

RAPPORT:

Verklig lufttätet i stora byggnader – Mätningar och beräkningar.



Åke Blomsterberg, Stephen Burke

2012-12-15

Förord

Denna rapport är resultatet av ett projekt finansierat av SBUF, NCC och WSP. I rapporten sammanställs kunskap om verklig lufttäthet och luftläckagevägar i stora byggnader baserad på mätningar av hela eller en stor del av 37 svenska byggnader och sex tyska och österrikiska byggnader. Provningsmetodiken beskrivs och luftläckagets inverkan på energianvändningen för uppvärmning uppskattas.

Projektet genomfördes av en projektgrupp bestående av Stephen Burke från NCC, Åke Blomsterberg, Daniel Andersson och Jens Persson från WSP.

Till projektet har en referensgrupp knutits. De personer som har ingått i denna är Eva Sikander från Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Rikard Sjöqvist från Midroc Property Development, Leif Svensson från Wihlborgs Fastigheter AB, Patrik Bengtsson från Skanska Sverige AB, Björn Mattsson från Boverket, Johnny Kronvall från Malmö Högskola, Hans Petersson från Akademiska hus Syd och Mats Ahlm/Kent Jönsson från PEAB AB.

Ett stort tack till er alla!

Malmö i december 2012

Åke Blomsterberg

WSP Sverige AB
WSP Environmental

Stephen Burke

NCC Construction Sverige AB
NCC Teknik

Innehållsförteckning

Förord	3
Innehållsförteckning	4
Sammanfattning	6
Bakgrund.....	7
Genomförande	10
Syfte	10
Metodik.....	10
Förberedelser och planering.....	10
Täthetsprovning.....	10
Utvärdering av täthetsprovning.....	11
Projektdeltagare	11
Lufttäthetsprovning	11
Checklista för täthetsprovning med blower doors	12
Checklista för täthetsprovning med byggnadens egna ventilationssystem.....	13
Täthetsprovning med blower doors och byggnadens egna ventilationssystem.....	15
Bestämning av luftläckagevägar	15
Bestämning av energianvändning pga. av oavsiktlig ventilation.....	15
Testobjekt.....	16
Tidigare testobjekt i Sverige	16
Tidigare testobjekt i Europa.....	19
Objekt testade inom detta projekt	20
Skola 1	20
Skola 2	21
Skola 3	21
Kontor 1	21
Kontor 2	22
Kontor 3	22
Resultat	23
Täthetsprovning - metod	23
Lufttäthet i trettioen tidigare provade byggnader	24
Lufttäthet i Europeiska byggnader.....	27
Lufttäthet i sex utvalda byggnader.....	29
Skola 1	31

Skola 2	34
Skola 3	36
Kontor 1	38
Kontor 2	43
Kontor 3	47
Energianvändning – lufttäthet i tolv av trettioen byggnader.....	49
Energianvändning – lufttäthet i sex nyligen provade byggnader.....	51
Slutsatser.....	52
Referenser	53

Sammanfattning

En betydande del av energianvändningen inom byggsektorn svarar lokalbyggnader för. Byggnaders lufttätethet påverkar energianvändningen för uppvärmning och kyla, samt inneklimatet. I en otät byggnad ökar energianvändningen pga. okontrollerat luftläckage. Att täthetsprova en hel större byggnad har ansetts svårt. Provmetoder finns nu, men väldigt få mätningar har genomförts i Sverige. Ett antal mätningar har genomförts i övriga Europa.

Kunskapen om verklig lufttätethet för svenska lokalbyggnader, såsom skolor och kontor, är mycket otillräcklig. Mätningarna behöver även förenklas och effektiviseras. Ökade erfarenheter från täthetsprovningar av stora byggnader behövs.

Syftet för denna studie är därför är att öka kunskapen om lufttätetheten på följande punkter: verklig lufttätethet och luftläckagevägar i stora byggnader, mätning av hela stora byggnader och utveckling av rationellare- och effektivare metoder.

Det övergripande syftet är att bidra till god lufttätning av lokalbyggnader, vilket innebär god termisk komfort, energihushållning, kontrollerad ventilation och minskad risk för fuktskador.

Projektet inleddes med att kartlägga genomförda täthetsprovningar av stora byggnader i Europa och Sverige, varefter täthetsmätningar genomförs i 6 stora byggnader, varav tre var kontorsbyggnader och tre var skolor i Sverige.

Med hjälp av täthetsprovningarna bestämdes klimatskärmens täthet. Läckagesökning gjordes med hjälp av rök och värmekamera. Antingen användes blower doors och/eller byggnadens egna ventilationssystem.

För provning med blower doors:

- bestämdes innan provningen hur många blower doors som kan behövas.
- på plats stängdes alla tillufts- och frånluftsfläktar
- stängdes och tätades alla ventilationsöppningar
- anslöts blower doors till klimatskalet i fönster eller ytterdörr
- blockerades och tätades alla ventilationsdon (alt. centralt), vattenlås m.m., samt kontrollerades tätningar efter trycksättning av byggnaden
- genomfördes en nolltrycksmätning
- skapades en tryckskillnad 10 – 60 Pa i steg om 10 Pa med hjälp av fläkten, minst fem steg
- genomfördes en nolltrycksmätning efteråt.

För provning med byggnadens eget ventilationssystem är förfarandet i princip samma som för blower doors, men med två extra steg:

- först bestämdes om ventilationssystemet har tillräcklig kapacitet
- sen säkerställdes att luftflödet i ventilationssystemet kunde regleras och att ena sidan av ventilationssystemet kan stängas (tilluftsvidan stängs vid täthetsprovning med undertryck och tvärtom vid övertryck).

Denna studie visar att metoderna som finns för att lufttäthetsprova stora byggnader, med blower doors eller med byggnadens egen ventilationssystem, fungerar bra. Täthetsprovning av stora byggnader kräver dock ett bra samarbete mellan personer med

god kunskap om installationerna i provobjektet och den som utför provningen. Det finns även en stor potential att bygga och programera ett ventilationssystem så att det kan användas för att mäta en byggnads lufttäthet med hjälp av trådlösa tryckgivare.

Tidigare genomförda täthetsprovningar av trettioen byggnader, byggda mellan 2007 och 2012, visar mycket god lufttäthet. Den genomsnittliga lufttätheten var 0,3 l/sm² vid 50 Pa vilket överensstämmer med de svenska kriterierna för passivhus. Den bästa byggnaden har ett värde på 0,1. För de flesta byggnaderna hade specificerade täthetskrav ställts upp från 0,2 till 0,8 l/sm² med ett medelvärde på 0,44 l/sm² vid 50 Pa, vilket kan jämföras med kravet i tidigare svenska byggnorm (före 2006) på 1,6 l/sm². Endast tre byggnader uppfyllde inte sina krav. Vanliga läckageställen i de täta byggnaderna är ytterdörrar och anslutningar mellan fasadelement och golv/tak, varav många kan vara svåra att tätta i efterhand. De flesta byggnaderna täthetsprovades med blower doors, som täckte större delen av byggnaden. Några provades med det egna ventilationssystemet.

De inom detta projekt sex täthetsprovade byggnaderna (byggda mellan 2007 och 2012) har god lufttäthet, dock inte lika lufttäta som de tidigare provade byggnaderna. En bidragande faktor kan vara att endast för två hade täthetskrav specificerats och täthetskraven för dessa två var högre än de svenska kriterierna för passivhus.

Energianvändningen för uppvärmning av luft som läcker igenom byggnadsskalet i form av infiltration uppskattades genom att reducera täthetsprovningens resultat. Denna metod ger endast storleksordningen på infiltrationen och är lämplig när endast information om golvarea, byggnadsvolym, typ av ventilationssystem finns för en provad byggnad. Vid verklig drift råder andra tryckförhållanden än vid en täthetsprovning. Två olika liknande metoder användes. Den ena innebär att infiltrationen beräknas genom att dividera antal luftomsättningar vid 50 Pa med 20 och med den andra divideras det specifika luftläckaget vid 50 Pa med 20. Därefter bestämdes energianvändningen med hjälp av antalet normalgraddagar för Stockholm.

Denna studie visar att det är möjligt att bygga skol- och kontorsbyggnader, som uppfyller höga krav på lufttäthet. Detta kan uppnås med olika byggnadsteknik. Energianvändningen förorsakad av luftläckage i dessa byggnader är låg, endast några kWh/m²år. För en byggnad som endast uppfyller lufttäthetskravet enligt byggnormen före 2006 kan motsvarande energianvändning vara 10-20 kWh/m²år.

För att uppnå god lufttäthet bör i ett tidigt skede krav på specifik lufttäthet ställas. Detta krav måste sedan följas upp under hela byggprocessen.

Bakgrund

EU har som ambition att medlemsstaterna skall effektivisera sin energianvändning med 20 procent fram till år 2020. Sektorn bostäder och service i Sverige använde 141 TWh år 2008, vilket motsvarar hela 36 procent av Sveriges totala energianvändning, av detta står bostäder och lokaler för ungefär 86 procent. I mars 2006 antog Sverige nationella Miljökvalitetsmål för energieffektivisering. Där anges att energianvändningen i byggnader ska minska med 20 % till 2020 och 50 % till 2050, jämfört med år 1995. För att uppnå dessa mål krävs energieffektivisering både vid ny- och ombyggnad samt i befintlig bebyggelse. Detta gäller alla typer av byggnader, bostäder, kontor, skolor m.m.

Kontorsbyggnader ansvarar för en betydande del av energianvändningen inom byggsektorn och det finns en stor effektiviseringspotential. Den totala energianvändningen för ett kontor i Sverige är i genomsnitt 210 kWh/m²år. Därav är

elanvändningen 108 kWh/m²·år, varav 57 kWh/m²·år är verksamhetsel för belysning och kontorsutrustning. Detta enligt en undersökning i 123 kontors- och förvaltningsbyggnader av olika ålder (Persson 2007). Av golvarea i alla kontorsbyggnader värme ca 70 % av fjärrvärme och den genomsnittliga fjärrvärmeanvändningen är 110 kWh/m²·år (SCB 2006). Många kontorsbyggnader har en ganska låg energianvändning för uppvärmning jämfört med äldre kontorsbyggnader, men har en högre elanvändning. Detta beror på en hög elanvändning för ventilation, kyla, belysning och verksamheten.

En viktig parameter som påverkar energianvändningen i alla byggnader för uppvärmning och kyla, samt inneklimatet och risken för fuktskador är byggnadens lufttäthet. 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 inomtemperaturen höjs för att förbättra komforten. Detta leder i sin tur till en ökad energianvändning.

Att täthetsprova en hel eller en stor del av en större byggnad har ansetts svårt, vilket lett till osäkra resultat och att eventuella krav på byggnaders täthet sällan följs upp. Provmetoder finns och nu har man i nedan nämnda projekt "Lufttäthet i kontorsbyggnader – mätningar och beräkningar" visat att det går att täthetsprova även hela stora byggnader. En modern kontorsbyggnad i Malmö täthetsprovades, syftet var att utvärdera olika metoder för mätning i större byggnader. Man beräknade även lufttäthetens inverkan på energianvändningen för uppvärmning och kylning.

De olika metoder man använde var:

- täthetsprovning med ett antal "blower doors" som är portabla fläktar, provningen utfördes enligt SS-EN 13829
- täthetsprovning med byggnadens ventilationssystem, en kanadensisk standard tillämpades, CGBS 149.10-M86
- kombination med portabla fläktar och byggnadens eget system
- läckagesökning gjordes, både med rök och värmekamera.

