marginal det krav vi testat mot om  $\leq 1,6$  l/s,m<sup>2</sup>. Utförd termografering och luftläckagesökning har gett följande iakttagelser och bedömningar.

- **Takanslutning plan 5 och plan 6**  
Luftläckage kunde återkommande detekteras i takanslutningen mellan AI-partierna och taket ovan undertak på plan 5. Läckage detekterades framförallt via genomföringar i den gipsinklädda takvinkeln men även mellan gips och gummipackning mot partierna. Se även bildbilagan för ytterligare information. Kraftigt luftläckage förekommer ovan undertak på plan 6 i anslutning till hisschaktet. Vidare undersökning bör göras för att fastställa orsaken.
- **AI-partier**  
Stora delar av klimatskalet består av AI-partier med god lufttätethet. Dock förekommer det luftläckage där partierna ansluter mot utfackningsväggar. Lokal brist mellan glas och båge i butiken på plan 1 orsakade ett luftläckage. Det förekommer även misstanke om luftläckage i anslutningen mellan AI-partier och tak på plan 5. Detta kommer dock att utredas noggrannare vid senare tillfälle.
- **Golvinkel mot utfackningsväggar**  
Återkommande luftläckage kunde detekteras i golvvinkeln mot utfackningsväggar på respektive plan enligt planritningar ovan. Orsaken bör vidare undersökas för att sätta in korrekta åtgärder.
- **Tättningslist i servicedörrar**  
Nedre delen av tättningslistan runt servicedörrarna påvisade ett luftläckage. Vid stickprovskontroll bedömdes luftläckaget som återkommande. Det finns 6st servicedörrar inom del 1 av byggnaden.

Ovan redovisade källor till luftläckage bidrar till det uppmätta totala luftläckaget. Det är dock svårt att avgöra effekterna av eventuella åtgärder mot dessa gör på det totala luftläckaget.

Efter utförd täthetsprovning och enligt analys av tryckförhållandet över byggnadshöjden är bedömningen att luftläckagen är relativt jämt fördelade i höjddled med huvudsakliga uppdelningen av källor till luftläckage enligt ovan. Detekterat luftläckage i takvinkel på plan 5 kan vara orsaken till den något förskjutna tryckgradienten.



Tobias Mårtensson

WSP Environmental, Byggnadsfysik

Malmö, 2009-02-28

## Bilaga 2 – Bestämning av lufttätet med byggnadens ventilationssystem - mätdata.

I tabellen nedan redovisas uppmätta tryckskillnader och luftflöden vid täthetsprovningen. Enligt Lindinvent, vars ventilationssystem installerats i byggnaden, är mät noggrannheten i luftflödesmätningen  $\pm 4\%$ . För tilluften summeras luftflödet för alla tilluftsdonen. För frånluften mäts luftflödet i ventilationskanalerna med fasta mätuttag, mätflänsar.

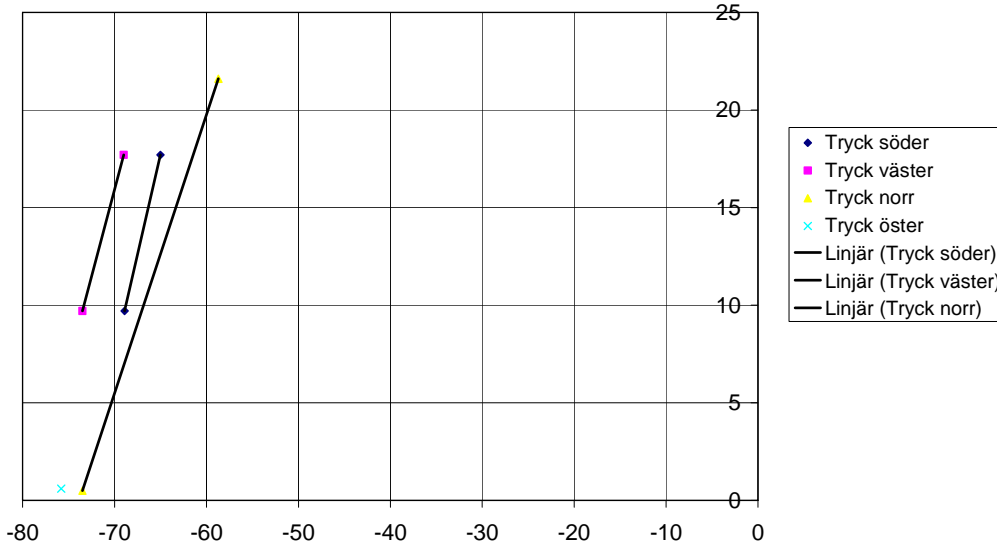
|                |     |     |      |      |     |     |      |
|----------------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|
| Höjd över mark | 9,7 | 9,7 | 17,7 | 17,7 | 0,5 | 0,6 | 21,6 |
|----------------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|

