

LUFTTÄTHETENS FÖRÄNDRING I NYBYGGDA HUS

Orsaker och konsekvenser



Paula Wahlgren, Magnus Hansén, Fredrik Domhagen

2020-11-13

Förord

Projektet "Lufttäthetens förändring i nybyggda hus- orsaker och konsekvenser" startade hösten 2016 med medel från SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond) och med Rolf Jonsson, WästBygg AB som sökande. Projektet har dragit nytta av resultat producerade i Formas-projektet "Förbättring av inomhusmiljö i skolor", där luftrörelser och lufttäthet också är i fokus.

Arbetet har utförts inom ramen för Konvektionsgruppen, ett samarbete mellan , Innemiljö och byggnadsfysik, RISE Research Institutes of Sweden, och Byggnadsteknologi på Chalmers tekniska högskola med medverkan av FoU-väst. Konvektionsgruppen arbetar sedan över tjugo år med forskning kring luftrörelser och lufttäthet och med att öka förståelsen för hur man bygger lufttätt och lufttäthetens beständighet.

Projektet har varit organiserat enligt följande:

Projektsamordnare:	Pär Åhman, Byggföretagen
Projektledare/utredare:	Paula Wahlgren, Avd. för Byggnadsteknologi, Chalmers tekniska högskola
Utredare:	Magnus Hansén, Innemiljö och byggnadsfysik, RISE Fredrik Domhagen, Avd. för Byggnadsteknologi, Chalmers tekniska högskola
Styrgrupp:	Pär Åhman, Byggföretagen Rolf Jonsson, WästBygg Charlotte Svensson-Tengberg, Skanska Martin Jansson, NCC

Projektresultat har presenterats vid fem internationella konferenser; Nordic Symposium on Building Physics, NSB 2017 och NSB 2020, vid AIVC, Air Infiltration Ventilation Centre konferenser 2017 och 2019, samt vid Buildings XIV konferensen, 2019 i USA.

Stort tack till alla som har medverkat i projektet.

Göteborg, November 2020

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Introduktion	4
1.1. Tidigare studier på lufttäthetsvariation.....	5
1.2. Syfte.....	5
1.3. Metod.....	6
2. Teori för tryckskillnader och luftflöden.....	6
3. Fuktens påverkan på sprickbildning och luftläckage.....	8
4. Lufttäthetsvariationer och påverkan på värmväxlares verkningsgrad.....	17
5. Väggarnas lufttäthetsfördelning och påverkan på luftflöden	20
6. Föroreningstransport från kryppgrund och påverkan av lufttäthetsfördelning och klimat....	21
7. Mätningar på gäststuga i laborationshall.....	23
8. Fältmätningar	25
8.1 Objektsbeskrivning.....	25
8.1.1 Objekt 1, Skola	25
8.1.2 Objekt 2, Idrottshall.....	30
8.1.3 Objekt 3, Lägenhet	33
8.2 Lufttäthetsprovning och luftläckagesökning	36
8.2.1 Metodbeskrivning	36
8.2.2. Mätresultat.....	36
9. Analys och sammanfattning av mätningar	47
10. Slutsatser.....	48
11. Referenser	50
Bilagor.....	52

1. INTRODUKTION

Att lufttäteten hos en byggnad påverkar byggnadens energianvändning och fuktsäkerhet är fastlagt, men det finns stora skillnader i kunskap om detta i byggbranschen. Däremot är det inte klargjort hur luftläckagen bildas eller hur de ändras över tiden. Läckagen påverkas både av byggnadens fukttillstånd och av byggnadens tyngd. I Norge har det funnits flera rättsfall som haft grund i att man upptäckt att den faktiska (nuvarande) lufttäteten inte varit samma som den utlovade initiala lufttäteten. Där har byggaren påstått att lufttäteten varit godkänd vid färdigställande av byggnaden och att den därefter försämrats, bl.a. på grund av torkning av trä som skapat luftläckagevägar (Aurelien, 2016). Byggnadsfysiker har kallats för att vittna om hur lufttäteten kan försämrats och i samband med detta har resultat från SBUF-projektet "Lufttäthetsvariation över tiden" om årstidsvariationer använts (Wahlgren och Hansén, 2015).

I SBUF-projektet visades att lufttäteten i byggnader kan variera över året och 8-10 % skillnad i lufttäthet mättes mellan sommar och vinter. Det finns indikationer på att lufttäthetsvariation berodde på att trätt uppfuktats och torkats vid olika årstider, vilket resulterat i att trätt svällt och krympt (lufttätheten korrelerade mot inneluftens relativa fuktighet). När trätt torkar kan det bildas glipor vid anslutningar och det kan också uppkomma luftläckage där plastfolien skall vara klämd mellan trädetaljer.

I nya byggnader kan förändringen i fuktkvot hos trätt vara betydligt större än de variationer som kan orsakas av årstidsvariationer. Framför allt i fall där virket inte varit ordentligt väderskyddat under byggnation. Problemen med att fuktigt virke byggs in har studerats (Olsson, 2014) och det fuktiga virket har spårats både till levererade virkespaket (där virket inte torkats tillräckligt) till bristfällig lagring och till bristfälligt handhavande.

Förutom att det fuktiga virket torkar när det är inbyggt, och skapar glipor, finns problem med mögelpåväxt. Det verkar vara tillräckligt med exponering för vatten under endast några dagar för att mikrobiell påväxt skall starta (Olsson, 2014). När detta virke byggs in kan luftföroreningarna ta med sig mögel till inomhusmiljön, ifall det finns läckagevägar och om tryckbilden är gynnsam för detta.

Även försäkringsbolag har ärenden om problemen med luftläckage. I en rapport från Gar-Bo försäkringsbolag (Gar-bo, 2016) ges exempel på vad som har gjorts att man har uppmärksammat problem med dålig lufttäthet och vad det har kostat att åtgärda problemen. Ofta har det varit problem med drag och kyla som gjort att man upptäckt problemet och kostnaderna för att åtgärda lufttäthetsproblemen har spänt från 30 tkr till 16 miljoner kronor (för 6 stycken flerbostadshus) med en snittkostnad för att åtgärda på 340 tkr per bostad.

Det är alltså numera inte energianvändningen som är den huvudsakliga anledningen till att otätheter skapar problem. Däremot påverkar otätheterna innemiljön, genom att orsaka drag och nedkylning, genom att ge möjlighet för föroreningsspridning i och till byggnaden och genom att byggnadens fuktsäkerheten påverkas. Föroreningar som sprids inom byggnaden kan exempelvis vara radon, mögel och lukt av tryckimpregnerat trä. Eftersom byggnadens ventilationssystem justerats in för en viss driftsituation, och ifall lufttätheten hos byggnaden sedan ändras, så

kommer detta också att påverka ventilationssystemets funktion. Särskilt balanserade system (oftast med värmeväxling) är känsliga för detta.

Även fuktsäkerheten påverkas när ventilationens funktion ändras. En balanserad ventilation injusteras för ett svagt undertryck i byggnaden. Om lufttätheten försämras kan detta undertryck att minska (eller försvinna), därmed finns det större risk för fuktkonvektion (fukttransport via luftrörelser) upp till takkonstruktionen. Framför allt på kallvindar finns det ofta skador orsakade av fuktkonvektion (Hagentoft, 2014).

Det finns alltså flera anledningar till att ha en god lufttäthet, och det är också viktigt att lufttätheten är beständig över tid. Var otätheterna är placerade påverkar dels tryckbilden kring klimatskalet, dels storleken på luftrörelserna men, också vilka konsekvenser som luftläckagen får och hur stora konsekvenserna blir. Vi behöver alltså veta hur mycket luftläckagen kan ändra sig, var läckagen uppstår och vilka konsekvenserna blir.

1.1. TIDIGARE STUDIER PÅ LUFTTÄTHETENS VARIATION

Förutom de tidigare nämnda studierna från Sverige har lufttäthetens variation uppmärksammats vid ett flertal forskningsprojekt runtom i världen, både med avseende på variation över årstiderna och lufttäthetens variation över tiden. Man har dels sammanställt och analyserat tidigare studier, och dels gjort nya mätningar. När det gäller lufttäthetens variation över årstiderna visar flera studier att byggnaderna läcker mer under vintern (Brennan, 2013, Wahlgren, 2015, Kim & Shaw, 1986, Persily, 1982), medan andra visar både högre och lägre under vintern (Moujalled, 2018, Borsboom, 2012). Studier som visar ett högre läckage på vintern kopplar ibland detta till den relativa fuktigheten inomhus, vilket ger högre läckage vid torrare inneklimate för träkonstruktioner. För murade konstruktioner har man observerat större läckage under sommaren. Detta förklarades bero på antingen olika termisk expansion för olika material eller påverkan på tätning kring genomförande (Bracke, 2014).

Med avseende på lufttäthetens variation över längre tid visar flera studier att lufttätheten försämras över tid, till exempel Bracke (2014) som undersökt 15 byggnader där 90% har en lufttäthet som försämras över tid, med en snittökning på 32%. Vid närmare undersökning visar det sig dock att mycket kan förklaras av åverkan och ändringar i byggnader, t.ex. nya installationer. Andra studier visar att ändringen av lufttäthet sker under den första tiden. Exempelvis Moujalled (2018) noterar att byggnaderna försämras främst under de två första åren och också att läckagen i tvåvåningshus ökar mer än de i enplanshus.

1.2. SYFTE

Syftet med den aktuella undersökningen är dels att undersöka lufttätheten i första skedet efter en byggnad har färdigställts, och dels att beskriva konsekvenserna av en försämrad lufttäthet för olika klimat och läckagefördelningar.

Projektet inkluderar undersökning av sprickbildning i konstruktionen pga uttorkning (fältmätning, laborationsmätning och numeriska beräkningar), hur dessa springor bidrar till luftflöden genom klimatskalet, hur luftläckagen påverkar FTX-system (framför allt verkningsgrad) samt föroreningstransport från kryppgrund, variationer i otätheternas fördelning, samt klimat (temperaturer, fuktighet, och vind) och hur detta påverkar luftflöden genom klimatskalet.

1.3.METOD

De metoder som använts i projektet är dels mätningar (i fält och laboratorium) och dels numeriska simuleringar. Hur lufttätheten ändras över tiden har främst studerats genom fältmätningar av lufttäthet kombinerat med läckagesökning och termografering. Tre byggnader (2 byggnader med delar av trä och 1 betonghus) har följts över tid. Mätningar i laboratoriemiljö har även utförts i en mindre byggnad (en gäststuga) med påtvingad uppfuktning och uttorkning.

Lufttäthetsmätningar i fält har utförts enligt metod beskriven i SS-EN 9972:2015. Metoden innebär att man skapar en tryckskillnad över byggnadens klimatskal, med hjälp av en s.k. Blower door, och mäter luftläckaget vid ett antal olika trycknivåer. Dessa mätningar inkluderar mätning av vindhastighet vid byggnaden, tryckskillnader över klimatskalet i olika lägen, samt temperatur inne och ute. Lufttäthetsmätningarna kompletterades med mätning av den relativa fuktigheten ute och inne samt av läckagesökning i byggnaden. Luftläckagesökningen utfördes enligt Sikander m.fl. (2009), med användande av värmekamera samt lufthastighetsgivare.

I gäststugan mättes lufttätheten vid olika fuktförhållanden med hjälp av en Blower door och storleken på de enskilda läckagen uppskattades med hjälp av en lufthastighetsgivare.

Verktygen som användes för de numeriska undersökningarna var Wufi (2014), Contam (2012), Comsol (2015), Simulink (2020), och Matlab.(2020).

Med hjälp av Wufi beräknades sprickbredd i träkonstruktioner samt uttorkningstider (för Göteborg). Sprickbredden har använts i Comsol för beräkning av luftflöden genom otätheter. Contam har beräknat främst infiltration och exfiltration i byggnader med olika tätheter för en sommardag och en vinterdag i Göteborg. Med hjälp av Simulink, i kombination med Matlab, har påverkan av klimat (timdata) i två orter (Göteborg och Östersund) kunnat studeras över tid med avseende på både luftrörelser och konsekvenserna av dessa, såsom förorenings-spridning.

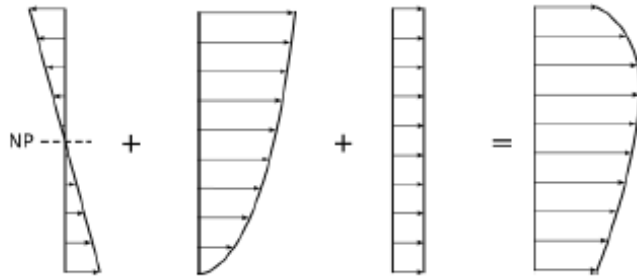
Indata som påverkar luftrörelser och som finns med i de numeriska undersökningarna är exempelvis, inne- och utetemperatur, luftfuktighet inne och ute, vindriktning, vindhastighet, byggnadsorientering och formfaktorer för vindpåverkan på byggnaden, otätheter inklusive otäthetsfördelning, fläktkurva alternativt flödesbalans för ventilationen. För vissa fall har en statistisk fördelning av indata använts.