Provning med ett antal "blower doors" enligt SS-EN 13829 används med fördel i mindre byggnader eller vid provning av en avgränsad del av en byggnad. För större byggnader kan det vara svårt att uppnå rätt över eller undertryck med portabla fläktar (blower doors).

I större byggnader t.ex. kontor, skolor används med fördel därför byggnadens eget ventilationssystem då dessa oftast har så stor kapacitet att det går att skapa ett tillräckligt över eller undertryck om minst 50 Pa.

I nämnd kontorsbyggnad i Malmö var ventilationssystemet ett behovsstyrt mekaniskt från- och tilluftssystem med värmeåtervinning. Det är viktigt att känna till anläggningens styr- och övervakningssystem för att kunna reglera så att ventilationsflödet skapar önskvärda tryckskillnader vid täthetsprovning, samt att ha kontroll över luftflödet. I äldre byggnader kan täthetsprovning med det egna ventilationssystemet vara ett problem då det ofta saknas fasta mätuttag för mätning av luftflöde. Då får man mäta luftflödet i ventilationskanalen med spårgasteknik.

Byggnadens energianvändning och inneklimat följdes noggrant upp både under projekterings- och byggskedet (Blomsterberg 2007). Kontorsbyggnaden som färdigställdes 2007, har 5 plan och en area på 6700 m² BRA eller 5800 m² LOA. Luften som läcker in

och ut genom klimatskärmen passerar ingen ventilationsvärmväxlare och kan istället orsaka komfortproblem och ökad energianvändning. Okontrollerat drag leder oftast till att innetemperaturen måste höjas. Den aktuella byggnaden visade sig ha god lufttäthet, 0,7 l/s·m² vid 50 Pa. Det okontrollerade luftläckaget svarar i den aktuella byggnaden för cirka 15 % (7 kWh/m²·år fjärrvärme) av den årliga energianvändningen för rumsuppvärmning enligt beräkningar med det dynamiska energiberäkningsprogrammet IDA. Simuleringarna innehöll en beräkning av luftläckaget baserad på uppmätt lufttäthet. Luftläckaget genom klimatskärmen beräknades med en flerzonsnätverksmodell.

Som nämnts ovan är genomsnittlig total energianvändning i kontorsbyggnader 220 kWh/m²·år (A_{temp}), varav 110 kWh/m²·år är genomsnittlig fjärrvärmeanvändning. Den aktuella byggnadens totala energianvändning är 120 kWh/m²·år (LOA), inklusive verksamhetsel, vilket motsvarar cirka 85 kWh/m²·år A_{temp} i BBR:s mening.

Enligt Boverkets byggregler (Boverket 2011) finner vi krav på byggnadens täthet som Allmänt råd under 6:531:

- för att undvika skador på grund av fuktkonvektion bör byggnadens klimatskildande delar ha så god lufttäthet som möjligt, här hänvisas till provning enligt SS-EN 13829.

I energiavsnittet har nu följande krav införts i 9:21 och 9:31

- byggnadens klimatskärm ska vara så tät att krav på byggnadens specifika energianvändning och installerad eleffekt för uppvärmning uppfylls
- Enligt 9:4 som kan tillämpas på byggnader mindre än 100 m² sägs att byggnadens klimatskärm ska vara så tät att det genomsnittliga luftläckaget vid + 50 Pa tryckskillnad inte överstiger 0,6 l/s·m² (därvid skall arean A_{om} användas.). Även Här hänvisas till provning enligt SS-EN 13829 som allmänt råd
- I äldre regler angavs 1,6 l/s·m² för lokaler och 0,8 l/s·m² för bostäder vid 50 Pa.

Utöver ovannämnda mätning har enligt uppgift bl.a. Skanska genomfört mätningar i några stora byggnader, där hela eller en stor del av byggnaden täthetsprovats. Övriga mätningar i stora byggnader i Sverige har framförallt gjorts i industrilokaler. I USA, Kanada och England har lufttätheten mätts upp i ca 130 lokaler (Blomsterberg 2009). Ett antal mätningar inom Europa redovisades vid t.ex. Buildair/30th AIVC-konferensen i oktober 2009, Buildair-konferensen 2010.

Metoder för att mäta lufttätheten i stora lokalbyggnader finns alltså, men väldigt få mätningar har genomförts. Mätningarna kan dock vara relativt tidskrävande med nuvarande mätutrustning och metoder. Det finns därför ett stort behov av att förenkla och effektivisera både metoder, utrustning och provtagning.

Vid projektstart pågående projekt:

- Lufttäthetsfrågor i byggprocessen etapp C – goda exempel på lösningar för lufttätt byggande, SP, finansiär SBUF
- Lufttäthetsfrågor i byggprocessen etapp D – beständighet hos täthetslösningar, SP, finansiär SBUF, CERBOF
- ByggaL – metod för kvalitetssäkring av lufttäta byggnader, SP m.m., finansiär: SBUF, FoU väst

- Leverantörsinventering av lufttättningsprodukter för klimatskalet i byggnader, Skanska, finansiar SBUF

Vid projektstart avslutade projekt

- Lufttäthet i kontorsbyggnader – mätningar och beräkningar, WSP, finansiar: SBUF, Midroc och WSP

Genomförande

Projektet påbörjades i oktober 2011 och avslutades i december 2012.

Syfte

Syftet var att öka kunskapen om lufttätheten på följande punkter:

- Verklig lufttäthet och luftläckagevägar i stora byggnader
- Mätning av hela stora byggnader
- Utveckling av rationellare- och effektivare metoder

Metodik

Genomförandet inleddes med att kartlägga genomförda täthetsprovningar av stora byggnader i Europa och Sverige, varefter täthetsmätningar genomfördes i 6 stora byggnader (kontorsbyggnader och skolor) i Sverige. Förslag till förenklingar av mätmetoderna utarbetades genom att ta fram rationellare utrustning för bl.a. tryckmätning.

Förberedelser och planering

En sammanställning av genomförda täthetsprovningar i Sverige och Europa gjordes. Genomförda täthetsprovningar redovisades bl.a. vid Buildair/30th AIVC-konferensen i oktober 2009 och Buildair-konferensen 2010 och 2011. Täthetsprovningarna kräver, oavsett metod, att i förväg bestämma vilka stora ventilationsöppningar som måste blockeras och ev. avskiljning av angränsande byggnader. Dessutom måste, framförallt om byggnadens egna ventilationssystem skall användas, bestämmas hur ventilationssystemet kan tvångsstyras. Provningsutrustning måste väljas och kompletteras med t.ex. rationell utrustning för tryckmätning i flera punkter. Lämplig tidpunkt för provning måste bestämmas t.ex. kontorstid eller inte.

Täthetsprovning

Med hjälp av täthetsprovningarna bestämdes klimatskärmens täthet. Läckagesökning gjordes med rök och med hjälp av värmekamera. Antingen användes blower doors och/eller byggnadens egna ventilationssystem (se avsnitt Lufttäthetsprovning). Tryckskillnaden mellan ute och inne måste säkerställas i hela byggnaden under provningen, vilket kan kräva mätningar på flera ställen i byggnaden.

Utvärdering av täthetsprovning

Täthetsprovningarna utvärderades med avseende på tillämpbarhet, reproducerbarhet och enkelhet. Resultaten från täthetsprovningarna jämfördes med andra Europeiska och svenska provningar. En uppskattning av täthetsnivåernas energikonsekvenser gjordes. Ev. brister i tätheten bedömdes ur byggnadsteknisk synvinkel.

Projektdeltagare

Projektet genomfördes av en projektgrupp.

Tabell 1: Projektgrupp

Ansvarsområde	Namn	Företag
Projektleddning	Projektleddare Tekn. Dr. Åke Blomsterberg	WSP Environmental, Malmö
Täthetsprovningar	Tekn. Dr. Stephen Burke	NCC Teknik, Malmö
	Civ. ing. Daniel Andersson	WSP Environmental, Malmö
	Civ. ing. Jens Persson	WSP Environmental, Malmö

En referensgrupp knöts till projektet. I gruppen har ingått Eva Sikander från Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Rikard Sjöqvist från Midroc Property Development, Leif Svensson från Wihlborgs Fastigheter AB, Patrik Bengtsson från Skanska Sverige AB, Björn Mattsson från Boverket, Johnny Kronvall från Malmö Högskola, Hans Petersson från Akademiska hus Syd och Mats Ahlm/Kent Jönsson från PEAB AB. Referensgruppen har sammanträtt före projektets start och därefter vid två ytterligare tillfällen.

Lufttäthetsprovning

Täthetsprovning av en byggnad innebär att byggnaden sätts under över- eller undertryck med en eller flera provfläktar eller byggnadens egna ventilationssystem. 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 täthetsprovningen görs med byggnadens egna ventilationssystem, tvångsstyras. Tryckskillnaden mellan ute och inne måste säkerställas i hela byggnaden under provningen, vilket kräver mätningar på flera ställen i byggnaden.

Valet mellan de två metoderna (blower doors eller byggnadens egna ventilationssystem) 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. Om inga specifika täthetskrav ställts kan ett rimligt antagande vara att byggnadens

den uppfyller BBR94-kravet som för lokaler var 1,6 l/sm² 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/sm², med möjlighet till viss forcering i köket.

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. Tätningssarbetet 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. Dessutom, det inbyggda ventilationssystem är sällan lika noggrant vad det gäller mätning av luftflöde som med blower doors.

Mätningarna av tryckskillnaden mellan ute och inne kan vara 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, och att vägguttag(en) har tillräcklig kapacitet.

Checklista för täthetsprovning med blower doors

- Planera och förbered t.ex. genom en förbesiktning av testobjektet (Blomsterberg 2009, Walther 2009). 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
- Beräkna byggnadens omslutningsyta och uppskatta vilket luftflöde som behövs för täthetsprovningen och därmed antal blower doors som behövs
 - Tryckskillnad mellan inne-ute mäts relativt halva byggnadshöjden, $H/2$, för mark- och taknivå. Ofta kan det vara lämpligt att mäta tryckskillnaden över alla fasader på olika höjder.
 - För byggnad ≤ 10 plan bör vindhastigheten vara $\leq 5,5$ m/s och utetemperatur ≥ 5 °C vid provning.
 - Installera blower doors
 - Stäng av eventuellt larm
 - Stäng av alla tillufts- och frånluftsfläktar
 - Stäng alla fönster och dörrar mot ute
 - Öppna alla innerdörrar för att säkerställa hela byggnaden trycksätts vid täthetsprovningen (Simons 2010)
 - Blockera och täta alla ventilationsöppningar (alternativt central tätning vid luftintag och luftutsläpp), vattenlås m.m., samt kontrollera tätningarna efter trycksättning av byggnaden.
 - Genomför en nolltrycksmätning
 - Skapa en tryckskillnad 10 – 60 Pa i steg om 10 Pa med hjälp av fläkten, minst fem steg
 - Bestäm $Q = C (\Delta P)^n$ med regression (luftflöde som funktion av tryckskillnaden mellan ute och inne)
 - I övrigt enligt EN 13829. Denna standard har mer detaljerade krav på genomförandet än den kanadensiska för provning med ventilationssystemet.

En blower door har en kapacitet på ca 8 500 m³/h vid en tryckskillnad på 50 Pa.