Tryckskillnad över fasad, Pa

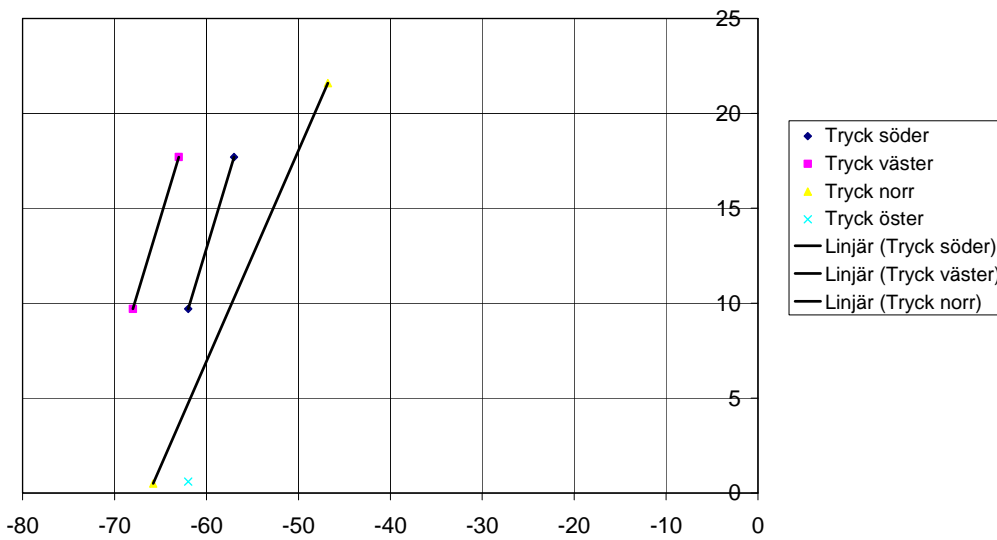
| Luftflöde, l/s | Söderfasad | Västerfasad | Söderfasad | Västerfasad | Norrfasad | Österfasad | Norrfasad |
|----------------|------------|-------------|------------|-------------|-----------|------------|-----------|
| 3379           | -68,9      | -73,5       | -65        | -69         | -73,5     | -75,8      | -58,7     |
| 3121           | -62        | -68         | -57        | -63         | -65,8     | -62        | -46,8     |
| 2709           | -49        | -53         | -45        | -51         | -54,5     | -55,7      | -37       |
| 2168           | -36,3      | -39,3       | -31        | -40         | -40       | -41,6      | -24       |
| 1650           | -25,5      | -27,6       | -20        | -23         | -28,7     | -29,7      | -15       |
| 780            | 4          | 5           | 11         |             | 3         | 3,8        | 16,3      |
| 1550           | 21         | 19          | 29,1       |             | 15,9      | 20         | 33        |
| 1931           | 32         | 30          | 39,2       |             | 29,6      | 25,8       | 45        |
| 2380           | 47         | 37          | 53         |             | 42        | 39,7       | 59        |
| 2900           | 60         | 52          | 68,5       |             | 56,2      | 54,7       | 76        |

Tryckskillnaden i höjded mellan 0,5 m och 20 m har beräknats till 15 Pa. I några av diagrammen stämmer det. I många fall stämmer det inte beroende på vindens olika tryck på olika höjder och på olika sidor av byggnaden.