Med hjälp av simuleringsprogrammen beräknas skorstenseffekt inomhus och i krypgrund (med termisk tröghet), vind- och ventilationspåverkan, tryckskillnader över klimatskalet, luftflöden i och genom klimatskalet, föroreningstransport (inkl. fukt) genom olika byggnadsdelar och ventilation, samt värmeväxlares verkningsgrad. Dessa beräkningar har dels gjorts för enstaka väldefinierade fall, och även för ett stort antal statistiskt framtagna fall med hjälp av Monte Carlo simuleringar.

2. TEORI FÖR TRYCKSKILLNADER OCH LUFTFLÖDEN

Tryckskillnaden över byggnadens klimatskal orsakas av skorstenseffekt, av vind och av byggnadens ventilationssystem. Summan av dessa ger den totala tryckskillnaden över en byggnadsdel.

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{skorstenseffekt} + \Delta P_{vind} + \Delta P_{mekanisk\ ventilation} \quad (1)$$



Figur 1. Illustration av tryckskillnaden över en vägg: skorstenseffekt+ vind+ mekanisk ventilation= total tryckskillnad, där NP är neutrala planet.

Tryckskillnad pga. skorstenseffekten beräknas med följande uttryck:

$$\Delta P = z \cdot (\rho_e - \rho_i) \cdot g \quad (2)$$

där

ρ_e utomhusluftens densitet [kg/m^3]

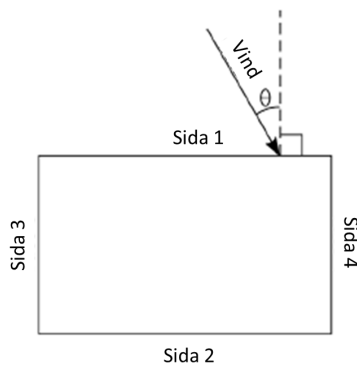
ρ_i inomhusluftens densitet [kg/m^3]

ΔP tryckskillnad över klimatskalet [Pa]

z avstånd mellan neutrala planet och aktuell punkt [m]

g gravitation [m/s^2]

Vinden ger olika formfaktorer (tryckkoefficienter), C_p , på de olika väggarna, beroende på byggnadens form och vindens riktning, se figur 2.



Figur 2. Vindriktning och fasadnumrering för framtagande av formfaktorer, C_p (-).

Formfaktorer som har använts för respektive vindriktning visas i tabell 1. Tabellen gäller för en exponerad (dvs inga hinder i närheten av byggnaden), låg byggnad (upp till tre våningar).

Tabell 1. Formfaktorer vid olika vindriktningar

	0°	45°	90°
Sida 1	0.7	0.35	-0.5
Sida 2	-0.2	-0.4	-0.5
Sida 3	-0.5	0.35	0.7
Sida 4	-0.5	-0.4	-0.2

Vindhastigheten mäts på en höjd av 10 m. För att anpassa höjden till byggnadens höjd, och för att ta hänsyn till hur vindskyddat byggnaden ligger, används följande formel för att ta fram vindhastighet vid byggnaden:

$$U_z = U_m \cdot \kappa \cdot z^a \quad (3)$$

där

z byggnadens höjd [m]

U_z vindhastighet vid byggnadens höjd [m/s]

U_m vindhastighet vid 10 meters höjd [m/s]

κ och a är terrängkoefficienter [-], se exempelvis Hagentoft (2001).

För att ta fram trycket mot en byggnadsdel vid en särskild vindriktning och vindhastighet används:

$$P_w = (C_p - C_{pi}) \frac{\rho_a U_z^2}{2} \quad (4)$$

P_w vindtryck [Pa]

C_p formfaktor ytsida vägg [-]

C_{pi} formfaktor insida vägg [-]

ρ_a luftdensitet [kg/m³]

U_z vindhastighet vid byggnadens höjd [m/s]

3. FUKTENS PÅVERKAN PÅ SPRICKBILDNING OCH LUFTLÄCKAGE

När trä torkar, krymper det och springor kan skapas mellan olika delar. Hur stora springorna blir beror på vilken relativ fuktighet eller fuktkvot träet har från början och vad det torkar till. För träts fuktinducerade rörelser har följande formler från Burström (2007) använts.

$$\Delta\alpha = \frac{u_2 - u_1}{u_f} \cdot \alpha_f \quad (5)$$

där

$\Delta\alpha$ fuktberoende krympning [-]

u_2 initiell fuktkvot [kg/kg]

u_1 ny fuktkvot [kg/kg]

α_f maximal krympning från vattenmättnad till helt torrt material (olika för olika riktningar) [-]

u_f fibermättnadspunkt [kg/kg]

Absolut krympning kan då beräknas enligt

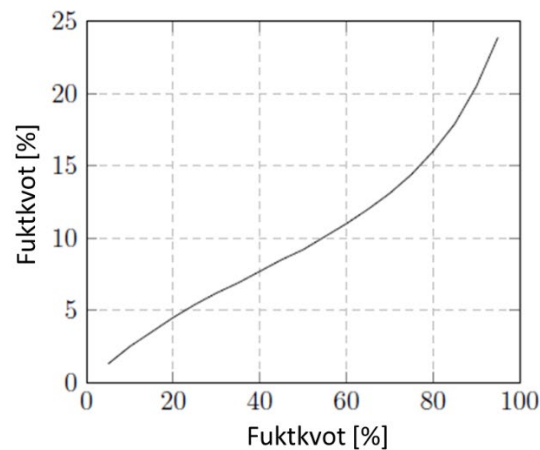
$$\Delta L = \Delta \alpha \cdot L \quad (6)$$

där

ΔL total längdändring [m]

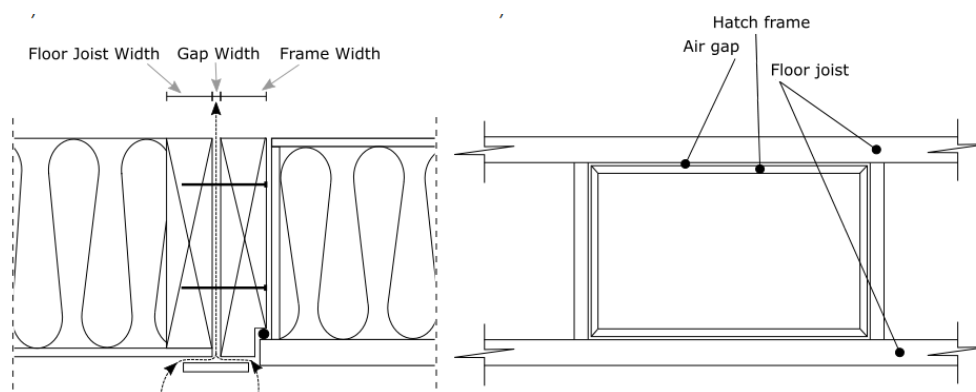
L total längd [m]

Förhållandet mellan relativ fuktighet och fuktkvot kan beskrivas med en sorptionskurva, se figur 3.



Figur 3. Sorptionskurva för gran.

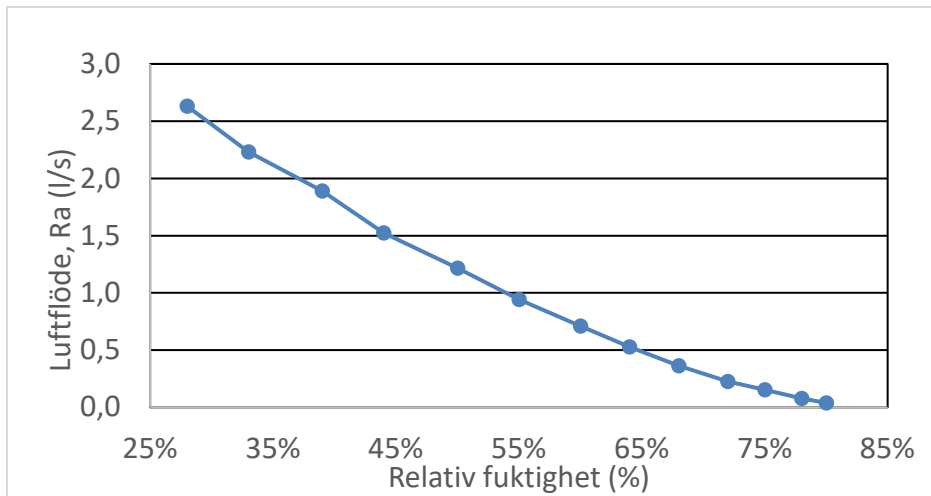
För att undersöka hur variationer i fukthalt i trä påverkar luftläckage har en vindslucka till en kallvind och klämning av plastfolie använts som exempel. Vindsluckan har en trækarm som är monterad i en träram i vindsbjälklaget, se figur 4.



Figur 4. Springa runt vindslucka, pilar (vänster) visar möjliga luftflöden.

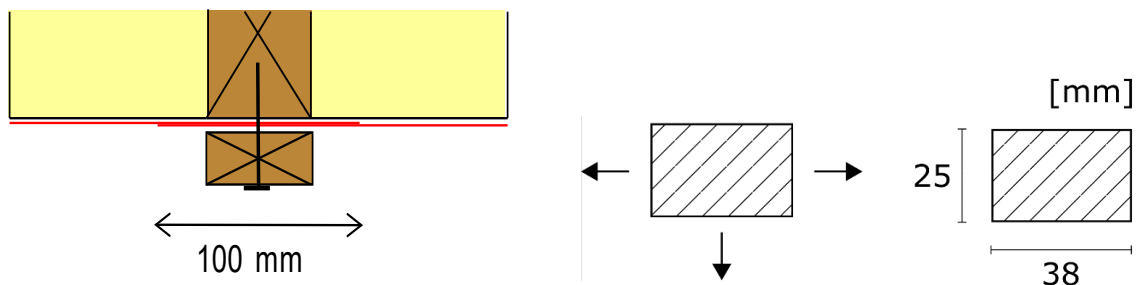
Springan är mindre vid höga fuktigheter, dvs när trä byggs in. En relativ fuktighet på 80% motsvarar en fuktkvot på ca 16%, vilket är vanligt att trä har när det byggs in (tillåten variation mellan 11,2 and 20,8%, enligt SS-EN 14298). När byggfukten har torkat ut kan trädelar som utsätts för inneklimatet befinna sig i jämvikt med en relativ fuktighet på 20%, eller t.om. lägre, på vintern. Förhållandet mellan relativ fuktighet i omgivningen och fuktkvot i trä visas i figur 3.

Som ett exempel, illustreras luftflödet som transporteras från inomhusklimat till kallvinden via springan runt vindsluckan i figur 5. Springbredden går här från 0 vid inbyggnad till 3,2 mm. Beräkningen är gjord för en tryckskillnad på 4 Pa, vilket inte är ovanligt att få över vindsbjälklaget på vintern.



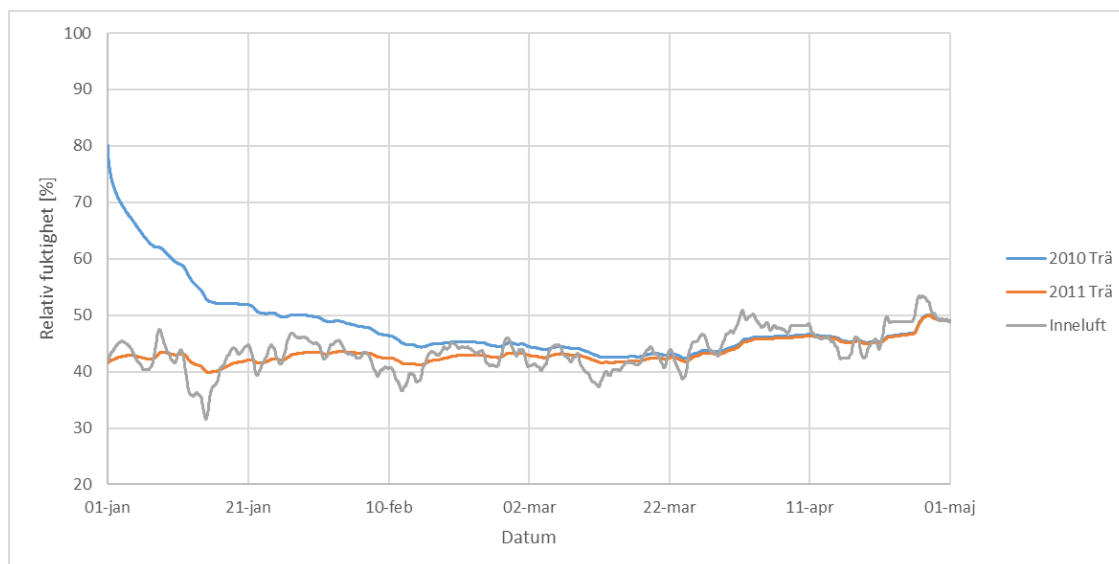
Figur 5. Luftflöde som funktion av relativ fuktighet i trä i anslutningen vindslucka/vindsbjälklag, beräknat vid en tryckskillnad på 4 Pa.