Checklista för täthetsprovning med byggnadens egna ventilationssystem

Förfarandet är i princip samma som för blower doors. I valda delar tillämpas den kanadensiska standarden: 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 ($\pm 1\text{ Pa}$), temperaturgivare ($\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$)
- Vid provning bör följande klimatförhållande råda

Tabell 2: Höga byggnader och gränsvärden för klimatförhållande för genomförande av täthetsprovning.

Byggnadshöjd, våningar	Utetemperatur, $^\circ\text{C}$	Vindhastighet, m/s
≤ 10	≥ 5	≤ 5
11 – 20	≥ 8	≤ 5
21 – 30	≥ 10	≤ 5
≥ 31	≥ 15	≤ 5

- Kalibrera luftflödesmätare ($\pm 5\%$), tryckgivare ($\pm 1\text{ Pa}$), temperaturgivare ($\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$).
- Planera och förbered t.ex. genom en förbesiktning av testobjektet (Blomsterberg 2009, Walther 2009). 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 regleras och stängas av
 - vilka möjligheter det finns att mäta luftflödet i ventilationssystemet och med vilken noggrannhet
 - var tryckskillnaden över klimatskärmen kan mätas, se rekommendation nedan
- Beräkna byggnadens omslutningsyta och uppskatta vilket luftflöde som behövs för täthetsprovningen
- Studera SÖ-systemet för att fastställa att det går att reglera ventilationsflödet och uppnå önskvärda tryckskillnader, samt ha kontroll över luftflödet.
- Säkerställ att det går att mäta luftflödet
- Tryckskillnad mellan inne-ute mäts relativt halva byggnadshöjden, $H/2$, för mark- och taknivå. Ofta kan det vara lämpligt att mäta tryckskillnaden över alla fasader och på olika höjder.
- 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 för att säkerställa att hela byggnaden trycksätts vid täthetsprovningen (Simons 2010)

- 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 $Q = C (\Delta P)^n$ med regression (luftflöde som funktion av tryckskillnaden mellan ute och inne).
- I övrigt tillämpas den kanadensiska standarden.

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 av 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 eller blower doors.

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 luftrörelser med indikeringsrök för att bekräfta om det är luftläckage eller inte.

Bestämning av energianvändning pga. av oavsiktlig ventilation

För att kunna bestämma energianvändning pga. av oavsiktlig ventilation, måste först infiltrationen och exfiltrationen genom klimatskärmen bestämmas. Denna oavsiktliga ventilation passerar inte värmeåtervinningen på ventilationen och förorsakar därmed en ökad energianvändning för uppvärmning och kyla. I detta projekt har endast ökningen av uppvärmningen studerats, eftersom den torde ha störst betydelse.

För att bestämma infiltrationen/exfiltrationen genom klimatskärmen från resultat från en täthetsprovning finns olika ventilationsmodeller. Ventilationsmodellerna kan delas in i: ”luftutbytes”-metoder, reduktion av täthetsprovningens resultat, regressionsmetoder, teoretiska nätverksmodeller, förenklade teoretiska metoder (Liddament 1986). De tre första modellerna är empiriska metoder, som tenderar att vara lösligt baserade på fysikaliska principer för luftflöde. De andra modellerna är teoretiska modeller, som är baserade på ett mer grundläggande angreppssätt med lösandet av flödesekvationer för luftrörelser genom öppningar i klimatskärmen. Empiriska modeller är vanligen enkla att använda, men tenderar att vara otillförlitliga och ha ett begränsat användningsområde. Å andra sidan har teoretiska modeller ett potentiellt obegränsat användningsområde, men ställer ofta höga krav på indata och beräkningstid. Teoretiska beräkningsmetoder kan delas in i: enzonsnätverksmodeller, flerzonsnätverksmodeller och förenklade teoretiska metoder. Dessa modeller kräver mycket information t.ex. formfaktorer för

vind, fördelning av läckagevägar för klimatskärmen, lokal vindhastighet, byggnadens geometri. Pga. den begränsade omfattningen på information för de inom ramen för denna studie täthetsprovade byggnaderna, så valdes metoden med reducering av täthetsprovningens resultat för att bestämma den genomsnittliga infiltrationen.

Metoden med reducering av täthetsprovningens resultat ger trots allt värdefull information om genomsnittlig infiltration för en byggnad. Den konstgjorda trycksättningen vid en täthetsprovning för att bestämma lufttäthetsprestanda är tämligen vanligt förekommande. Vid verklig drift av en byggnad råder andra tryckförhållanden. Provningen ger data med avseende byggnadens "otäthet". Provningen ger ingen kvantifierbar information om fördelningen otätheterna och ingen information hur infiltrationen påverkas vind, temperatur, terräng eller vindskydd. Emellertid, många resultat från experiment har visat att den ungefärliga infiltrationen är av storleksordningen en tjugonedel den vid 50 Pa uppmätta lufttätheten (ASHRAE 2009), dvs.:

$$Q_{\text{inf}} = Q_{50} / 20 \quad (1)$$

där Q_{inf} = infiltration (h^{-1})

Q_{50} = luftomsättning (h^{-1}) vid 50 Pa.

Beräkningar har visat att förhållandet kan variera mellan sex och fyrtio beroende på hus, klimat och vindskydd (Blomsterberg 1990).

Alternativt beräknas infiltrationen enligt den analoga schablonmetoden som används i energiberäkningsprogrammet ENORM (Equa 2004). För varje byggnadszon bestäms den ofrivilliga luftläckningen (infiltrationen) i $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ genom omslutande, läckande ytor enligt följande formel

$$q_{\text{inf}} = q_{50} / d \quad (2)$$

där q_{inf} = infiltration (luftläckning) i $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ vid drifttryck

q_{50} = infiltration i $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ vid 50 Pa tryckskillnad

$d = 20$ vid FT-ventilation eller avstängd fläkt

$d = 25$ vid undertryck motsvarande F-ventilation

För att bestämma energianvändningen för uppvärmning förorsakad av infiltration så beräknades först infiltration från resultaten av täthetsprovningar och sedan beräknades energianvändningen med hjälp av normalgraddagar för Stockholm. För flera av de täthetsprovade byggnaderna fanns endast information om golvarea, byggnadsvolym, typ av ventilationssystem och typ av byggnadsteknik, samt resultatet från täthetsprovningen.

Testobjekt

Målsättningen var att täthetsprova hela eller nästan hela undervisnings- och kontorsbyggnader byggda efter år 2000 med en golvarea helst större än 1 000 m^2 . Byggnaderna skulle vara en blandning av byggnader med specificerade täthetskrav och utan.

Tidigare testobjekt i Sverige

Trettioen byggnader har täthetsprovats av olika organisationer t.ex. SP, Akademiska Hus, NCC, Skanska, Peab, WSP. Alla byggnaderna vara byggda mellan 2007 och 2012. Byggnaderna är i huvudsak skolor och kontor, men också några äldreboende,

butiker och idrottshallar (se Tabell 3). Den minsta byggnaden har en golvarea på 800 m² och den största på 17 000 m². Alla byggnader har FTX-ventilation, några med behovsstyrning. Byggnadstekniken varierar, från prefabricerade betongelement till träregelväggar. Många har en takkonstruktion av trapetskorrugerad plåt.

Tabell 3: Beskrivning av täthetsprovade byggnader. TRP = trapetskorrugerad plåt. PPM = platta på mark. HDF = håldäcksbjälklag av betong.

Typ av byggnad	Byggår	Antal plan över mark	Golvarea, m ²	Byggnadsvolym, m ³	Byggnadsteknik, klimatskärm
Butik	2011	Huvudsakligen 1-plansbyggnad, lokalt 2 plan	8 221 (varav 7881 mot mark)	61 090	Betongprefab/paroc-element, TRP
Idrottshall	2011	Större del är 1-plansbyggnad, mindre del har två plan			Betongprefab/regelstomme, TRP
Kontor	2008		1 950	5 250	Plåt/cellplast-element
Kontor	2010		3 905		Betongprefab
Kontor	2010	6-plansbyggnad	4 094	15 171	Någon typ av fasadsystem, TRP
Kontor	2010	5	17 000		
Kontor	2007	5	8 574	25 722	Glasfasad, regelvägg
Kontor/industri-lokal	2009		379/1269		Plannjaelement/Regelstomme
Lager/verkstad-/kontor	2011	Huvudsakligen 1-plansbyggnad, mindre del har två plan			Regelstomme, TRP
Livsmedelsbutik	2011		1 540	8 000	Betong PPM, Putsad lättklinker vägg, TRP plastfolie
Undervisnings-lokal	2009				
Undervisnings-lokal	2011	Huvudsakligen 1-plansbyggnad, mindre del har två plan			Regelstomme, takstolar
Undervisnings-lokal	2008	Huvudsakligen 1-plansbyggnad, mindre del har två plan			Regelstomme, takstolar

Undervisningslokal	2008	1-plansbyggnad	1 840		Regelstomme, takstolar
Undervisningslokal	2009	Huvudsakligen 1-plansbyggnad, lokalt två plan	1 134 (varav 1064 mot mark)		Regelstomme, TRP
Undervisningslokal	2008	Huvudsakligen 2-pansbyggnad, mindre del 1-plansbyggnad			
Undervisningslokal	2010	Huvudsakligen 1-plansbyggnad, lokalt 2 plan	973 (varav 903 mot mark)		Regelstomme, takstolar
Undervisningslokal	2010	Huvudsakligen 1-plansbyggnad, lokalt 2 plan	973 (varav 903 mot mark)		Regelstomme, takstolar
Undervisningslokal	2010	Huvudsakligen 2-plansbyggnad, lokalt 3 plan			Be- tong/regelstomme, takstolar
Undervisningslokal	2010	Huvudsakligen 1-plansbyggnad, lokalt 2 plan	761 (varav 706 mot mark)		Regelstomme, takstolar
Undervisningslokal	2010	2-plansbyggnad	3 425	ca 13500	Utfackningsväggar, vindsbjälklag av HDF
Undervisningslokal	2011	Huvudsakligen 1-plansbyggnad, lokalt 2 plan	959 (varav 871 mot mark)		Regelstomme, takstolar
Undervisningslokal	2011	Huvudsakligen 1-plansbyggnad, lokalt 2 plan	2 250 (varav 2042 mot mark)	8 995	Regelstomme, TRP
Undervisningslokal	2007	2-plansbyggnad (varav halva nedre plan under mark)			
Undervisningslokal: förskola (Nybyggnad)	2011		880	3 300	PPM, Regelvägg, plastfolie, Takstolar, plastfolie
Undervisningslokal: skola	2010		800	3 190	Betongprefab/Utfackning
Undervisningslokal: skola	2011		2 950	11 500	PPM, Regelvägg, TRP tak, plastfolie

Undervisningslokal: skola (om/tillbyggnad)	2010		3 340	14 000	PPM, Regelvägg och takstolar/TRP, plastfolie
Äldreboende	2012	7-plansbyggnad (huvudsakligen bara 6 plan)	4 762	ca 14800	Betongprefab (till allra största del)
Äldreboende	2011		4 200	11 000	Utfackningsväggar, vindsbjälklag i betong

Tidigare testobjekt i Europa

Inom övriga Europa har ett antal stora byggnader täthetsprovats. Information är dock endast lätt tillgänglig för några byggnader, varav flertalet är byggda enligt den tyska passivhusstandarden (se Tabell 4). Byggnaderna är idrottshallar, skolor och ett renoverat flerbostadshus.

Tabell 4: Tidigare testobjekt i Europa.