Tryckskillnad, Pa, som funktion av höjden, m, vid täthetsprovning med ventilationssystemet

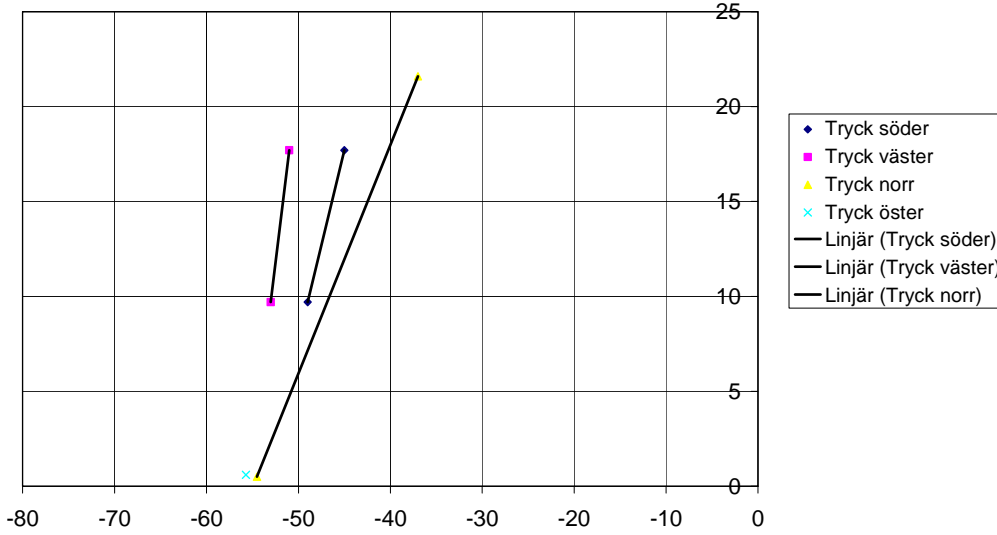


Tryckskillnad, Pa, som funktion av höjden, m, vid täthetsprovning med ventilationssystemet

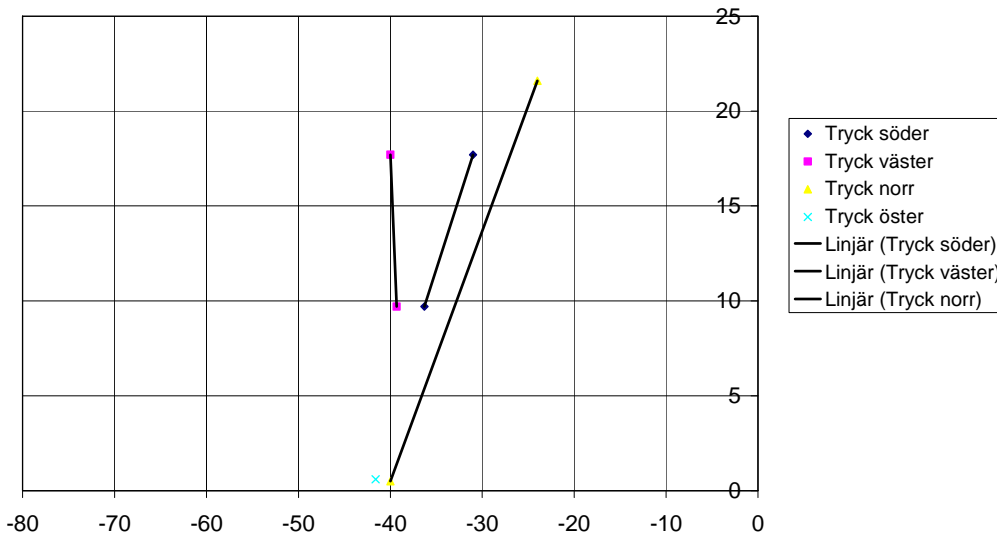




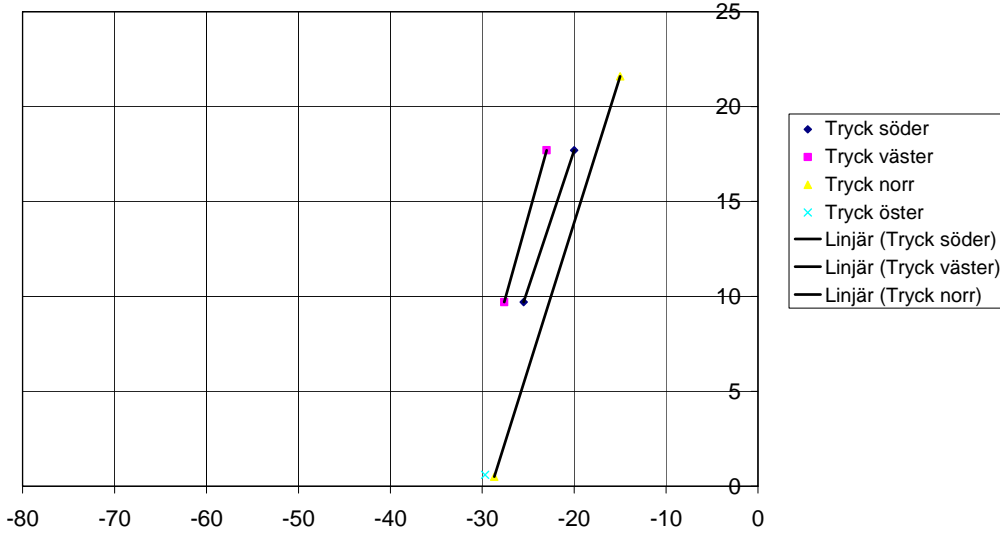
Tryckskillnad, Pa, som funktion av höjden, m, vid täthetsprovning med ventilationssystemet