Ytterligare en konstruktionsdetalj har studerats med avseende på fuktrörelser. Mötet mellan två plastfolier i vägg eller tak, kläms lämpligen mellan två trädetaljer, se figur 6. Detta medför att träet kan torka åt tre håll.



Figur 6. Klämning av plastfolie (röd), uttorkningsriktning och dimension hos trädetalj.

För att undersöka hur denna uttorkning påverkar en byggnads lufttäthet har denna uttorkning simulerats. Uttorkning av trä har då beräknats med fuktberäkningsprogrammet Wufi (2014), sprickbildning har beräknats med ekvation 5 och 6 och luftflöden med Comsol. Den initiala fuktkvoten är 16% och omgivningens relativa fuktighet är beräknad för uppmätt klimat i Göteborg, med ett fukttillskott inne och innetemperatur enligt SS-EN15026:2007. Två år har simulerats (2010 och 2011).

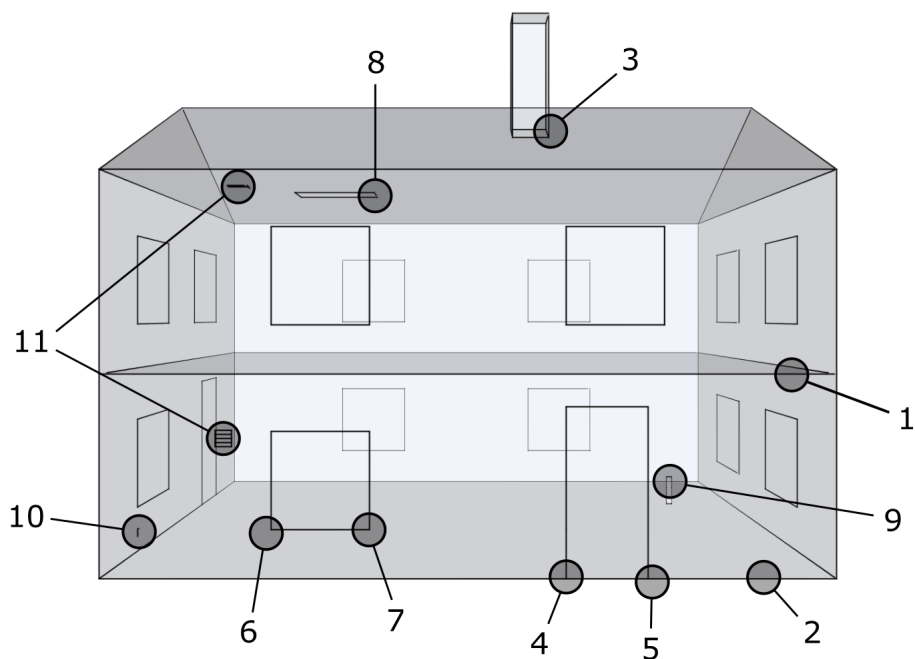


Figur 7. Beräkning av uttorkning av trädetalj (visas i figur 6) under två år i Göteborg.

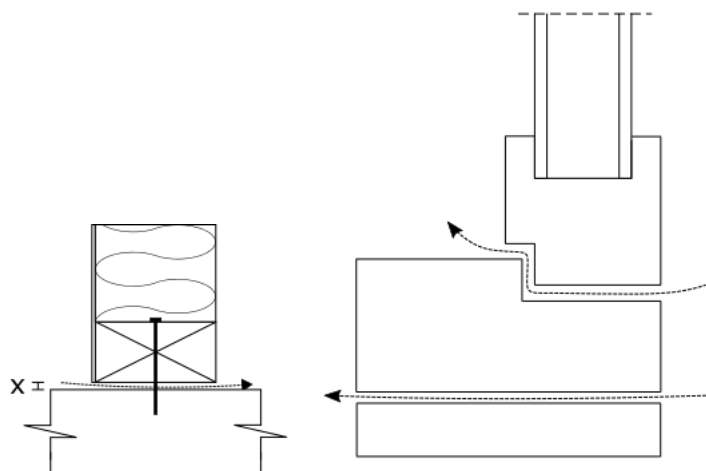
Beräkningarna visar att detaljen är i balans med omgivningen efter två till tre månader, dvs byggfukten är borta efter två till tre månader. Därefter följer träet omgivningens klimat. Beräkningarna visar också att uttorkningen går snabbare när byggnaden färdigställs på vintern jämfört med sommaren (eftersom träet är utsatt för ett torrare inomhusklimat). Däremot tar det inte lika lång tid att komma till jämvikt med omgivningen under sommaren eftersom den relativa fuktigheten inne under sommaren är betydligt högre.

Om man antar att det finns flera detaljer som ändrar sig med fuktighet, kan man beräkna hur lufttätheten varierar, samt luftflöden vid både varierande lufttäthet och vid konstant lufttäthet. Här är dimensionsändringen något fördröjd jämfört med inneluftfuktigheten. Detta är baserat på de korrelationer mellan inneluftfuktighet och lufttäthet som presenteras i Wahlgren och Hansén (2015), där lufttätheten reagerar med en fördröjning på 0-3 veckor, vanligtvis några dagar, beroende på var i konstruktionen tätheten sitter.

Beräkningar på luftläckage har gjorts i en byggnad med elva stycken otätheter, se figur 8 och 9. Av dessa otätheter varierar samtliga förutom läckage 9, 10, 11 (se figur 8). Dessa är läckage som orsakats av genomföringar.



Figur 8. Otätheter inkluderade i luftläckageberäkningar.



Figur 9. Illustration av läckagevägar under syll (vänster) samt kring fönster (höger).

För att luftflödet skall kunna beskrivas på ett korrekt sätt för varje springbredd, har beräkningar i Comsol med CFD- modul utförts för detaljerna med varierande fuktkvot. Från dessa har konstanter för varje springa tagits fram som sedan används i ekvation 7. I tabell 2 visas konstanterna för anslutning golv/vägg. Konstanter för övriga detaljer återfinns i Domhagen (2016).

Tabell 2. Springbredd kring vindslucka vid olika fuktkvoter och relativa fuktigheter samt resulterande konstanter till ekvation 7 för beräkning av luftflöden.

Springa [mm]	Fuktkvot [%]	RF	C [l/smPa ⁿ]	n [-]
0.20	16.9	82%	0.00	1.00
0.40	15.2	78%	0.00	1.00
0.60	13.5	72%	0.01	0.99
0.80	11.8	64%	0.03	0.97
1.00	10.1	55%	0.06	0.94
1.20	8.4	44%	0.10	0.90
1.40	6.7	33%	0.17	0.86
1.60	5.0	23%	0.27	0.82
1.80	3.3	14%	0.39	0.77
2.00	1.6	6%	0.54	0.74

Luftflöde som funktion av tryckskillnad över ett läckage visas i ekvation 7 där C och n är parametrar från simulering, ΔP (Pa) är tryckskillnad över springan och Q (l/s) är luftflödet genom springan.

$$Q = C \Delta P^n \quad (7)$$

Från dessa läckageberäkningar kan man se att fuktkvoten i trä har en betydande påverkan på springbredd. Vid små springor (<1 mm) är luftflödet linjärt mot fuktkvoten och vid stora springor (låga fuktkvoter) är förhållandet exponentiellt (med $n < 1$) mellan tryck och luftflöde. Trädetaljer av större dimensioner som torkar ger naturligtvis upphov till större glipor och detta, i kombination med högre C vid större springbredd, ger större flöden vid lägre fuktkvot.

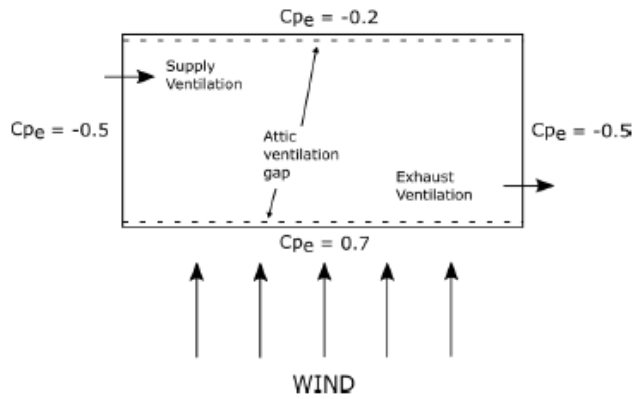
Vindsluckan får förhållandevis stora springbredder. Detta i kombination med kopplingen till kallvind gör vindsluckan extra problematisk, vilket också har illustrerats i Harderup och Arfvidsson (2013). Luftläckagen blir störst under vintern när det är som torrast inne och det är också då som fuktkonvektion till vinden orsakar höga relativa fuktigheter på vinden.

Hur stort flöde som transporteras vid olika otätheter och olika klimat har beräknats med programmet Contam (2012) och illustreras i figur 10. Utomhusklimatet finns beskrivet i tabell 3. Ventilationssystemet är ett balanserat system med ett tilluftsflöde som är 90 % av frånluftsflödet, vilket syftar till att skapa ett svagt undertryck i byggnaden. Detta är gynnsamt ur fuktsynpunkt eftersom det minskar risken för fuktkonvektion genom klimatskalet och höga relativa fuktigheter i byggnadsdelarna. Detaljerad information om simuleringarna finns i Domhagen (2016 och 2017a).

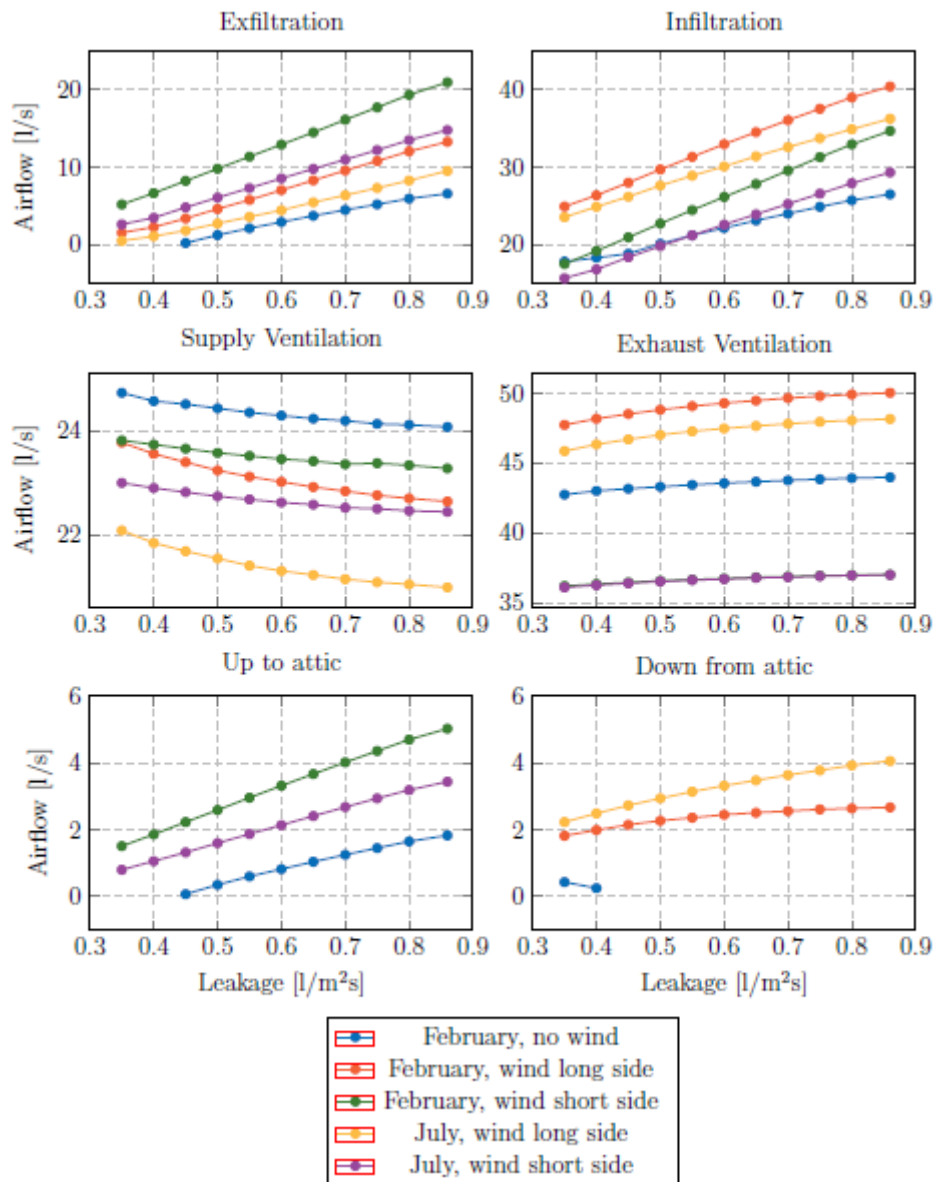
Tabell 3. Månadsmedelvärden från Göteborg som används till läckagesimuleringar.