Typ av byggnad	Byggår	Antal plan över mark	Golvarea, m ²	Byggnadsvolym, m ³	Byggnadsteknik, klimatskärm
Passivhus idrotts- och multihall (Kah 2009), Unterschleissheim, Tyskland	2003	Huvudsakligen 1-plansbyggnad,	1 151	5 930	Träregelvägg
Passivhus idrottshall (Kah 2009), Heidelberg, Tyskland	2004	2-plansbyggnad	933	Ca 6 500	
Passivhus idrottshall med skola (Kah 2009), Aufkirchen, Tyskland	2004	2-plansbyggnad	Ca 4 000		Träregelvägg
Trefältsidrottshall (Kah 2009), Laatzen, Tyskland	2006				
Minergie trefältsidrottshall (Kah 2009), Wängi, Schweiz	2004		Ca 1 000	10 000	Träregelkonstruktion
Skola (Simons 2011), Tyskland		2-3-plansbyggnad		75 000	

Passivhus, renoverat flerbo- stadshus (Simons 2011), Tyskland				22 000	
---	--	--	--	--------	--

Objekt testade inom detta projekt

Sex byggnader täthetsprovades inom ramen för detta projekt, tre kontors- och tre skolbyggnader. Alla byggnaderna är byggda mellan 2007 och 2011 (se Tabell 5). Den minsta byggnaden har en golvarea på 1 000 m² och den största på 20 000 m². Alla byggnader har FTX-ventilation, varav tre är behovsstyrda. Byggnadstekniken för klimatskärmen varierar från prefabricerade betongelement till träregelväggar.

Tabell 5: Beskrivning av täthetsprovade byggnader.

Typ av byggnad	Byggår	Antal plan över mark	Golvarea, m ²	Byggnadsvolym, m ³	Ventilationssystem	Byggnadsteknik, klimatskärm
Kontor 1 /utställningshall	2011	1-2	20 000	204 000	Behovsstyrd FTX	Prefabricerad betongstomme, HDF-bjälklag, Ytterväggar i betong, tegel, glas
Kontor 2	2009	6	12 000	48 000	Behovsstyrd FTX	Skärmtegel och glas
Kontor 3	2009	10	5 438	4 714	Behovsstyrd FTX	Prefabricerad glasfasad
Skola 1	2007	2,5	2 628	8 600	FTX	Lättbetong
Skola 2	2011	1,5	1 030	2 967	FTX	Träregelvägg
Skola 3	2009	2,5	2 098	7 148	FTX	Träregelvägg

Skola 1

Skola 1 är en 2,5 plans skola med lättbetongväggar byggd 2007. Byggnaden har glaspartier i trapphus och är öppen upp till taket i mitten av byggnaden, se Bild 1. Byggnaden har 2 st FTX system.

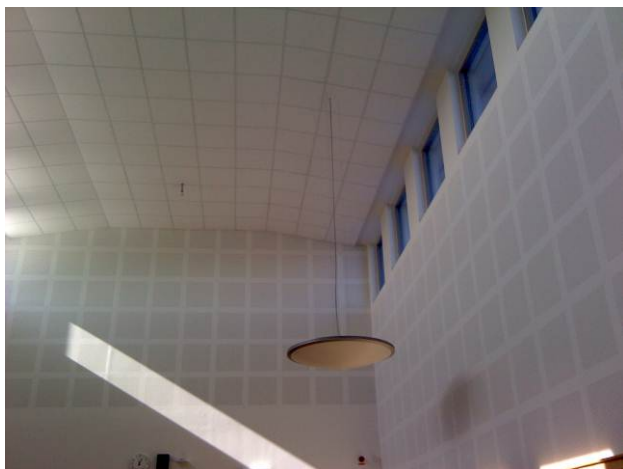


Bild 1: Öppet upp till taket i skola 1.

Skola 2

Skola 2 är ett 1,5 plans skola med träregelväggar byggd 2011. Byggnaden har 1 st FTX system med en frånluftsfläkt i köket.

Skola 3

Skola 3 är en 1,5 plans skola med träregelväggar byggd 2009. Byggnaden har 1 st FTX system med frånluftsfläktar i köket, servarrum, kemilabb, mm.

Kontor 1

Kontor 1 är ett 2 plans kontorsbyggnad med en mässhall byggd 2011- 2012 (se bild 2-4). Byggnaden har 7 st behovsstyrda FTX-system och en frånluftfläkt i miljörummet. Ytterväggarna består av både stålregelväggar och betong-sandwich element. Taket är en TRP-plåt med isolering ovanpå.



Bild 2: Entrésidan av kontor 1.



Bild 3: Kontor 1.



Bild 4: Baksidan av kontor 1.

Kontor 2

Kontor 2 är en 6 plans kontorsbyggnad med utfackningsväggar av skärmtegel och glas monterad på stålpelare byggd 2009. Byggnaden har 3 st behovsstyrda FTX system.

Kontor 3

Kontor 3 är en 11 plans kontorsbyggnad med prefabricerad glasfasad byggde 2009 (se bild 5). Byggnaden har ca 10 st behovsstyrda FTX system, ett i källaren och ett på varje våning från och med våning 2.



Bild 5: Kontor 3.

Resultat

Täthetsprovning - metod

Två olika metoder för att täthetsprova hela eller en stor del av en skol- eller kontorsbyggnad har använts, dels med hjälp av byggnadens egna ventilationssystem och dels med ett antal blower doors. De två metoderna har även i några fall kombinerats. Valet av metod har berott på förutsättningarna i det enskilda provobjektet. En viktig iakttagelse när beslut skall tas om att använda ventilationssystemet är att man måste säkerställa att luftflödena i ventilationssystemet någorlunda enkelt kan regleras och mätas. Det kan ofta vara aktuellt att kunna tvångs styra ventilationssystemet. Luftflödesmätningen måste också gå att göra med tillräcklig noggrannhet. Täthetsprovning med byggnadens egna ventilationssystem torde endast vara genomförbar i en färdig byggnad. En lämplig förutsättning kan också vara att ventilationssystemet är behovsstyrt, vilket medger att luftflödet kan varieras inom ett stort område. Täthetsprovning under byggnation genomförs vanligen bäst med blower doors. De två metoderna har i detta projekt använts för kontorsbyggnader, skolbyggnader och några andra lokaler.

Två sätt att förenkla täthetsprovning av hela eller en stor del av lite större byggnader har studerats:

- Tätning av ventilationsaggregat, vilket gäller antingen tillufts- eller frånluftssidan. Detta görs ofta vid aggregaten. En förbättring vore att ha färdiga lufttäta kassetter som kan ersätta filterkassetterna tillfälligt.
- Rationell differenstryckmätning. Eftersom det är lämpligt vid täthetsprovning att mäta tryckskillnaden mellan inne och ute på flera ställen samtidigt och det kan vara stora avstånd mellan mätpunkterna, vore det tilltalande med trådlös överföring från tryckgivarna. Ett alternativ vore att använda enkanaliga GSM-loggrar, som finns på marknaden. Nackdelen är den höga kostnaden. En logger kan kosta ca 10 000 kr och tillhörande tryckgivare ca 4 000 kr. The Energy Conservatory (Nelson 2012) utvecklar en Wi-Fi-enhet för anslutning till tryckgivare, vilket innebär trådlös överföring av tryckmätning till t.ex. en dator. Wi-Fi-enheten är tänkt att kosta ca 1 500 kr och finnas på marknaden nästa år (2013).

Ett ventilationssystem skulle kunna vara förberett för att användas vid täthetsprovning, så att det är enkelt att styra. Det gäller framförallt behovsstyrda FTX-system.

Lufttätet i trettioen tidigare provade byggnader

Alla provade trettioen byggnaderna har mycket god lufttätet (se Tabell 6). Den genomsnittliga lufttäteten var 0,3 l/s·m² vid 50 Pa vilket överensstämmer med de svenska kriterierna för passivhus (Nollhus 2012). Den bästa byggnaden har ett värde på 0,1. För de flesta byggnaderna hade specificerade täthetskrav ställts upp från 0,2 till 0,8 l/s·m² med ett medelvärde på 0,44 l/s·m² vid 50 Pa, vilket kan jämföras med kravet i tidigare svenska byggnorm (före 2006) på 1,6 l/s·m². Endast tre byggnader uppfyllde inte sina krav. Den nuvarande byggnormen har inget specificerat täthetskrav. Alla tidigare täthetsprovade kontors-, skol- och butiksbyggnader i USA, Kanada och Storbritannien är mycket otätare (Blomsterberg 2009). Vanliga läckageställen i de täta byggnaderna är ytterdörrar och anslutningar mellan fasadelement och golv/tak, varav många kan vara svåra att tätta i efterhand. De flesta byggnaderna täthetsprovades med blower doors, som täckte större delen av byggnaden. Några provades med det egna ventilationssystemet.

Tabell 6: Uppmätt lufttätet och huvudsakliga läckagevägar.

Typ av byggnad	Byggår	Provningsmetod	Omslutande area, m ²	Täthetskrav, l/s·m ² @ 50 Pa	Uppmätt täthet, l/s·m ² @ 50 Pa	Huvudsakliga läckagevägar
Butik	2011	Blower doors, tre fläktar, hela byggnaden	18 721		0,18	Betongelementskarvar samt ytterdörrspartier och port
Idrottshall	2011	Blower doors, två fläktar, hela byggnaden	6 616	0,4	0,44	Ytterdörrspartier mm

Kontor	2008	Ventilations-system	2 580		0,34	Entréparti- ti- er/fönsterparti er/ytterdörrar
Kontor	2010	Ventilations-system		0,4	0,27	Ej läckagesök- ning
Kontor	2010	Blower doors, en fläkt, hela byggnaden	4 237	0,5	0,43	Golvvinklar
Kontor	2010	Blower doors, tre plan, ett åt- gången	14 610	0,6	0,55	
Kontor	2007	Ventilationssy- stem/blower- doors, två fläk- tar		0,8	0,7	Anslutning mellan fasad- element av olika typ, samt fasad- och ta- kelement
Kontor/industri- lokal	2009	Ventilations- system	4 560	0,25	0,26	Takvinkel - Verkstads- del/ytterdörrar
Lager/verkstad/- kontor	2011	Blower doors, två fläktar, hela byggnaden	10 034	0,3	0,29	Ytterdörrar och portar
Livsmedelsbutik	2011	Blower doors, två fläktar, hela byggnaden	3 995	0,8	0,62	TRP/lättklink- er, FP, Entré- partier
Undervisnings- lokal	2009	Ventilations- systemet, hela byggnaden exkl. källare	4 912	0,5	0,36	
Undervisnings- lokal	2011	Blower doors, en fläkt, hela byggnaden	2 607	0,2	0,13	
Undervisnings- lokal	2008	Blower doors, en fläkt, hela byggnaden	3 335	0,45	0,41	
Undervisnings- lokal	2008	Blower doors, en fläkt, hela byggnaden	5 180	0,4	0,21	Ej läckagesök- ning
Undervisnings- lokal	2009	Blower doors, en fläkt, hela byggnaden	2 832	0,6	0,27	Ytterdörrspar- tier
Undervisnings- lokal	2008	Blower doors, en fläkt, hela byggnaden	2 414	0,3	0,26	
Undervisnings- lokal	2010	Blower doors, en fläkt, hela byggnaden	2 460	0,6	0,23	Ytterdörrar och fönster