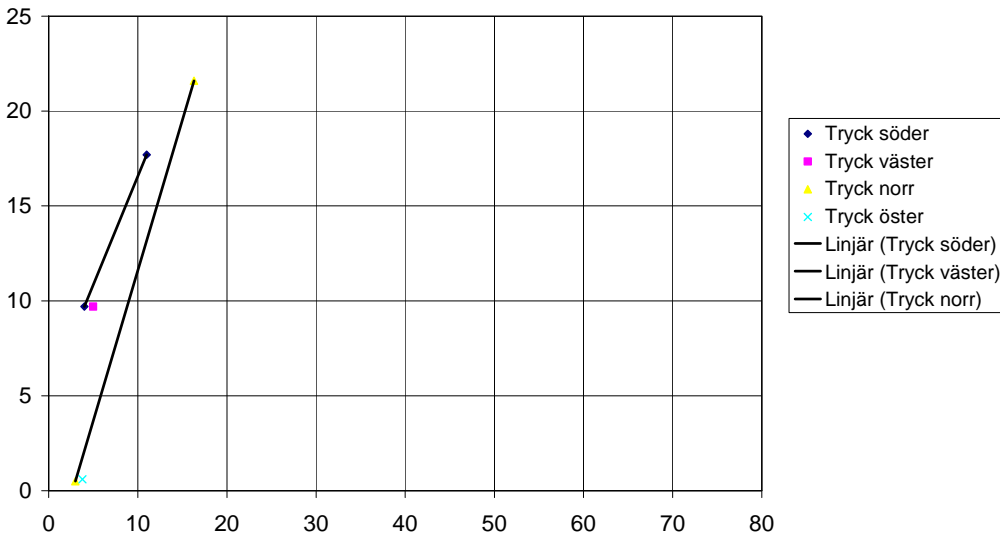
Tryckskillnad, Pa, som funktion av höjden, m, vid täthetsprovning med ventilationssystemet



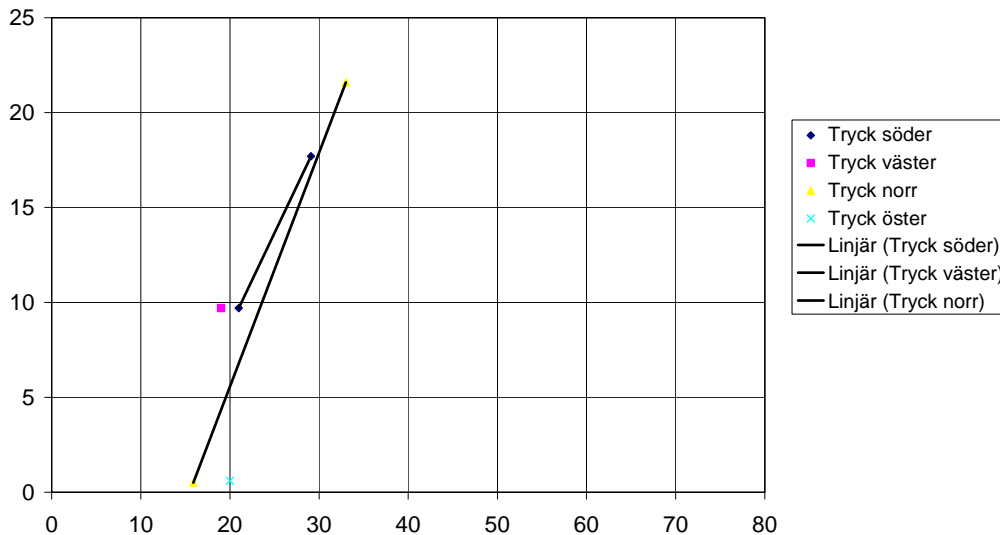
Tryckskillnad, Pa, som funktion av höjden, m, vid täthetsprovning med ventilationssystemet