Månad	Vindhastighet (m/s)	Relativ fuktighet (%)	Temperatur (°C)
Januari	5	82	-4
Juli	5	73	15,5

Vinden simuleras dels vinkelrätt mot en avlång byggnad och parallell med en avlång byggnad. I figur 10 finns formfaktorer beskrivna för vinkelrät anblåsning. Formfaktorer är tagna från Ashrae (2017). Byggnaden simuleras med ett sadeltak, med ventilationsöppningar längs med takfoten.



Figur 10. Formfaktorer för anblåsning vinkelrätt mot långsidan på referensbyggnaden ($C_{pe} = C_p$ i ekvation 4).



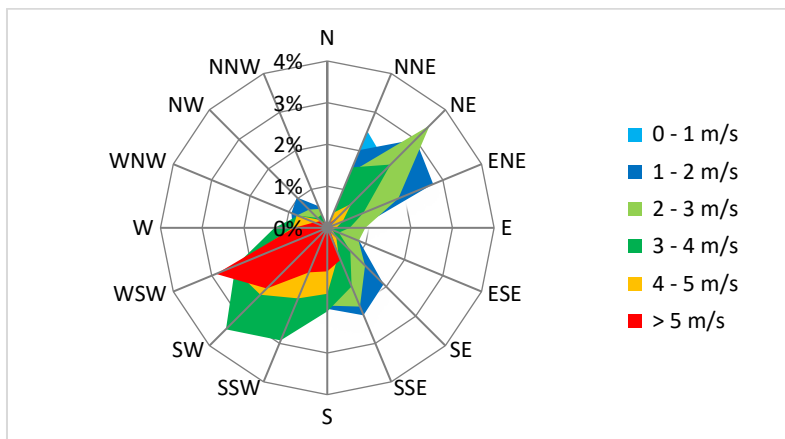
Figur 11. Resultat från simuleringar med läckagefördelning enligt figur 8.

I figur 11 Exfiltration, visas luftflödet som transporteras från ut från byggnaden. Vinden har en stark påverkan på exfiltrationen och värsta fallet är anblåsning mot kortsida i februari. Infiltration är större än exfiltrationen pga. ventilationssystemet och den största exfiltrationen observeras för februari med vind mot långsidan, vilket är fallet då vinden skapar störst undertryck i byggnaden. Flödet från inomhus till kallvinden, "Up to attic", är störst på vintern (stor skorstenseffekt). Detta flöde ökar med 1,6% per procentenhet ökning i luftpermeabilitet, vilket naturligtvis ger ökad risk för fuktskador på kallvinden när trätorkar. Ifall lufttätheterna är fördelade så att det är fler läckage i de nedre delarna av byggnaden så kommer tryckskillnaden uppe vid taket att bli större, vilket påverkar effekten av de ökade otätheterna så att ökningen blir 1,9% per procentenhet ökning i luftpermeabilitet. Värt att notera är att det transporteras upp luft till vinden även på sommaren (trots liten skorstenseffekt). Orsaken är att vind mot kortsidan skapar ett undertryck i vindsutrymmet så att luft suggs upp (byggnaden har en lång exponerad takfot där undertryck skapas). För de tätaste simuleringarna så transporteras

luften ner från vinden även på vintern. Detta beror på att ventilationssystemet då klarar att hålla det önskade undertrycket, till dess att läckagen blir för stora.

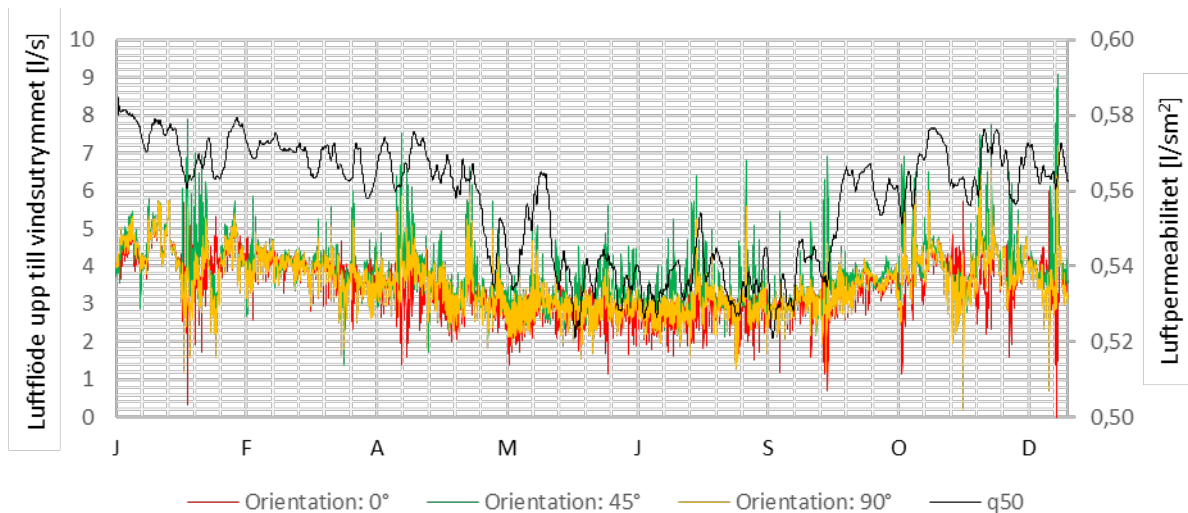
Undersökningen kopplar även till byggfukt. Ifall trät som byggs in har en låg fuktkvot kan det bildas glipor på vintern. Ifall trät har en hög fuktkvot, kan det bli glipor både under sommar och vinter. För att kunna behålla det önskade undertrycket i byggnaden kan man inte tillåta att luftläckagen ökar, eftersom det ger ökad risk för fuktskador på vinden.

För att ytterligare studera hur klimatet påverkar luftflödet till vinden har simuleringar även gjorts med Simulink och Matlab (se Domhagen 2017b). Luftläckagen till och från byggnaden beräknas i Matlab där drivkrafterna är skorstenseffekt, vind och mekanisk ventilation. Dessa funktioner följer samma matematiska princip som presenteras i luftflödes-simuleringsprogrammet Contam (2012). Luftpermeabiliteten varierar mellan $0,58 \text{ l/sm}^2$ och $0,52 \text{ l/sm}^2$, en variation som baseras på fullskalemätningar från Wahlgren och Hansén (2015). Luftpermeabiliteten är en funktion av inomhusfuktigheten med en fördröjning på 2 dagar, även detta baserat på samma mätningar. Simuleringarna är gjorda för Göteborgsklimat. Vindhastighet och vindriktning för Göteborg visas i figur 12. Orientering 0 motsvarar att den avlånga byggnaden ligger i väst-östlig riktning och 90° att den ligger i nord-sydlig riktning. Fukttillskottet inomhus simuleras enligt Pallin (2013) med toppar kl.12 och kl.18. Ventilationsflödet (FT-system) är inställt så att det blir ett undertryck i byggnaden på 3,5 Pa utan skorstenseffekt och vind, vilket är en vanlig storleksordning.



Figur 12. Vindhastigheter och vindriktningar för Göteborg.

I figur 13 ser man hur byggnadens luftpermeabilitet, q_{50} , varierar när inomhusfuktigheten varierar och att byggnaden är mer otät under vintern (torrare inomhusmiljö). Även det beräknade luftflödet upp till vinden visas i figur 13. Resultaten visar bland annat att byggnadens orientering är avgörande för storleken på mängden luft som transporteras upp till kallvinden (pga. olika vindpåverkan) och att luftläckage från inomhusmiljön upp till kallvinden är högre under vintermånaderna jämfört med sommarmånaderna. Ett undertryck på 3,5 Pa är inte heller tillräckligt för att inte luft skall transporteras upp till vinden.



Figur 13. Luftpermeabilitet samt luftflöde till vinden för olika byggnadsorienteringar.

För denna byggnad, i Göteborgsklimat, är vinden den viktigaste parametern för exfiltration genom klimatskalet. Vid en jämförelse av simuleringar med och utan skorstenseffekt syns tydligt att vindpåverkan är dominerande, även om skorstenseffekten har en effekt under kalla dagar. Typisk storleksordning för exfiltration (genom tak och väggar) orsakad av skorstenseffekt är 2 l/s under kalla dagar, medan vinden orsakar över 30 l/s under blåsiga perioder. Ytterligare resultat finns i Domhagen (2016).

4. LUFTTÄTHETSvariationer och påverkan på VÄRMEVÄXLARENS VERKNINGSGRAD

I denna undersökning studeras hur en ändrad lufttätet påverkar värmeväxlarens verkningsgrad. I föregående kapitel illustrerades hur undertrycket i byggnaden, som förutsätts ur fuktsäkerhetssynpunkt, gick förlorad då ventilationssystemet inte kunde klara att hålla ett undertryck när otätheterna ökade. Värmeväxlarens verkningsgrad beror bland annat på storleken på de luftflöden som passerar värmeväxlaren (tilluftsföde och frånluftsföde). Eftersom ventilationsflöden till och från byggnaden påverkas av byggnadens lufttätet är det intressant att undersöka hur värmeväxlarens verkningsgrad påverkas när byggnaden blir mindre tät.

Många hus i Sverige har idag FTX-ventilation, det vill säga frånluftsventilation och tilluftsventilation där värme i frånluften överförs till tilluften med en värmeväxlare. För att undvika fuktproblem i klimatskärmen ställs luftflödesobalansen in så att tilluftsfödet är ungefär 90 % av frånluftsfödet. Dessutom påverkas flödena av tätheten i byggnaden, om exempelvis byggnaden blir tätare ökar motståndet för luftflödet genom frånluftsfälkten och luftflödet minskar.

Verkningsgraden för en värmeväxlare kan beskrivas med följande ekvationer):

$$\alpha = h_0 \pi D L \left(\frac{1}{W_a} - \frac{1}{W_b} \right) \quad (8)$$

där

h_0 är värmeöverföringskoefficienten [W/mK], D är rördiameter [m], L är rörlängd [m] och

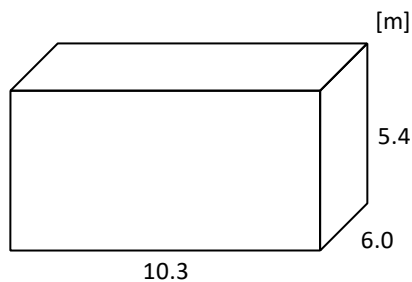
$$W = \dot{m}c_p \quad (9)$$

där \dot{m} är massflöde [kg/s] och c_p är specifik värmekapacitet [J/kgK].

Verkningsgraden kan då beräknas enligt:

$$\eta = \frac{1 - e^{-\alpha}}{1 - \frac{W_a}{W_b} e^{-\alpha}} \quad (10)$$

Verkningsgradens förändring som funktion av luftflöden genom värmeväxlaren kan undersökas med ekvation 10. Flöden genom värmeväxlaren beräknas med hjälp av en numerisk modell. Byggnaden som simuleras har dimensionerna enligt figur 14. Formfaktorer har hämtats från Ashrae (2017) och golvet antas vara tätt.



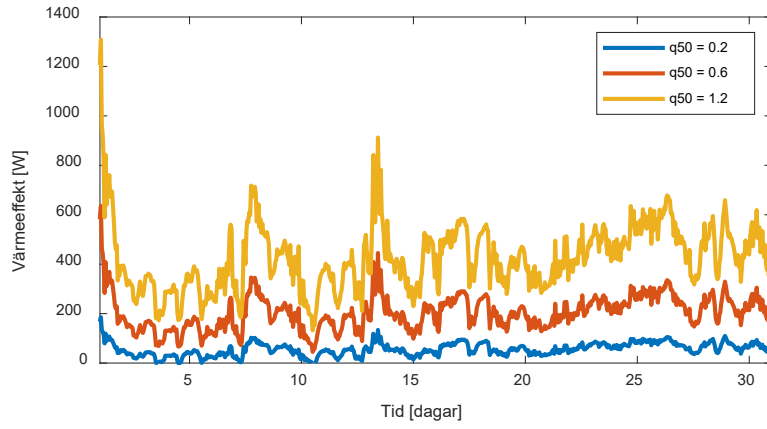
Figur 14. Principskiss av byggnaden.