Undervisningslokal	2010	Blower doors, en fläkt, hela byggnaden	2 460	0,6	0,19	Ytterdörrar och fönster
Undervisningslokal	2010	Blower doors, en fläkt, hela byggnaden	2 182	0,6	0,57	Ej läckagesökning
Undervisningslokal	2010	Blower doors, en fläkt, hela byggnaden	2 054	0,5	0,38	Ytterdörrspartier mm
Undervisningslokal	2010	Blower doors, en fläkt, hela byggnaden (nybyggd del)	5 513	0,2	0,09	(fanns inte några nämnvärda läckage)
Undervisningslokal	2011	Blower doors, en fläkt, hela byggnaden	2 520	0,40	0,28	Ytterdörrspartier
Undervisningslokal	2011	Blower doors, en fläkt, hela byggnaden	4 973	0,25	0,17	Ytterdörrspartier
Undervisningslokal	2007	Blower doors, en fläkt, hela byggnaden	3 941	0,4	0,45	Ytterdörrspartier mm
Undervisningslokal: förskola (Nybyggnad)	2011	Blower doors, en fläkt, hela byggnaden	2 261	0,6	0,48	Tak, ej kontrollerbart, i övrigt mycket kring fönsterpartier och dörrar
Undervisningslokal: skola	2010	Blower door, en fläkt	2 295	0,3	0,4	Vägg-/takvinkel, ytterdörr
Undervisningslokal: skola	2011	Blower doors, en fläkt, hela byggnaden	4 822	0,2	0,16	Ej läckagesökning
Undervisningslokal: skola (om-/tillbyggnad)	2010	Blower doors, tre fläktar, hela byggnaden	5 641	0,8	0,88	Ej läckagesökning
Äldreboende	2012	Blower doors, en fläkt, hela byggnaden	4 081	0,3	0,20	Ytterdörrar
Äldreboende	2011	Blower doors, x fläktar, hela byggnaden	3 900	0,2	0,14	Ej läckagesökning
Medelvärde				0,44	0,34	

Ett försök att kategorisera byggnader efter klimatskärmens byggnadsteknik gav inga stora skillnader (Tabell 7). Byggnaderna med prefabricerade fasader jämfört med regelstomme visade samma nivå på täthetskrav och uppmätt täthet. Båda byggnadstyperna har som huvudsakliga läckagevägar ytterdörrspartier. Byggnaderna med prefabricerade

rade fasader har dessutom som läckagevägar elementskarvar. De tätaste byggnaderna är de med utfackningsvägar, vilket kan vara något förvånande, men i denna studie var det den grupp som hade de hårdaste täthetskraven. En slutsats är uppenbarligen att alla i den studie ingående byggnadsteknikerna för klimatskärmen kan resultera i en byggnad som uppfyller täthetskravet enligt de svenska kriterierna för passivhus (Nollhus 2012).

Tabell 7: Uppmätt lufttäthet och huvudsakliga läckagevägar som funktion av byggnadsteknik hos klimatskärmen.

Antal byggnader	Täthetskrav, $l/s \cdot m^2$ @ 50 Pa	Uppmätt täthet, $l/s \cdot m^2$ @ 50 Pa	Byggnadsteknik, klimatskärm	Huvudsakliga läckagevägar
7	0,43	0,34	Prefabricerad fasad (betong eller glas för en byggnad), många med plåttak	Elementskarvar, ytterdörrspartier
14	0,46	0,33	Regelstomme, många med plåttak	Ytterdörrs- och fönsterpartier
3	0,23	0,21	Utfackningsvägg, betongtak	Otillräcklig information

Att alternativt sätt att kategorisera byggnaderna är efter typ av byggnad (Tabell 8). Det går inte att dra slutsatsen att det skulle vara någon större skillnad mellan kontors- och skolbyggnader, när det gäller att åstadkomma god lufttäthet. Det finns inte heller någon anledning att förmoda detta.

Tabell 8: Uppmätt lufttäthet som funktion av byggnadstyp.

Byggnadstyp	Antal byggnader	Täthetskrav, $l/s \cdot m^2$ @ 50 Pa	Uppmätt täthet, $l/s \cdot m^2$ @ 50 Pa
Kontor (några med annan verksamhet också)	7	0,48	0,41
Skolor	18	0,44	0,33

Lufttäthet i Europeiska byggnader

Också de täthetsprovade Europeiska byggnaderna är mycket lufttäta (se

Tabell 9) och uppfyller med marginal det tyska täthetskravet för passivhus.

Tabell 9: Uppmätt lufttätet.

Typ av byggnad	Byggår	Provningsmetod	Täthetskrav, oms/h @ 50 Pa	Uppmätt täthet, oms/h @ 50 Pa
Passivhus idrotts- och multi-hall (Kah 2009), Unterschleissheim, Tyskland	2003		0,6	0,2
Idrottshall (Kah 2009), Heidelberg	2004		0,6	0,3
Idrottshall med skola (Kah 2009), Aufkirchen	2004		0,6	0,1
Trefältsidrotts-hall (Kah 2009), Laatzen	2006		0,6	0,3
Trefältsidrotts-hall (Kah 2009), Wängi, Schweiz	2004		0,6	0,1
Skola (Simons 2011), Tyskland		Blower doors, 9 st fläktar, hela byggnaden		0,3
Passivhus, renoverat flerbo-stadshus (Simons 2011), Tyskland		Blower doors, 2 st fläktar, hela byggnaden		0,2
Medelvärde				0,2

Lufttätet i sex utvalda byggnader

De nyligen täthetsprovade sex byggnaderna är ganska lufttäta, men inte lika lufttäta som de tidigare provade byggnaderna (se

Tabell 10). En bidragande faktor kan vara att endast för två hade täthetskrav specificerats och täthetskraven för dessa två var högre än de svenska kriterierna för passivhus (Nollhus 2012).

Tabell 10: Uppmätt lufttäthet och huvudsakliga läckagevägar.

Typ av byggnad	Byggår	Provningsmetod	Omslutande area, m ²	Täthetskrav, l/s·m ² @ 50 Pa	Uppmätt täthet, l/s·m ² @ 50 Pa	Huvudsakliga läckagevägar
Kontor 1/utställningshall	2011	Ventilationssystemet, hela byggnaden	40 400	0,4	0,39	Anslutning mellan fasad-element av betong och betongpelare, mellan fasad-element av betong och TRP-plåt i tak, ytterdörrspartier, portar i hallen
Kontor 2	2009	Ventilationssystemet plan 3, mottryck plan 2, 4, atrium och trapphus	5 600		0,85	Anslutning mellan utfackningsvägg och stålpelare, vid väggvinklar, fönsterpartier
Kontor 3	2009	Blower doors, två fläktar, 9 kontorsplan, ej butiksplan och garage	5 333	0,8	0,68	Anslutning mellan fasad-element av olika typ, samt fasad- och takelement
Skola 1	2007	Blower Door	3 923	Inget krav	0,87	Genomföringar, fönster
Skola 2	2011	Blower Door	2 775	Inget krav	0,45	Dörrar, fönster
Skola 3	2009	Blower Door	4 307	Inget krav	0,62	Genomföringar, fönster, dörrar

0,64

Skola 1

Täthetsprovningen av Skola 1 gjordes enligt EN-13829 (Burke 2012a). En översiktlig termografering utfördes enligt SS-EN 13187. Ventilationssystemet tätades genom att frisklufts- och avluftskanal sattes igen med plastfolie och tejp. Ytterdörrar och fönster stängdes igen utan extra tätning. Frånluftsfläkten till serverrummet tätades utvändigt med tejp.

Tabell 11: Ytor för olika byggnadsdelar i Skola 1.

Byggnadsdel	Area (m ²)
Klimatskiljande ytterväggar + fönster + dörrar	1 375
Klimatskiljande yttertak	1 280
Golv mot mark	1 267

Tätetsprovningen av skolan visade på ett luftläckage motsvarande 0,87 l/s·m² omslutande area. Resultatet visar på en mindre god lufttätet hos byggnadens klimatskal, dock avsevärt bättre än kravet på 1,6 l/s·m² enligt byggnormen före 2007.

Tabell 12: Resultat av lufttätetprov i Skola 1.

	Undertryck	Övertryck	Medeltryck
q50 [l/s·m ² omslutande arean]	0,83	0,92	0,87
n50 [oms/timme]	1,36	1,52	1,44

Resultatet av termografering visar på ett antal större luftläckage genom fönsterpartierna. Ett flertal mindre luftläckage noterades genom dörrar, fönsterkarmar och vid golvvinkeln. De största luftläckagen noterades vid fönsterpartierna i trapphusen. Bild 6 visar hur luften kommer in mellan fönsterpartiet och väggen.

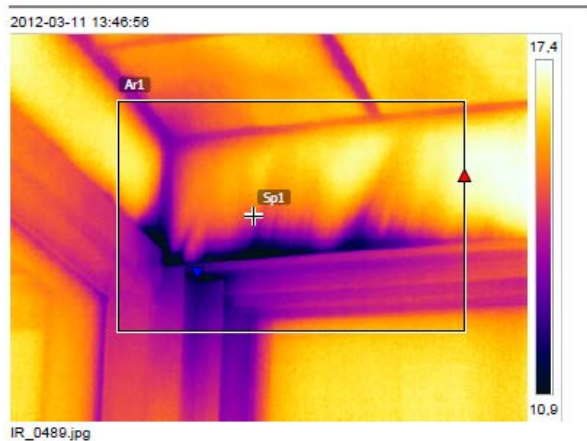


Bild 6: IR och digital bild av läckage mellan fönster partiet är väggen.

Bild 7 visar på bristande lufttätet kring en ytterdörr. Dagsljus syntes genom tätning mellan dörrblad och dörrkarm.



Bild 7: Glapp mellan gummi i en ytterdörr.

Skola 2

Tätetsprovningen av Skola 2 gjordes enligt EN-13829 (Burke 2012b). En översiktlig termografering utfördes enligt SS-EN 13187. Ventilationssystemet tätades genom att frisklufts- och avluftskanal sattes igen med plastfolie och tejp. Ytterdörrar och fönster stängdes igen utan extra tätning. Frånluftsfläkten till köket tätades med plast och tejp.

Tabell 13: Ytor i olika byggnadsdelar i Skola 2.

Byggnadsdel	Area (m ²)
Klimatskiljande ytterväggar + fönster + dörrar	715
Klimatskiljande yttertak	1 030
Golv mot mark	1 030

Tätetsprovningen av Skola 2 visade på ett luftläckage motsvarande 0,45 l/sm² omslutande area. Resultatet visar på en god lufttätethet hos byggnadens klimatskal.

Tabell 14: Resultatet av lufttätetsprov av Skola 2.

	Undertryck	Övertryck	Medeltryck
q50 [l/s·m ² omslutande area]	0,41	0,49	0,45
n50 [oms/timme]	1,39	1,63	1,51

Resultatet av termografering visar inte på några större luftläckage i klimatskalet. Ett flertal mindre luftläckage noterades genom dörrar, fönsterkarmar och vid golvvinklen. Mindre luftläckage noterades via el- och vattenrör. Till exempel, i Bild 8 syns hur kall luft läcker ut genom elrören som sitter i väggen. Detta indikerar att rören inte är tätade mot elcentralen. Bild 9 visar hur kallare luft läcker via vattenrörskopplingen. Det kan även vara så att vattenrör är draget i ett annat rör (ett s.k. rör i rör system) för att minska risken för dolda vattenskador i väggarna.