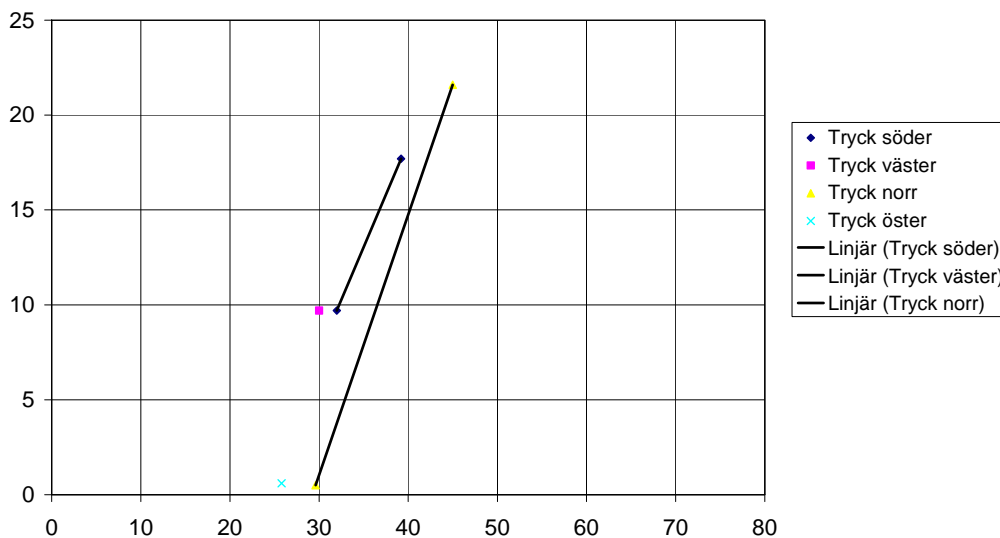
Tryckskillnad, Pa, som funktion av höjden, m, vid täthetsprovning med ventilationssystemet



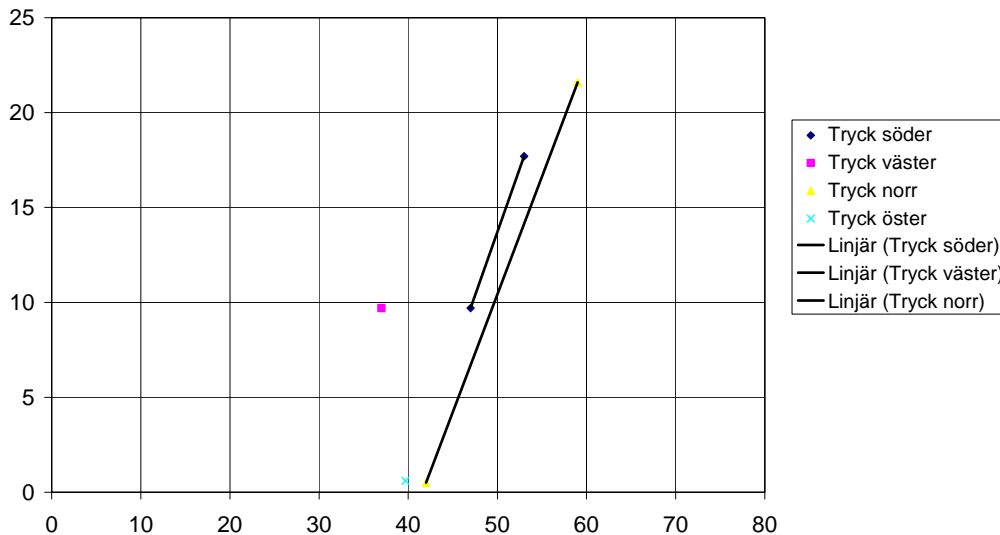
Tryckskillnad, Pa, som funktion av höjden, m, vid täthetsprovning med ventilationssystemet



Tryckskillnad, Pa, som funktion av höjden, m, vid täthetsprovning med ventilationssystemet



Tryckskillnad, Pa, som funktion av höjden, m, vid täthetsprovning med ventilationssystemet



Tryckskillnad, Pa, som funktion av höjden, m, vid täthetsprovning med ventilationssystemet