Simuleringarna har gjorts för en vindstilla dag med utetemperatur -4 °C och innetemperatur 20 °C. Resultaten visar att verkningsgraden ökar med $1,2$ % då lufttätheten ändras från $0,2$ l/sm² till $0,6$ l/sm² vid 50 Pa tryckskillnad. Då lufttätheten ändras från $0,6$ l/sm² till $1,2$ l/sm² ökar verkningsgraden med $0,08$ %.

Anledningen till att verkningsgraden ökar något när byggnaden blir mindre lufttät är att luftflödena genom värmeväxlaren ökar. Detta innebär en större värmeöverföring från utgående luft till ingående luft.

Även om verkningsgraden för värmeväxlaren blir marginellt högre då byggnaden blir mindre lufttät så ökar värmeförlusterna på grund av ökat luftläckage. För fallet med vindstilla dag och utetemperatur -4 °C samt innetemperatur 20 °C ökar värmeförlusterna med 233 W då lufttätheten ändras från $0,2$ l/sm² till $0,6$ l/sm² vid 50 Pa tryckskillnad. För samma fall ökar värmeförlusterna på grund av luftläckage med 320 W då lufttätheten ändras från $0,6$ l/sm² till $1,2$ l/sm².

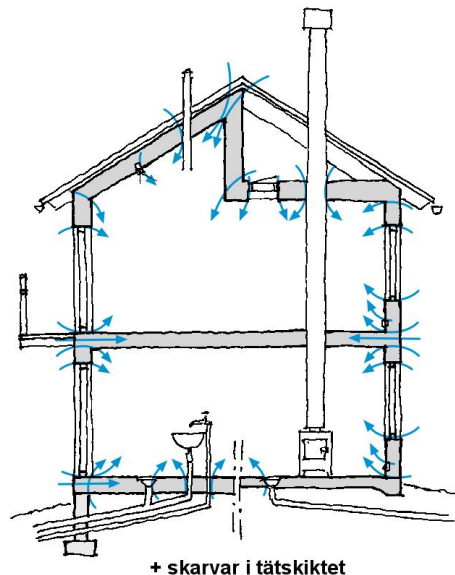
Simuleringen av värmeförluster har även gjorts med klimatdata för januari månad 2019 i Göteborg, se figur 15, för olika otäthetsgrader.



Figur 15. Värmeförlust från luftläckage vid olika lufttäthet.

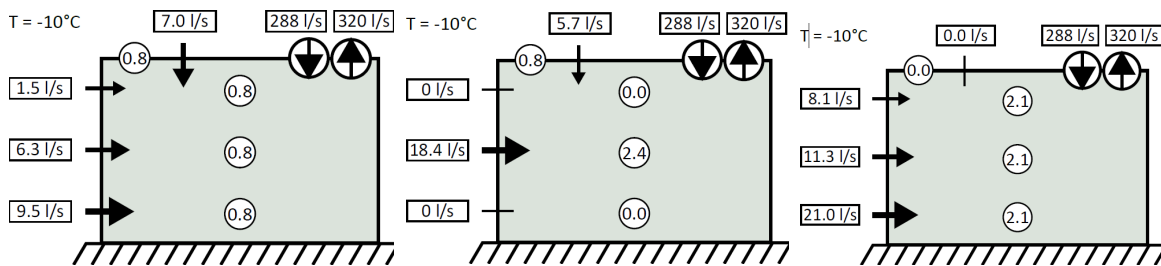
5. VÄGGARNAS LUFTTÄTHETSFÖRDELNING OCH PÅVERKAN PÅ LUFTFLÖDEN

Otättheter uppkommer i de flesta fall vid anslutningar mellan byggnadsdelar och vid genomföringar (Sikander, 2008) som illustrerat i figur 16. Var otättheterna är placerade kommer att påverka tryckbildningen över byggnaden.



Figur 16. Illustration av otättheter i klimatskalet (Eric Werner Tecknaren AB).

Hur olika fördelningar av otättheter kan ge olika luftflöden illustreras i figur 17 för fallet med enbart skorstenseffekt. I alla alternativ är golvet helt tätt och den balanserade ventilationen (tilluft 228 l/s och frånluft 320 l/s) ger ett undertryck i hela byggnaden. För byggnaden i figur 17a är taket och alla delar av väggarna lika täta (läcker 0,8 l/sm² vid 50 Pa). Skorstenseffekten skapar ett högre undertryck i de nedre delarna så att nettoflödet där är större än i de övre delarna av byggnaden. I Figur 17b har de översta otättheterna på väggarna, samt de understa, blivit tätare och mellandelen hos väggen blivit otätare (för att ha samma totala otätthet för väggarna). Detta orsakar ett ökat flöde i mellandelen av väggen men också en sänkning av tryckskillnaden över taket så att det blir något lägre flöde genom detta, och högre genom väggarna totalt. Det är alltså bara fördelning av otättheter på väggen som har ändrats, men ändå påverkas luftflödet genom taket. I sista exemplet, figur 17c, är taket tätat och väggarna mer otäta (så att husets totala lufttäthet är samma för alla fall). Detta fall medför de allra största luftflödena in i byggnadens nedre delar. Detta kan ge upphov till problem med drag och dålig termisk komfort för människor på byggnadens bottenvåning. När det gäller uttorkning av byggfukt i trä kan det alltså vara så att någon otätthet blir större, pga uttorkning, och någon otätthet blir mer tät, exempelvis pga byggnadens tyngd, så att den resulterande tätheten är densamma. För detta fall kan då luftflödena ändras och lokala problem uppkomma utan att indikationer ges när man studerar den totala lufttätheten.



Figur 17. Luftflöden genom klimatskalet för tre olika fall där byggnadens totala lufttäthet är samma. a. Tak och väggar har samma täthet, b. Oförändrad täthet hos taket, enbart otätheter i väggens mellersta del, c. Helt tätt tak, samma täthet i väggarnas alla delar.

För att själv kunna studera luftflöden och hur de påverkas av otätheters placering och storlek har ett enkelt beräkningsprogram skapats, Luftspelet (Domhagen, 2020). I Luftspelet kan man enkelt flytta otätheter och ändra storlek på dessa, samt ändra omgivande klimat, och studera resulterande luftflöden.

6. FÖRORENINGSTRANSPORT FRÅN KRYPGRUND OCH PÅVERKAN AV LUFTTÄTHETSFÖRDELNING OCH KLIMAT

Föroreningar kan transporteras inom klimatskalet. Det kan exempelvis vara mögelsporer (från alla byggnadsdelar), radon (från mark och betong) eller lukter (främst tryckimpregnerat trä krypgrund och mikrobiologisk påväxt). I följande stycke studeras föroreningstransport från krypgrunden till inomhusmiljön i en skolbyggnad, samt hur denna transport påverkas av olika täthetsfördelningar, klimat och ventilation. Resultaten baseras på ett stort antal Monte Carlo simuleringar (storleksordning 10^6) av tryckskillnader och föroreningshalter inomhus, där tätheten på byggnadens delar fördelar sig enligt en Weibulfunktion, och där slumpvis väder för dels Göteborg och dels Östersund används. Östersund har något kallare temperaturer än Göteborg och något högre vindhastigheter, och byggnaden är avlång (12 x 26 m). Se Domhagen m.fl. (2020) för ytterligare beskrivning av simuleringarna.

Simuleringarna utförs för att visa vilka faktorer som mest påverkar dels tryckskillnaden över bjälklaget, dvs om luften kommer upp ur eller transporteras ner till krypgrunden, och dels föroreningshalten som erhålls inomhus ifall luften från krypgrunden är förorenad. Resultaten presenteras i form av Pearsons korrelationskoefficienter. Denna koefficient används för att ange styrkan hos beroendet mellan två variabler där värdet $r=1$ betyder en perfekt positiv korrelation, $r=-1$ betyder en perfekt negativ korrelation och 0 att det inte finns någon relation mellan de två variablerna. Som exempel, sambandet mellan antal steg och hur långt man har transporterats har en korrelation nära 1, ju fler steg man tar, desto längre kommer man. Korrelationen mellan färg på jacka och hur långt man har transporterats är sannolikt noll.

I tabell 4 presenteras Pearsons korrelationskoefficienter mellan olika variabler med skuggning på de mest betydelsefulla korrelationerna för tryckskillnad över bjälklaget, ΔP , (mellan krypgrund och inomhus) samt för föroreningskoncentration inomhus. Positivt tryck är definierat som högre tryck i krypgrunden, dvs flöde upp från krypgrunden.

Tabell 4. Pearsons korrelationskoefficient för simuleringar för Göteborg (vänster) och för Östersund (höger).

Göteborg	Koncentration	ΔP (golv)	Östersund	Koncentration	ΔP (golv)
Koncentration	1		Koncentration	1	
ΔP (golv)	0.05	1	ΔP (golv)	-0.19	1
Utomhustemperatur	-0.37	-0.43	Utomhustemperatur	-0.16	-0.35
Vindhastighet	-0.18	0.11	Vindhastighet	-0.33	0.19
Luftomsättning (klassrum)	-0.34	-0.08	Luftomsättning (klassrum)	-0.36	0.08
q50	-0.07	-0.01	q50	-0.06	0.03
q50 (golv)	0.07	-0.54	q50 (golv)	0.11	-0.56
q50 (tak)	-0.07	0.04	q50 (tak)	-0.05	0.08
q50 (krypgrund)	-0.06	0.16	q50 (krypgrund)	-0.10	0.16
q50 (klassrum)	-0.07	-0.04	q50 (klassrum)	-0.10	-0.04

Några slutsatser man kan dra är att utomhustemperaturen är en viktig faktor för både föroreningskoncentrationen inomhus och för tryckskillnaden över bjälklaget. När det blir kallare ute, får man en högre koncentration av föroreningar inomhus. Detta beror på att skorstenseffekten drar upp föroreningar ur kryppgrunden. En ökad vindhastigheten gör också så att det blir ett ökat luftflöde från kryppgrunden till inomhusmiljön (positiv tryckskillnad). Samtidigt kommer dock luftomsättningen i byggnaden öka pga ökad vind, i kombination med en otät byggnad, så nettoeffekten av ökad vind blir att föroreningshalten inomhus minskar i de flesta fallen.

När det gäller luftomsättning inomhus, så minskar föroreningskoncentrationen inomhus med ökad luftomsättning. Till sist, den byggnadsdels otäthet som mest påverkar resultaten är bjälklaget mellan kryppgrund och inomhus. En ökad otäthet i bjälklaget ger en ökad föroreningskoncentration inomhus. Detta beror inte på att tryckskillnaden har ökat, tvärt emot. Tryckskillnaden mellan kryppgrund och inomhus minskar eftersom tryckfördelningen påverkas av den ändrade tätheten. Den ökade föroreningskoncentrationen beror enbart på den ökade otätheten i bjälklaget, vilket gör att mer luft kommer upp. I kapitel 7 beskrivs lufttäthetsmätningar på en gäststuga som utsätts för uppfuktning och uttorkning. I gäststugan visade det sig att golvet, samt golv/vägg anslutning, är mycket otäta. Ifall gäststugan var byggd på en kryppgrund med föroreningar (radon, mögel, lukt av tryckimpregnerat trä) skulle alltså dessa föroreningar lätt komma upp till inomhusmiljön när byggfukten i byggnaden hade torkat ut.

7. MÄTNINGAR PÅ GÄSTSTUGA I LABORATIONSHALL

Initiella mätningar har utförts på en gäststuga byggd i en laborationshall, dels för att studera hur snabbt stugans lufttäthet ändrades när den relativa fuktigheten inne, och träts fuktkvot, ändrades och dels för att se hur stora ändringarna i lufttäthet blev.

Gäststugan har en area på cirka 13 m². Det är en träkonstruktion med plintgrund. Alla väggar har vindspärr (byggpapper) men ingen ångspärr, vilket innebär att fukt tillåts diffundera in och ut från konstruktionen. Gäststugan ligger i en stor laborationslokal där den relativa luftfuktigheten varierar mellan 20% och 40%.

Under den första fasen av experimentet, uppfuktningssfasen, ökades den relativa fuktigheten i gäststugan till ca. 90% under 8 dagar, lufttätheten mäts dagligen under de första 4 dagarna och varannan dag under de återstående 4 dagarna. Den ökade relativa fuktigheten skapades med en liten luftfuktare som styrdes med en programmerbar mikrokontroll och en fuktsensor.

Under experimentets andra fas, uttorkningsfasen, sänktes den relativa luftfuktigheten i gäststugan med hjälp av uppvärmning och ventilation. Under natten sänktes den relativa luftfuktigheten genom att stugan värmdes med radiatorer, och under dagtid ventilerades stugan med hjälp av en fläkt monterad i dörröppningen, sk Blower door. Uttorkningsfasen var 7 dagar lång och lufttätheten mättes varannan dag. Den relativa luftfuktigheten och temperaturerna mättes kontinuerligt inuti gäststugan såväl som utanför under båda faserna. Se figur 20 för relativa fuktigheten i stugan och i laborationshallen.