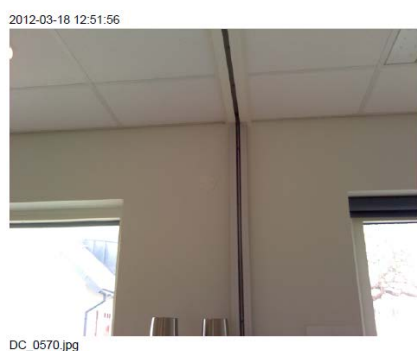


Bild 8: IR och digital bild av luftläckage genom elkabel från elcentralen i Skola 2.

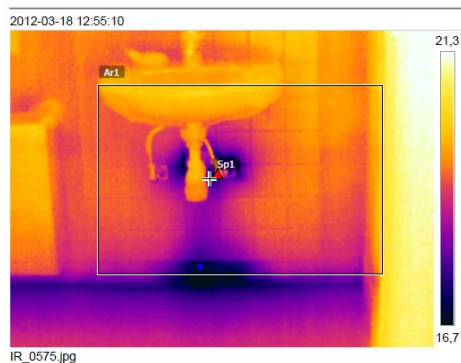


Bild 9: IR och digital bild av luftläckage genom vatten rör i rör system.

Skola 3

Tätetsprovningen av Skolan 3 gjordes enligt EN-13829 (Burke 2012c). En översiktlig termografering gjordes enligt SS-EN 13187. Ventilationssystemet tätades genom att tejpa plast i från- och tilluftskanalerna, ventilationsaggregatet samt i frånluftsläktar. Övriga dörrar och fönster var ej tejpade vid mätning.

Areorna för byggnadens klimatskiljande ytor har beräknats från A och K-ritningar daterad 2009-06-29 och fördelas enligt Tabell 15.

Tabell 15: Ytor för olika byggnadsdelar i Skola 3.

Byggnadsdel	Area (m ²)
Klimatskiljande ytterväggar + fönster + dörrar	990
Klimatskiljande yttertak	1 900
Golv mot mark	1 415

Tätetsprovningen av skolan visade på ett luftläckage motsvarande 0,62 l/sm² extern area. Resultatet visar på en god lufttätethos hos byggnadens klimatskal.

Tabell 16: Resultat av lufttätetsprov av Skola 3.

	Undertryck	Övertryck	Medeltryck
q50 [l/s·m ² omslutande area]	0,58	0,66	0,62
n50 [oms/timme]	1,25	1,43	1,34

Resultatet av termograferingen visar på ett antal större luftläckage vid genomföringar och luckor mot kallvindar (till exempel av- och friskluftkanaler till värmepumpen, ventilationskanaler och vindsluckor), se Bild 10 och Bild 11. Genomföringar kring av- och friskluftkanalerna till värmepumpen var inte alls täta och det gick att se rakt ut. Vindsbjälklaget var inte tätt mot skolans insida där det fanns många genomföringar genom golvet som bara var fyllda med mineralull. Detta gjorde att luften lättare kunde komma in och ut genom vinden. Trots de större luftläckagen i vinden hade skolan en normal lufttätethos.



Bild 10: IR och digital bild av luftläckage vid en otät genomföring genom taket.

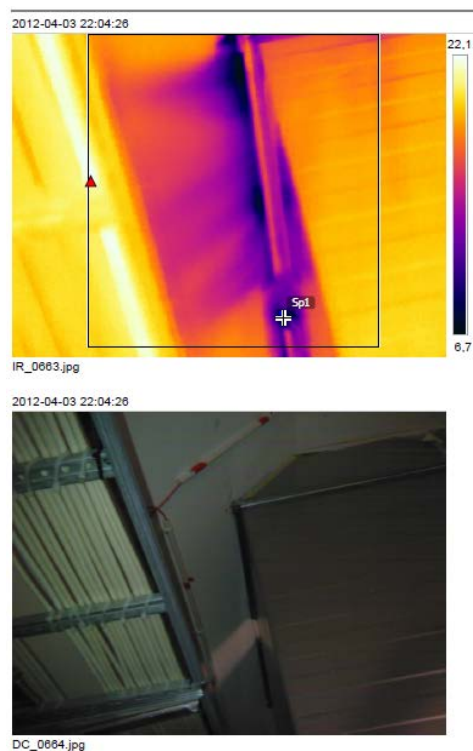


Bild 11: IR och digital bild av luftläckage vid en otät genomföring genom taket.

Mindre luftläckage noterades vid fönsterpartier och dörrar samt kring vattenrör. Det är sannolikt att alla vattenrör sitter i ett annat rör som är inte tätt mot elcentralen.

Kontor 1

Byggnaden täthetsprovades med hjälp av ventilationssystemet (Andersson 2012a). Mätningen utfördes enligt den Kanadensiska standarden för täthetsprovning med ventilationssystemet, CGSB 1996. En översiktlig termografering gjordes enligt SS-EN 13187. Ventilationssystemen tätades genom att tejpa plast i från- och tilluftskanalerna i ventilationsaggregaten samt i frånluftsfläkten i miljörum. Övriga dörrar och fönster var ej tejpad vid mätning.

Areorna för byggnadens klimatskiljande ytor har beräknats från A ritningar och fördelas enligt Tabell 17.

Tabell 17: Ytor för olika byggnadsdelar i Skola 3.

Byggnadsdel	Area (m ²)
Klimatskiljande area	40 390

Täthetsprovningen av Kontor 1 visade på ett luftläckage motsvarande 0,39 l/s·m² extern area. Resultatet visar på en god lufttätet hos byggnadens klimatskal.

Tabell 18: Resultat av lufttäthetsprov av Skola 3.

	Undertryck	Övertryck	Medeltryck
q50 [l/s·m ² omslutande area]	0,36	0,42	0,39
n50 [oms/timme]	1,25	1,43	1,34

Nedan listas detekterade brister med avseende på luftläckage som upptäcktes vid termografering.

Anslutning mellan fasadelement av betong och betongpelare

Stort luftläckage vid anslutning av väggelement och pelare, se. Bild 12. Läckagen noterades främst vid elementskarvar. Huruvida elementen är fogade bakom pelare kunde ej noteras. Läckagets storlek varierar men är generellt vid samtliga elementskarvar bakom betongpelare.

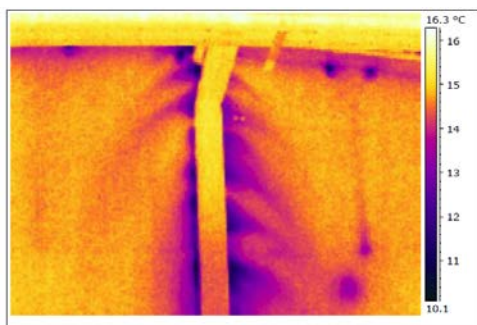


Bild 12: Luftläckage vid pelare.

Anslutning mellan fasadelement av betong och TRP-plåt i tak

Luftläckage noterades vid anslutning TRP-plåt och yttervägg via rillorna, se Bild 13. Läckaget är generellt vid takanslutning med rillor.

Läckage noterades även vid infästning av stålbalk i fasadelement av betong (mörkare punkter i underkant stålbalk).

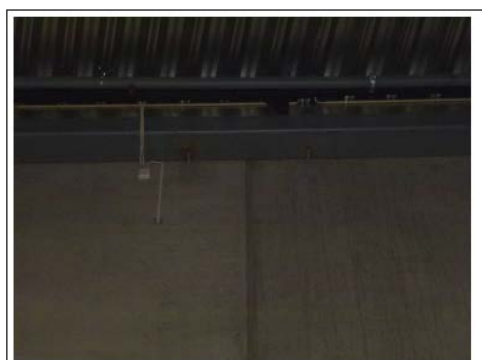
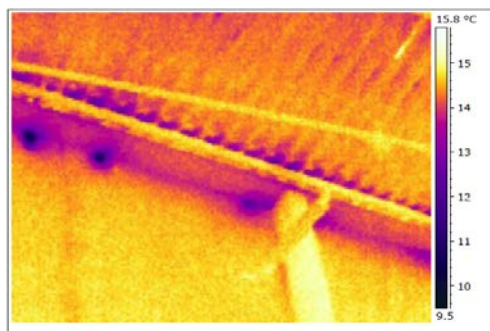


Bild 13: Luftläckage vid vägg-tak anslutning.

Ytterdörrspartier (metall- och glaspartier)

Ett stort och generellt luftläckage noterades runt ytterdörrspartierna, se Bild 214. Läckaget noterades främst via tätninglist mellan dörrblad och karm. I två av partierna syntes dagsljus mellan dörrblad och tröskel. I vissa ställe, syntes dagsljus mellan dörrkarm och fasadelement där tätning saknas.

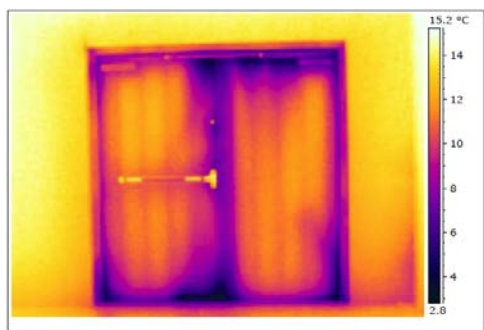


Bild 24: Luftläckage runt dörrar.

Portar i hallen

Mycket stora luftläckage noterades vid portarna, se Bild 35. Läckagen är främst i konstruktionen. Stora otätheter mellan port och skena, porten ligger inte an skenan. Dagsljus syntes lokalt vid underkant port.

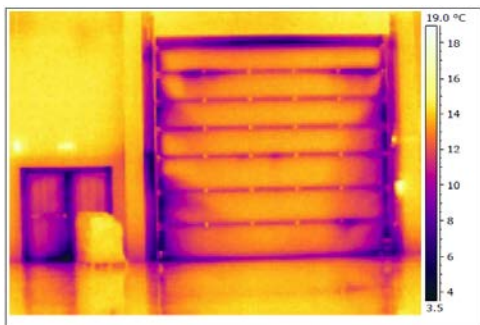


Bild 35: Portar i hallen.

Entrékarusell

Stora luftläckage noterades vid entrékarusell, se Bild 46. Vid ovankant parti saknades tätning.

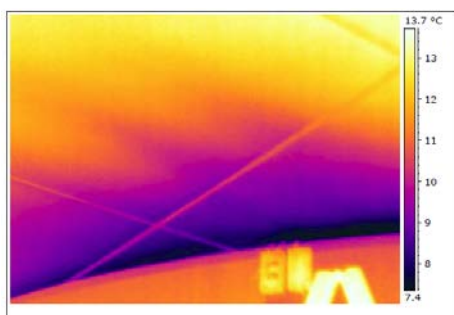


Bild 46: Luftläckage vid entrékarusell.

Takvinkel i kontorsdel

Områdesvis noterades ett luftläckage vid anslutning mellan undertak och fasadelement. Orsaken till läckaget kunde inte vid undersökningstillfället fastställas. Troligen beror orsaken på bristande lufttätethet i anslutningen mellan TRP-plåt i tak och fasadelement. Denna anslutning har noterats bristande där anslutningen varit besiktningsbar.

Fönsterpartier

Generellt luftläckage noterades i fönsterpartierna.

Läckage noterades vid hörn mellan karmstycken., se Bild 57.

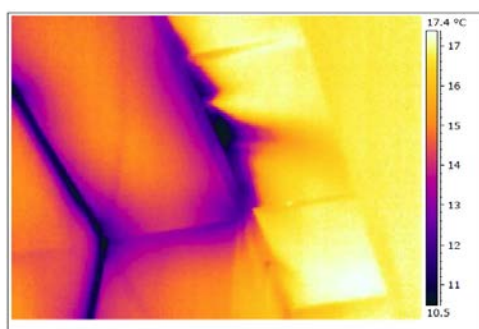


Bild 57: Luftläckage vid fönsterpartiet.