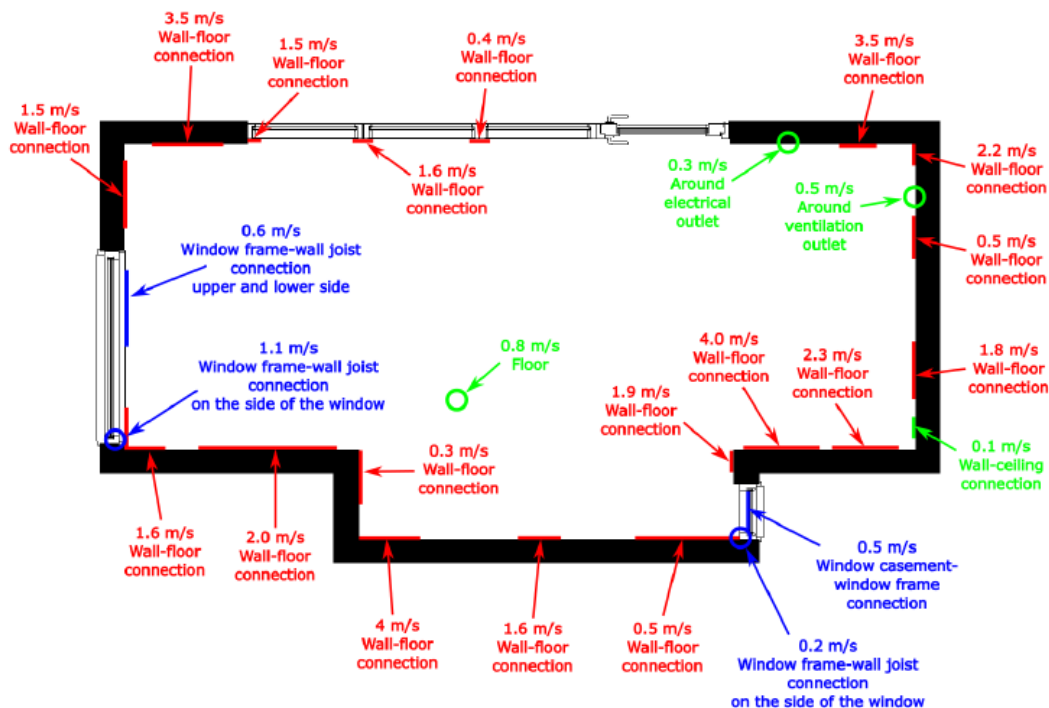
Temperaturen inne i lokalen, där stugan var placerad, låg mellan 19° C och 21° C under hela testperioden. Inuti gäststugan var temperaturerna något högre under uppfuktningssfasen (20–21°C) medan temperaturen under uttorkningsfasen låg mellan 30°C och 32°C.

Lufttätheten mättes med en Blower door, se figur 18, enligt SS-EN 9972:2015. Mätproceduren beskrivs närmare i kapitel 8.2.1 i samband med fältmätningar.



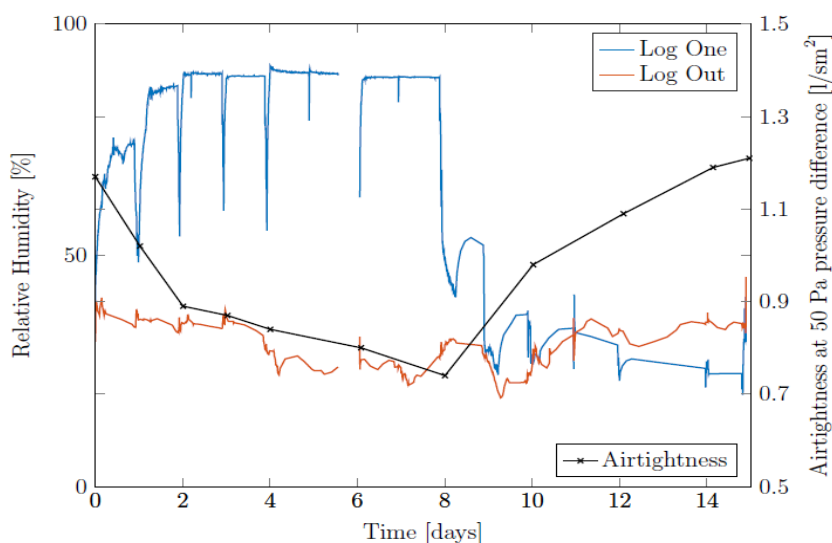
Figur 18. Gäststuga med monterad Blower door.

I slutet av testperioden utfördes en läckagesökning med hjälp av en lufthastighetgivare för att kartlägga läckagen i konstruktionen. Blower door-fläkten användes då för att skapa ett undertryck i stugan så att luftläckagen kunde studeras. Uppmäta luftläckagehastigheter, efter uttorkning, finns noterade i figur 19.



Figur 19. Uppmäta luftläckage (m/s) efter uttorkning.

Luftläckageundersökningen visade att det fanns läckage längs väggar, golv, tak och kring fönster. Särskilt otätt var golv/vägg-anslutningen där golvet verkade ha utsatts för stora fuktrelaterade rörelser. Vindskyddet täckte inte heller golvkonstruktionen utan bara väggar och tak. Gäststugans lufttätet under uppfuktning och uttorkning ses i figur 20.



Figur 20. Relativ fuktighet i gäststuga, i laborationshall samt gäststugans luftpermeabilitet, q_{50} (l/sm²).

Luftpermeabiliteten sjönk stadigt under uppfuktningens första två dagar, från 1,17 l/sm² till 0,89 l/sm². När uppfuktningen avslutades hade gäststugan en luftpermeabilitet på 0,74 l/sm². Under uttorkningen blev gäststugan mer luftgenomsläpplig igen och nådde till slut en luftpermeabilitet på 0,98 l/sm². Gäststugan läckte något mer vid sista mättillfället än vid första. Detta kan antingen bero på att den relativa luftfuktigheten var något lägre vid slutet (pga att radiatorn just stängts av och gäststugan var varmare än omgivande luft) eller på att en del anslutningar hade ändrat sig pga. fuktinducerade rörelser under mätperioden.

Gäststugan saknade ångspärr, vilket gör att fuktrörelser antagligen var både större och snabbare än i vanliga träkonstruktioner. Dock visar mätningarna att varierande fuktighet kan orsaka stora ändringar i luftläckage i byggnader. I de aktuella mätningarna ökade luftpermeabiliteten från 0,74 till 0,98 l/sm² på endast 7 dagar, vilket är en ökning på drygt 30%, och en snittökning på nästan 5% per dag. Luftpermeabiliteten hade inte nått ett stabilt läge under mätperioden, se figur 20, men av den minskande lutningen i figuren kan man anta att detta skulle ha nåtts inom två veckor. Detta kan jämföras med resultaten i figur 7 där uttorkningen beräknats till 2-3 månader, för en mindre detalj (klämning av plastfolie). Alltså torde den faktiska uttorkningen för en byggnad vara ännu längre, eftersom flera trädetaljer har ännu större dimensioner och större ångmotstånd mot inomhusklimatet (exempelvis gipsskivor). För att vidare studera lufttäthetens utveckling över tid har därför fältmätningar utförts.

8. FÄLTMÄTNINGAR

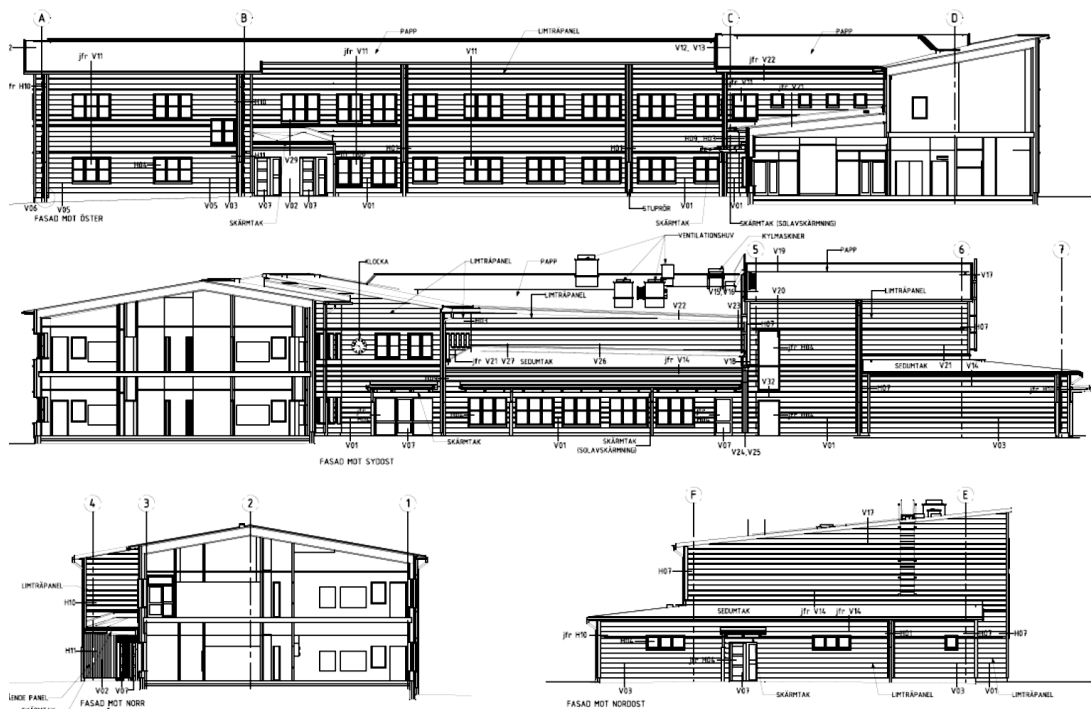
Fältmätningar med lufttäthetsprovning och luftläckagesökning har utförts på tre objekt i projektet. Två objekt är fristående byggnader i trä eller med delar av trä, en nybyggd skola och en nybyggd idrottshall (del av en skola). Tredje objektet är en lägenhet i en del av ett flerbostadshus. Denna lägenhet även var med i en tidigare studie (Wahlgren och Hansén, 2015).

8.1 OBJEKTSBESKRIVNING

Objekt 1 är en skola belägen i Göteborg som är cirka 1650 m² stort (byggd 2018) där omslutningsytan på klimatskärmen är cirka 5550 m². Objekt 2 är en idrottshall tillhörande en skola belägen i Borås (byggd 2019) där omslutningsytan på klimatskärmen är cirka 2240 m². Undersökt lägenhet med 3 rum och kök är belägen i Ytterby på våning 3 av 4 och är cirka 79 m² stor (färdig 2014) och omslutningsytan på klimatskärmen (yttervägg) är cirka 81 m².

8.1.1 OBJEKT 1, SKOLA

Objekt 1 har en isolerad betongplatta på mark och lätta plåtregelväggar med mineralullsisolering och träreglar runt fönster och dörrar. Luft- och ångspärr är en 0,2 mm polyetenfolie.



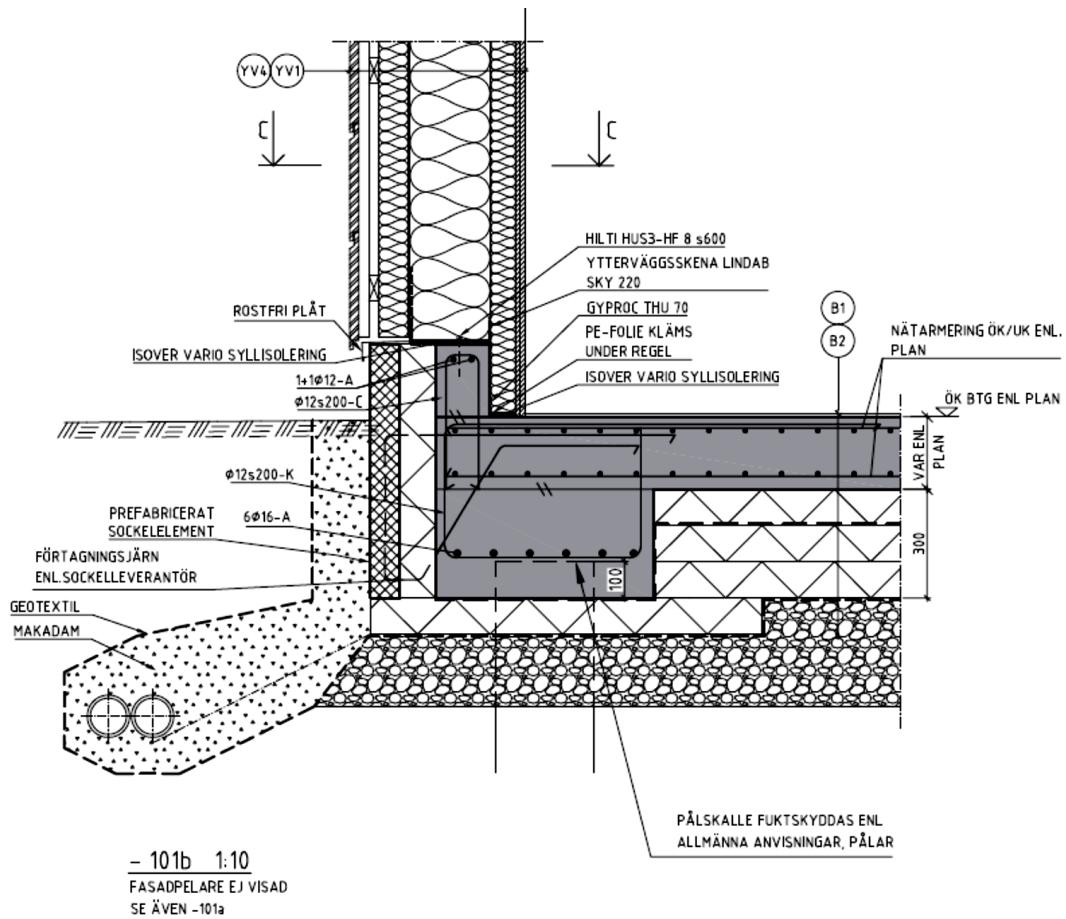
Figur 21. Fasadritningar, objekt 1.

Ytterväggarna är uppbyggda enligt följande utifrån och in: 22 mm liggande träpanel, läkt med distanshylsor, 80 mm fasadskiva, 6 mm Cembrit (vindskiva), 220 mm plåtreglar och mineralull, 0,2 mm plastfolie, 70 mm plåtreglar och mineralull och 2 stycken 12,5 mm gipsskiva. Vi har inte tagit del av på hur luft- och ångtätheten utfördes på detta objekt och men har kunnat granska en del lösningar under byggskedet se figur 22.

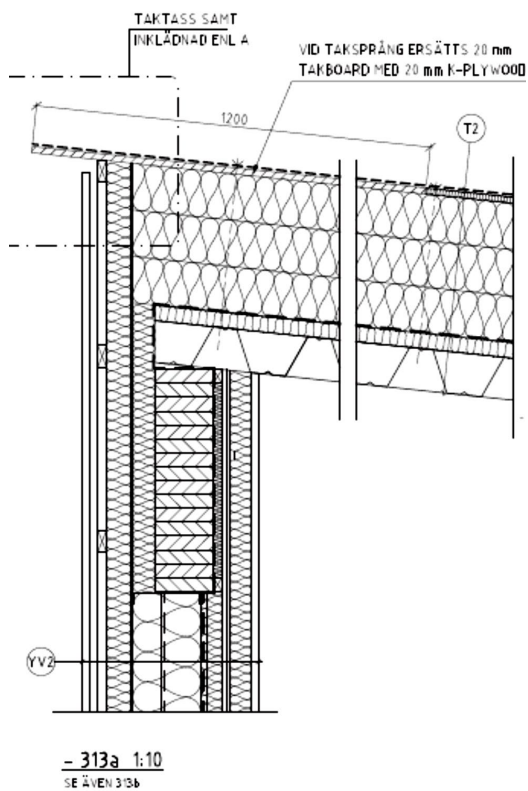


Figur 22. Exempel på anslutning mellan fönster och plastfolie samt dörröppning med tejp och fogmassa i objekt 1 (2018-04-18).

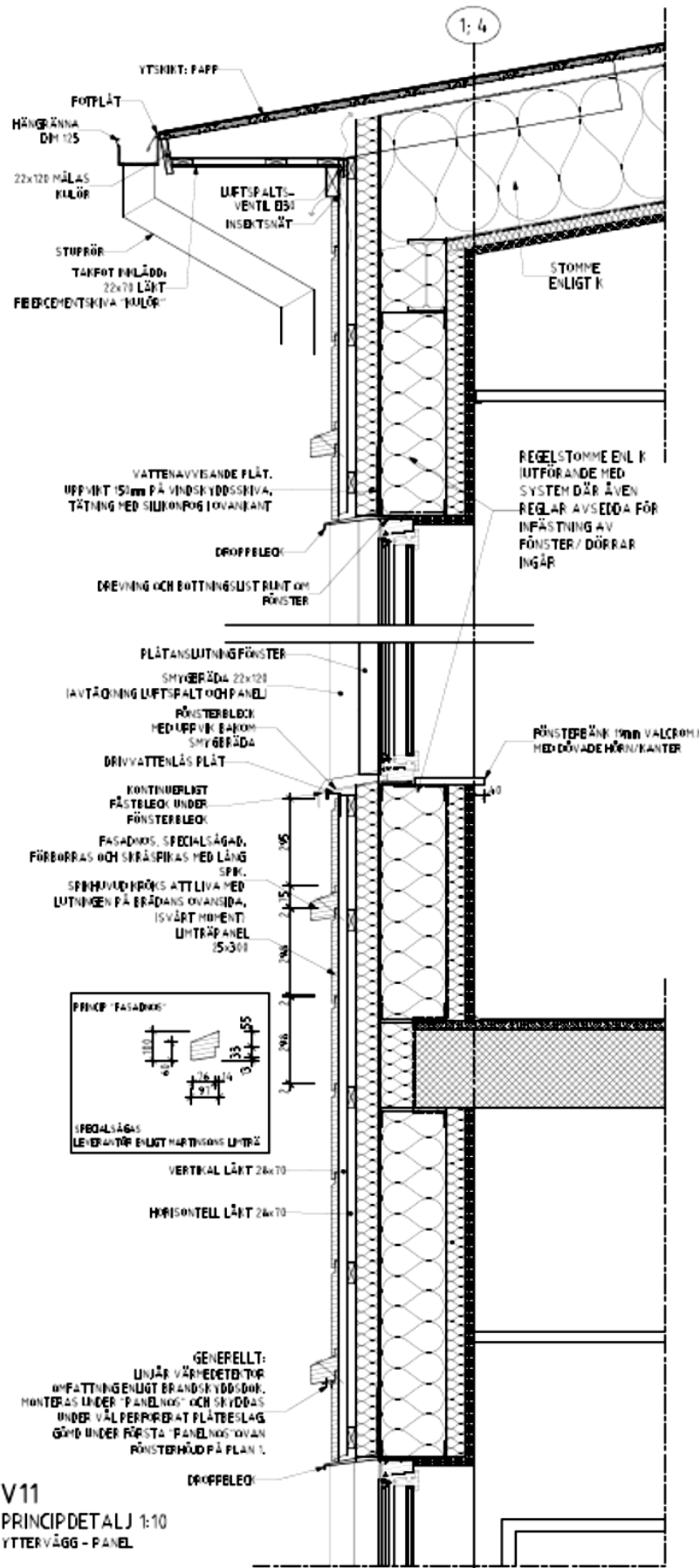
Enligt ritningsbeskrivningar har man bland annat använt en klämmande funktion ihop med tejpning för att åstadkomma en lufttät konstruktion. Exempel på konstruktionsdetaljer framgår av ritningar nedan.



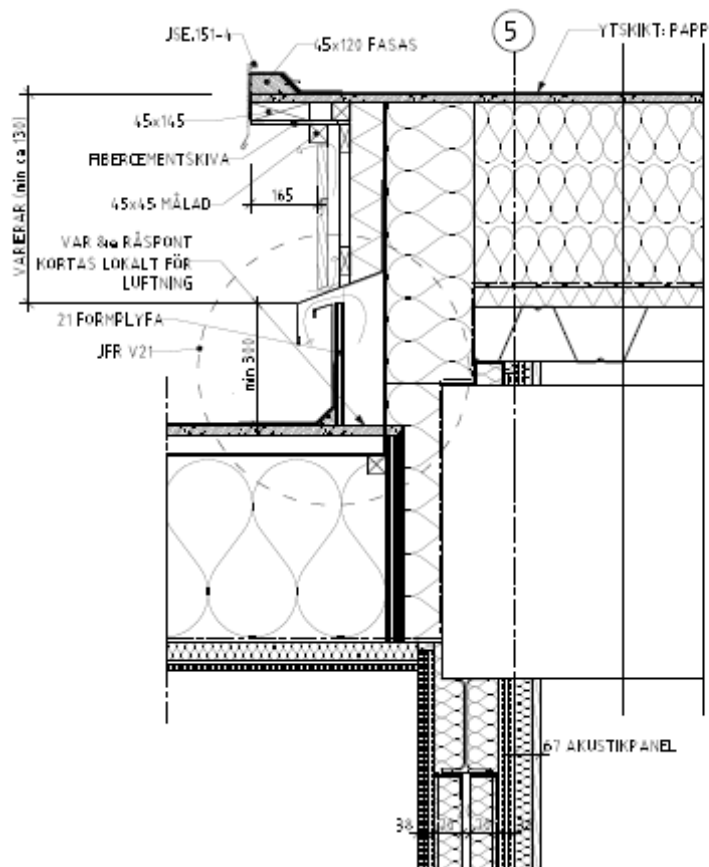
Figur 23. Detaljritning, objekt 1, anslutning platta på mark och yttervägg.



Figur 24. Detaljritning, objekt 1, anslutning yttervägg och takkonstruktion.



Figur 25. Principdetalj, objekt 1.



V15
 PRINCIPDETALJ 1:10
 LOKALT VID LIMTRÄBALK (JFR V16)
 (TEKNIKRUM / IDROTTSBALL)

Figur 26. Principdetalj, objekt 1. Möte stålpelare och limträbalk.

YTTERVÄGGSKONSTRUKTIONER

INIFRÅN OCH UT

YV1

YTTERVÄGG GENERELL

25	2x12,5 GIPSSKIVA
70	MINERALULL PAROC UNS 37Z
70	HORISONTELL YTTERVÄGGSREGEL RZ70 c450
-	ÅNGSPÄRR
220	MINERALULL PAROC UNS 37Z
220	VERTIKAL YTTERVÄGGSREGEL RY220 c450
6	CEMBRIT WINDSTOPPER
80	ISOVER FASADSKIVA 31 PLASTBRICKA+DISTANSKROPP FASADLÄKT + FASAD ENL A

Figur 27. Generell beskrivning av ytterväggskonstruktion, objekt 1.

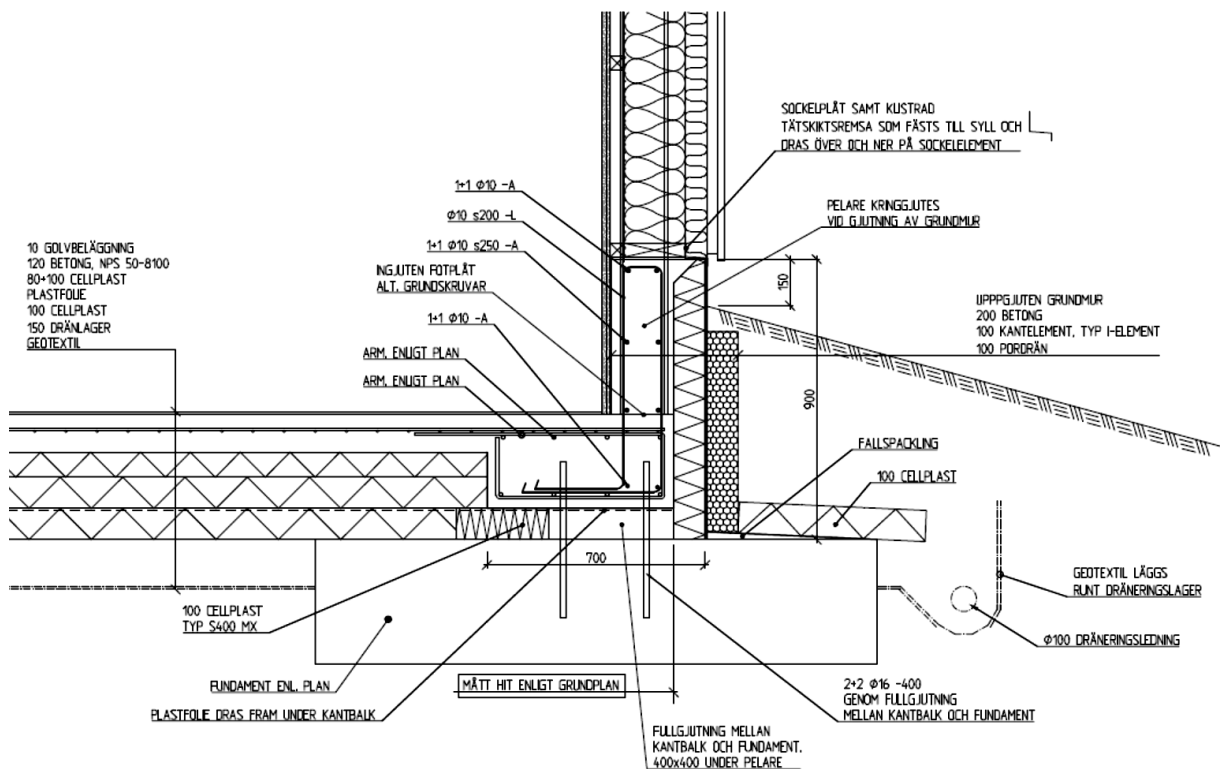
8.1.2 OBJEKT 2, IDROTTSHALL

Idrottshallen har en isolerad betongplatta på mark och lätta träregelväggar med mineralullsisolering och stålpelare. Luft- och ångspärr är en 0,2 mm polyetenfolie.