Kontor 2

Hela plan 3 täthetsprovades (Andersson 2012b). Dörrpartier mot atrium tätades med tejp. Samtliga vattenlås fylldes. Tätningarna kontrollerades därefter med indikeringsrök då byggnaden försatts i undertryck.

Byggnaden täthetsprovades med hjälp av ventilationssystemet, tre aggregat användes. Mätningen utfördes enligt den Kanadensiska standarden för täthetsprovning med ventilationssystemet, CGSB 1996.

Med ventilationssystemet skapades mottryck i angränsande lokaler såsom plan 2 och fyra samt i atrium. Med ett mottryck förhindrades internt luftläckage. Tryckskillnaden mellan plan 3 och atriumgården mättes kontinuerligt för att säkerställa att mottrycket var tillräckligt. Tryckskillnad mellan utomhus och plan 3 samt mellan utomhus och atriumgård mättes även kontinuerligt för att säkerställa rätt förhållanden.

Genom flödesjustering av ventilationssystemet skapades undertryck i byggnaden i förhållande till tryckförhållandet utanför klimatskalet.

Areorna för byggnadens klimatskiljande ytor har beräknats från A ritningar och fördelas enligt Tabell 19.

Tabell 19: Ytor för olika byggnadsdelar i Kontor 2.

Byggnadsdel	Area (m ²)
Total ytterväggsarea	685

Täthetsprovningen av kontor 2 visade på ett luftläckage motsvarande 0,85 l/s·m² yttervägg area.

Tabell 20: Resultat av lufttäthetsprov av Kontor 2.

	Undertryck	Övertryck	Medeltryck
q50 [l/s·m ² omslutande area]	0,85	-	0,85

Nedan listas detekterade brister med avseende på luftläckage som upptäcktes vid termografering.

Anslutning mellan utfackningsvägg och stålpelare

Ett generellt och stort luftläckage noterades vid anslutning mellan utfackningsvägg och stålpelare både vid tak- och golvvinkel. Orsaken till läckage kunde ej undersökas men beror bedömningsvis på en bristande anslutning mellan utfackningsväggarna och stålkonstruktionen. Se Bild18.

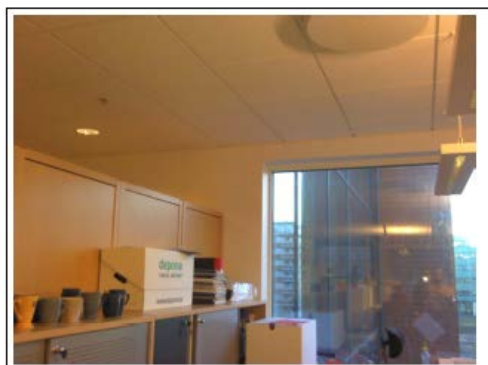
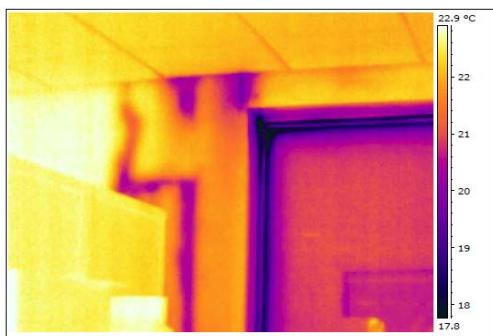


Bild 18: Luftläckage vid stålpelare.

Vid väggvinklar

Ett generellt luftläckage noterades vid väggvinklar via spricka. Orsaken till läckage kunde ej undersökas men beror bedömningsvis på en bristande anslutning mellan utfackningsväggarna vid vägghörnen, se Bild19.

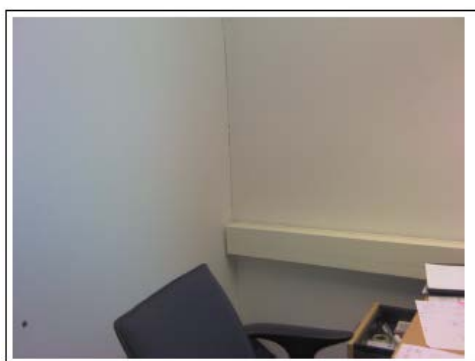
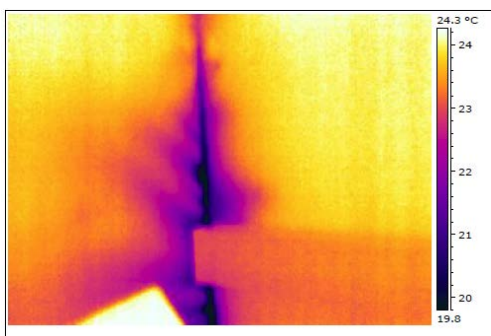


Bild 19: Sprickor i hornet som läcker luft.

Fönsterpartier

Luftläckage noterades via fönsterpartierna, se Bild20.

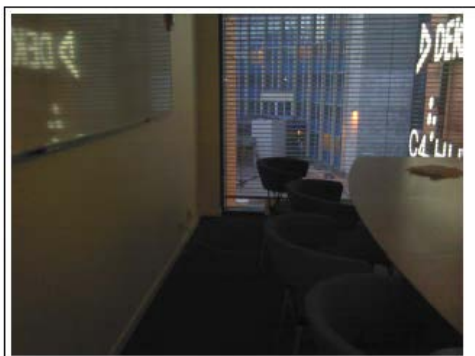
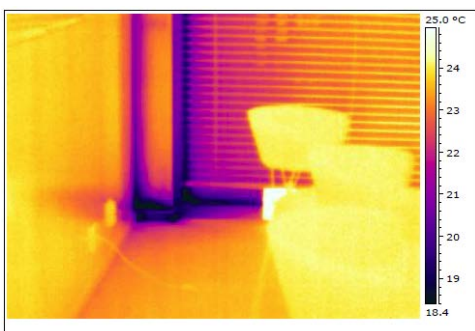


Bild 20: Luftläckage i golvvinkel och väggvinkel vid fönsterparti.

Kontor 3

Täthetsprovningen av kontor 3 gjordes av plan 2-11 enligt EN-13829 (Persson 2012). En översiktlig termografering gjordes enligt SS-EN 13187. Ventilationen stängdes av och spjäll på av- och uteluftskanalerna stängdes. Utöver detta tätades ventilationen genom att plastfolie tejpades över av- och utelufts gallerna på taket (se bild 21). I källaren tätades avluftskanalen vid utblåsningsgaller, uteluftsintaget tätades i ventilationsaggregatet (se bild 22). Ballonger blåstes upp i avloppens luftningskanalerna på taket och huvarna för luftning av hisschackten tätades med plastfolie. Samtliga dörrar mot trapphus på plan 2-11 ställdes upp.



Bild 21: Kontor 3 – tätning av aggregat på taket inför täthetsprovningen.



Bild 22: Kontor 3 – tätning av aggregat i källaren inför täthetsprovningen.

I golvnivå på plan sex placerades tryckgivare över fasader mot väst, söder samt mot öst. Utrymmet mellan karm och blad på dörrar där slangar för mätning stacks ut tätades med tejp. Tryckskillnad över klimatskärmen mättes även vid golvnivå på plan elva samt vid täthetsprovningstrustningen på markplan. Båda mot norr.

Areorna för byggnadens klimatskiljande ytor har beräknats från A och K-ritningar daterad 2009-06-29 och fördelas enligt Tabell 21.

Tabell 21: Ytor för olika byggnadsdelar i Kontor 3.

Byggnadsdel	Area (m ²)
Omslutande area	5 333

Tätetsprovningen av kontoret visade på ett luftläckage motsvarande 0,69 l/sm² omslutande area. Resultatet visar ett högre luftläckage än beställarens krav.

Tabell 22: Resultat av lufttäthetsprovning av Kontor 3.

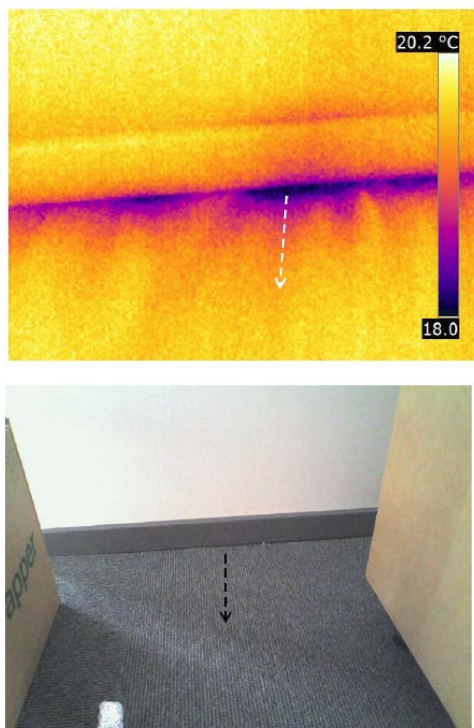
	Undertryck	Övertryck	Medeltryck
q50 [l/s·m ² omslutande area]	0,76	0,62	0,69

Observera att det är svårt att bedöma lufttätheten hos klimatskärmen i denna byggnad för att det misstänks att branddörren var felaktigt installerad, se Dörr för mer information.

Nedan listas detekterade brister med avseende på luftläckage.

Hörn

Mindre luftläckage noterades i byggnadens hörn vid golvvinkel mellan bjälklag och utfackningsvägg. Luftläckaget är generellt, se Bild 23.

**Bild 23: Luftläckage mellan utfackningsvägg och bjälklag.**

Dörr

Mellan dörrblad och dörrkarm på plan 11 noterades luftläckage.

Vid dörrparti på plan två mellan korridor som sammanbinder den höga och lågadelen av byggnaden noterades större läckage mellan både karm och vägg samt mellan karm och dörrblad i en brandvägg, se Bild24. Detta var ett signifikant luftläckage och tyder på att branddörren inte är byggd som den ska enligt kravet för brandsäkerhet, dvs. väldigt lufttätt. Pga. detta interna läckage, är det svårt att bedöma klimatskärmens lufttätthet i detta fall.

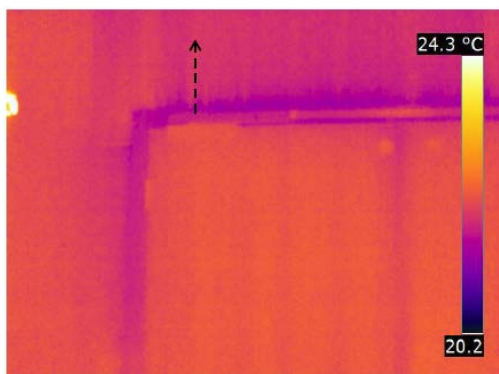


Bild 24: Luftläckage vid branddörr.

Fönster

Vid öppningsbart fönster på plan åtta noterades mindre läckage mellan karm och båge.

Energianvändning – lufttätthet i tolv av trettioen byggnader

För tolv av de trettioen byggnaderna var information om byggnadsvolymen tillgänglig och uppmätt lufttätthet kunde räknas om till luftomsättning vid 50 Pa (se Tabell 23). En jämförelse av byggnader ger nu ett annat resultat beroende på olika förhållande mellan volym och omslutningsyta. Med tidigare nämnda förenklade metod för beräkning av genomsnittlig oavsiktlig ventilation (infiltration) uppskattades denna (antal luftomsättningar vid 50 Pa/20). Resultatet är en genomsnittlig infiltration under uppvärmningssäsongen på 0,03 oms./h, med en variation från byggnad till byggnad på 0,01 till 0,06 oms./h. Detta motsvarar en energianvändning för uppvärmning av storleksordningen 4

kWh/m²år. Om byggnaderna hade uppfyllt endast tidigare byggnormskrav på lufttätethet så hade förmodligen energianvändningen varit 5 gånger högre dvs. ca 20 kWh/m²år.

Tabell 23: Uppmätt lufttätethet och beräknad energianvändning för att värma luft som läcker in genom klimatskärmen. Infiltrationen beräknad som antal luftomsättningar vid 50 Pa/20.

Typ av byggnad	Byggår	Uppmätt täthet, l/sm ² @ 50 Pa	Uppmätt täthet, oms/h @ 50 Pa	Oavsiktlig ventilation (/20), oms/h	Energianvändning pga. oavsiktlig ventilation, kWh/m ² år
Butik	2011	0,18	0,20	0,01	2
Kontor	2008	0,34	0,60	0,03	3
Kontor	2010	0,43	0,43	0,02	3
Livsmedelsbutik	2011	0,62	1,11	0,06	10
Undervisningslokal	2010	0,09	0,13	0,01	1
Undervisningslokal	2011	0,17	0,34	0,02	2
Undervisningslokal: förskola (Nybyggnad)	2011	0,48	1,18	0,06	7
Undervisningslokal: skola	2010	0,4	1,04	0,05	7
Undervisningslokal: skola	2011	0,16	0,24	0,01	2
Undervisningslokal: skola (om-/tillbyggnad)	2010	0,88	1,28	0,06	9
Äldreboende	2012	0,20	0,20	0,01	1
Äldreboende	2011	0,14	0,18	0,01	1
Medelvärde		0,34	0,58	0,03	4

Om den alternativa schablonmetoden, luftläcket genom omslutande yta/20, används blir den genomsnittliga infiltrationen lägre, 0,01 oms/h instället för 0,03 oms/h (se tabell 18). Detta reducerar energianvändningen för uppvärmning av inläckande luft från 4 till 1 kWh/m²år.

Tabell 24: Uppmätt lufttäthet och beräknad energianvändning för att värma luft som läcker in genom klimatskärmen. Infiltrationen beräknad som luftläckaget genom omslutande yta vid 50 Pa/20.

Typ av byggnad	Byggår	Uppmätt täthet, l/s·m ² @ 50 Pa	Oavsiktlig ventilation (/20), l/s·m ²	Oavsiktlig ventilation, oms/h	Energianvändning pga. oavsiktlig ventilation, kWh/m ² ·år
Butik	2011	0,18	0,009	0,003	1
Kontor	2008	0,34	0,017	0,008	1
Kontor	2010	0,43	0,0215	0,006	1
Livsmedelsbutik	2011	0,62	0,031	0,015	3
Undervisningslokal	2010	0,09	0,0045	0,002	0
Undervisningslokal	2011	0,17	0,0085	0,005	1
Undervisningslokal: förskola (Nybyggnad)	2011	0,48	0,024	0,016	2
Undervisningslokal: skola	2010	0,4	0,02	0,014	2
Undervisningslokal: skola	2011	0,16	0,008	0,003	0
Undervisningslokal: skola (om-/tillbyggnad)	2010	0,88	0,044	0,018	2
Äldreboende	2012	0,20	0,01	0,003	0
Äldreboende	2011	0,14	0,007	0,002	0
Medelvärde		0,35		0,01	1

Energianvändning – lufttäthet i sex nyligen provade byggnader

För de nyligen täthetsprovade byggnaderna var information om volym tillgänglig och lufttätheten kunde omräknas till luftomsättningar vid 50 Pa (se Tabell 25). En jämförelse av byggnaderna ger nu ett annat resultat beroende på olika förhållande mellan volym och omslutningsyta. Med tidigare nämnda förenklade metod för beräkning av genomsnittlig ventilation uppskattades denna. Resultatet är en genomsnittlig infiltration under uppvärmningssäsongen på 0,05 oms./h, med en variation från byggnad till byggnad på 0,01 till 0,08 oms./h. Detta motsvarar en energianvändning för uppvärmning av storleksordningen 6 kWh/m²·år. Om byggnaderna hade uppfyllt endast tidigare byggnormskrav på lufttäthet så hade förmodligen energianvändningen varit tre gånger högre dvs. ca 20 kWh/m²·år.

Tabell 25: Uppmätt lufttäthet och beräknad energianvändning för att värma luft som läcker in genom klimatskärmen. Infiltrationen beräknad som antal luftomsättningar vid 50 Pa/20.

Typ av byggnad	Byggår	Uppmätt täthet, l/s·m ² @ 50 Pa	Uppmätt täthet, oms/h @ 50 Pa	Oavsiktlig ventilation (/20), oms/h	Energianvändning pga. oavsiktlig ventilation, kWh/m ² ·år
Utställning/kontor	2011	0,39	0,28	0,01	5
Kontor	2009	0,85	0,36	0,02	2
Kontor	2009	0,68	2,77	0,14	4
Skola	2007	0,87	1,44	0,07	8
Skola	2011	0,45	1,51	0,08	7
Skola	2009	0,62	1,34	0,07	8
Medelvärde		0,64	1,28	0,06	6

Om den alternativa schablonmetoden, luftläckaget genom omslutande yta/20, används blir den genomsnittliga infiltrationen lägre, 0,03 oms/h istället för 0,06 oms/h (se Tabell 26). Detta reducerar energianvändningen för uppvärmning av inläckande luft från 6 till 2 kWh/m²·år.

Tabell 26: Uppmätt lufttäthet och beräknad energianvändning för att värma luft som läcker in genom klimatskärmen. Infiltrationen beräknad som luftläckaget genom omslutande yta vid 50 Pa/20.

Typ av byggnad	Byggår	Uppmätt täthet, l/s·m ² @ 50 Pa	Oavsiktlig ventilation (/20), l/s·m ²	Energianvändning pga. oavsiktlig ventilation, kWh/m ² ·år
Utställning/kontor	2011	0,39	0,02	1
Kontor	2009	0,85	0,04	1
Kontor	2009	0,68	0,03	1
Skola	2 007	0,87	0,04	2
Skola	2 011	0,45	0,02	2
Skola	2 009	0,62	0,03	2
Medelvärde		0,64	0,03	2

Slutsatser

Två olika metoder för att täthetsprova hela eller en stor del av en skol- eller kontorsbyggnad har använts, antingen med byggnadens egna ventilationssystem eller med ett antal blower doors. Båda metoderna fungerar väl var för sig eller i kombination. Valet av metod beror på förutsättningarna i provobjektet. För stora byggnader kan metoden med byggnadens egna ventilationssystem vara att föredra. Detta förutsätter dock att luftflödena i ventilationssystemet någorlunda enkelt kan regleras och mätas. Luftflödesmätningen måste också gå att göra med tillräcklig noggrannhet. Täthetsprovning med byggnadens egna ventilationssystem torde endast vara genomförbar i en färdig byggnad. En lämplig förutsättning kan också vara att ventilationssystemet är behovs-

sturt, vilket medger att luftflödet kan varieras inom ett stort område. Täthetsprovning under byggnation, vilket rekommenderas för att säkerställa den slutliga tätheten, genomförs vanligen bäst med blower doors. De två metoderna kan tillämpas på kontorsbyggnader, skolbyggnader, flerbostadshus, mindre industribyggnader och andra lokaler. För flerbostadshus är ofta användning av blower doors den enda metoden eftersom ventilationssystemet ofta har otillräcklig kapacitet, såtillvida inte byggnaden har mycket god lufttäthet.

Täthetsprovning av stora byggnader med komplicerade ventilationssystem kräver bra samarbete mellan personer med god kunskap om installationerna i provobjektet och den som utför lufttäthetsprovningen. Det finns en stor potential att bygga och programmera ett ventilationssystem så att det kan användas för att mäta en byggnads lufttäthet med hjälp av trådlösa tryckgivare. Detta innebär bl.a. att byggnadens egna ventilationssystem måste kunna tvångsstyras.

Denna studie visar tydligt att det är möjligt att bygga skol- och kontorsbyggnader med mycket god lufttäthet dvs. som uppfyller de svenska kriterierna för passivhus på 0,3 l/s·m² vid 50 Pa. Detta är möjligt med en klimatskärm som är prefabricerad eller regeltomme eller utfackningsvägg. Med stor sannolikhet är energianvändningen pga. luftläckage i dessa byggnader nästan försumbar dvs. av storleksordningen mindre än några kWh/m²·år. Detta kan jämföras med den totala energianvändningen för uppvärmning för ett typiskt svenskt kontor på 110 kWh/m²·år, där luftläckaget kan svara för 10-20 kWh/m²·år om endast kravet på lufttäthet för lokaler i byggnormen före 2006 uppfylls, 1,6 l/s·m² vid 50 Pa.

En viktig förutsättning för att uppnå en mycket god lufttäthet är att i ett tidigt skede ställa krav på lufttätheten. Detta krav måste specificeras som ett högsta tillåtna läckagevärde, som är anpassat till typ av byggnad och som följs upp under byggprocessen.

För att underlätta säkerställandet av god lufttäthet i byggnader såsom skolor och kontor behövs en handbok om hur man bygger dessa byggnader med god lufttäthet. Handboken bör beskriva tätningstekniker och kvalitetssäkring för denna typ av byggnader. Målgruppen är arkitekter, projektörer och entreprenörer.

Referenser

Andersson, D., 2012a. Mässhallen, Malmö - Täthetsprovning och termografering. Provningsrapport WSP.

Andersson, D., 2012b, Provningsrapport WSP, konfidentiell.

ASHRAE, 2009. 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.

Blomsterberg, Å., 2009, Lufttäthet i kontorsbyggnader - Mätningar och beräkningar. SBUF-rapport.

Boverket, 2011, Regelsamling för byggande 2012.

Burke, S., 2012a, Provningsrapport NCC, konfidentiell.

Burke, S., 2012b, Provningsrapport NCC, konfidentiell.

Burke, S., 2012c, Provningsrapport NCC, konfidentiell.

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.

Equa, 2004, ENORM 2004 – manual. Equa simulation AB.

Kah, O., Schneiders, J., 2009. Lüftung, Heizung und Luftdichtheit bei Passivhaus – Sporthallen. 4th international symposium on building and ductwork airtightness, 30th AIVC conference “Trends in High Performance Buildings ..”.

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

Nelson, G., 2012. Pressurization – wireless pressure transducers, e-mail.

Nollhus, 2012, Kriterier för passivhus m.m. (Criteria for passive houses etc.), www.nollhus.se.

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

Persson, J., 2012. Kv. Sjömannen 2, WTC högdel - Täthetsprovning och termografering. Provningsrapport WSP.

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

Simons, P., Rolfsmeier, S., 2010. Druckverteilung und Nachströmwege bei Blower Door Messungen. 5th international symposium on building and ductwork airtightness.

Simons, P., 2011. Bemessung zu fördernder Volumström bei grossen Gebäuden - Diskussion der Bezugsgrößen. 6th international BUILDAIR-symposium.

Walther, W., Rosenthal, B., 2009. Airtightness Testing of Large and Multi-family Buildings in an Energy Performance Regulation Context. ASIEPI, <http://www.asiepi.eu/>.