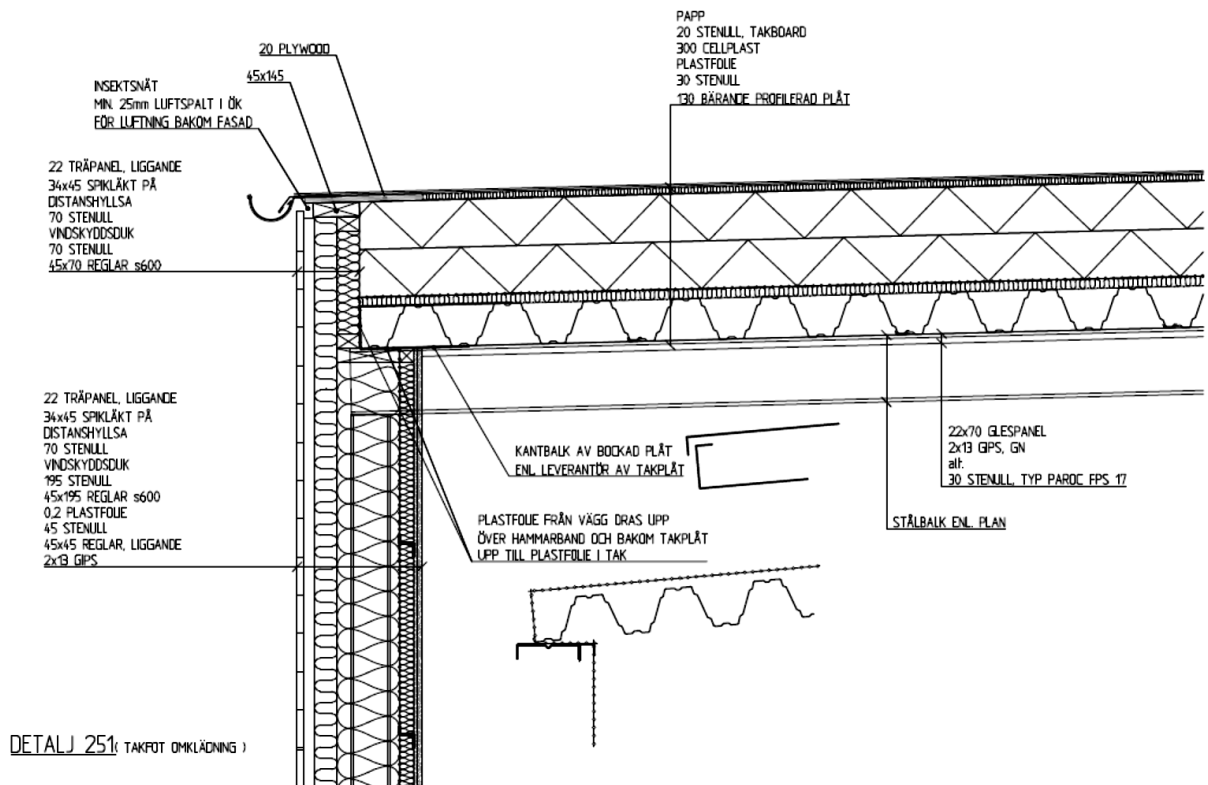
Figur 28. Fasadritningar, objekt 2.

Ytterväggarna är uppbyggda enligt följande utifrån och in: 22 mm liggande träpanel, läkt med distanshylsor, 70 mm fasadskiva, vindpapp, 195 mm träreglar och mineralull, 0,2 mm plastfolie, 45 mm träreglar och mineralull och 2 stycken 13 mm gipsskiva. Vi har i byggprocessen tagit del av hur luft- och ångtätheten utfördes på detta objekt. Man har använt sig av klämmande funktion ihop med tejpade skarvar och genomföringar. Exempel på konstruktionsdetaljer framgår av ritningar och fotografier nedan.

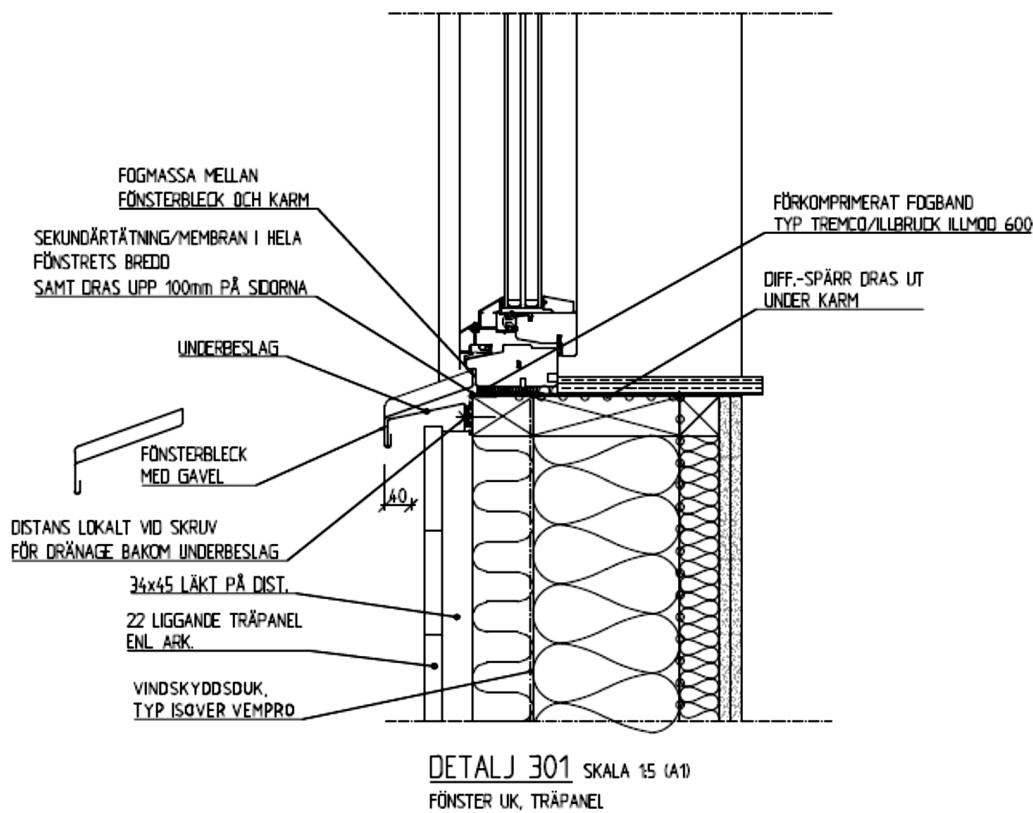


DETALJ 153 (GRUNDSULA YTTERVÄGG MED MOTFYLLD SÖCKEL)

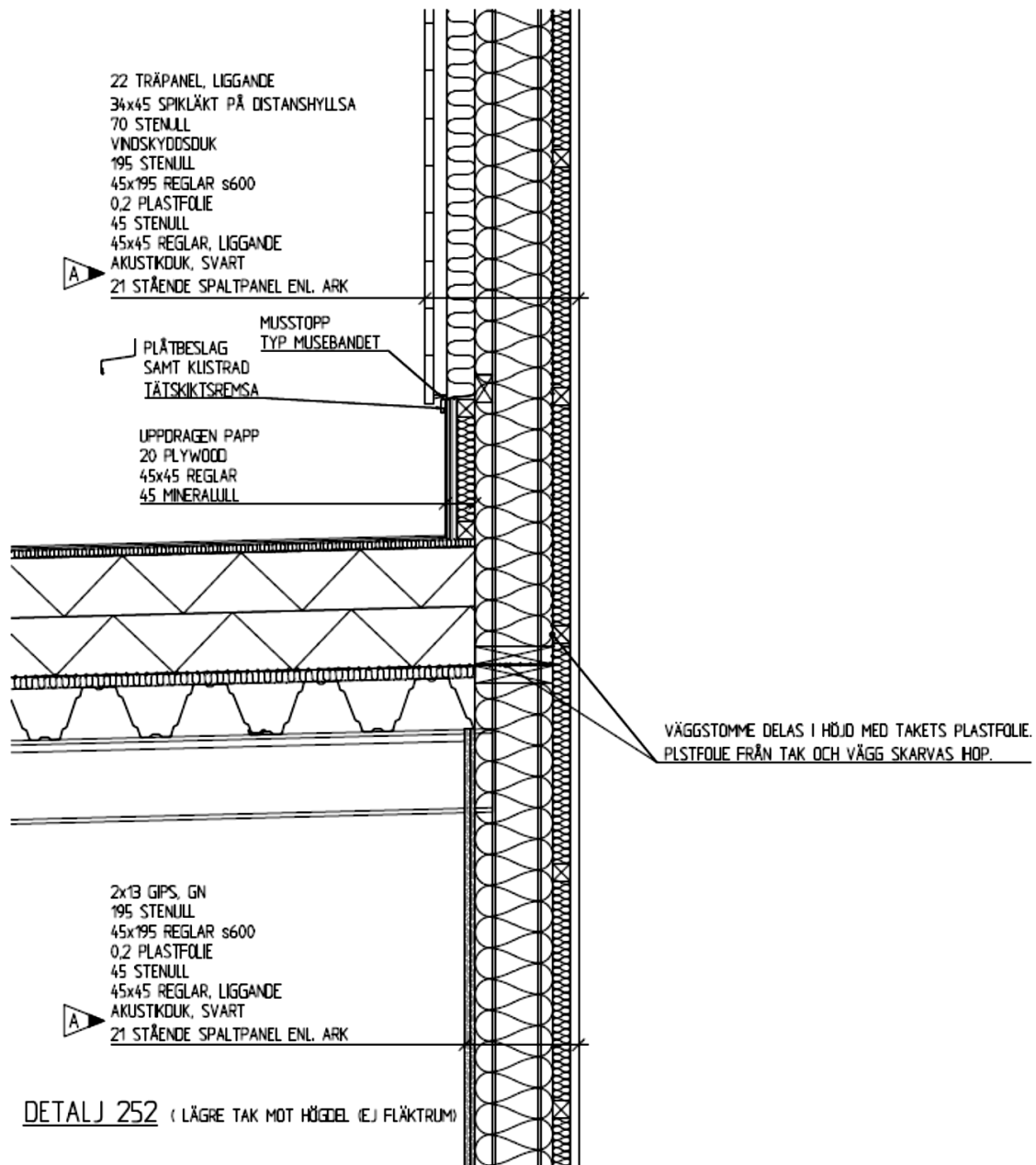
Figur 29. Detaljritning, objekt 2, anslutning platta på mark och yttervägg.



Figur 30. Detaljritning, objekt 2, anslutning yttervägg och takkonstruktion.



Figur 31. Detaljritning, objekt 2, fönsteranslutning.



Figur 32. Detaljritning, objekt 2. Anslutning lägre takdel mot högre takdel.



Figur 33. Stomme under montage, objekt 2.



Figur 34. Byggnation av objekt 2.



Figur 35. Plastfolie synligt vid montage, objekt 2, plastfolie kläms och tejpas.



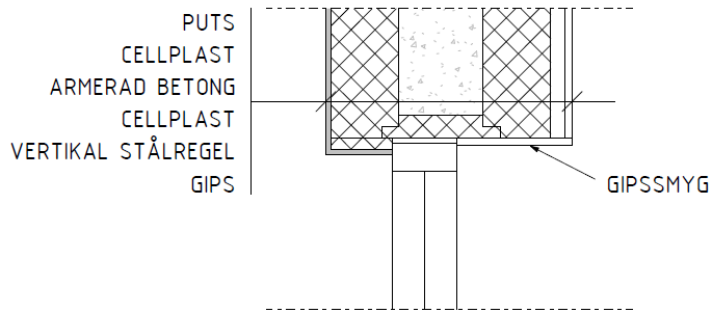
Figur 36. Plastfolie synligt vid montage, ytterligare exempel objekt 2, plastfolie kläms och tejpas.

8.1.3 OBJEKT 3, LÄGENHET

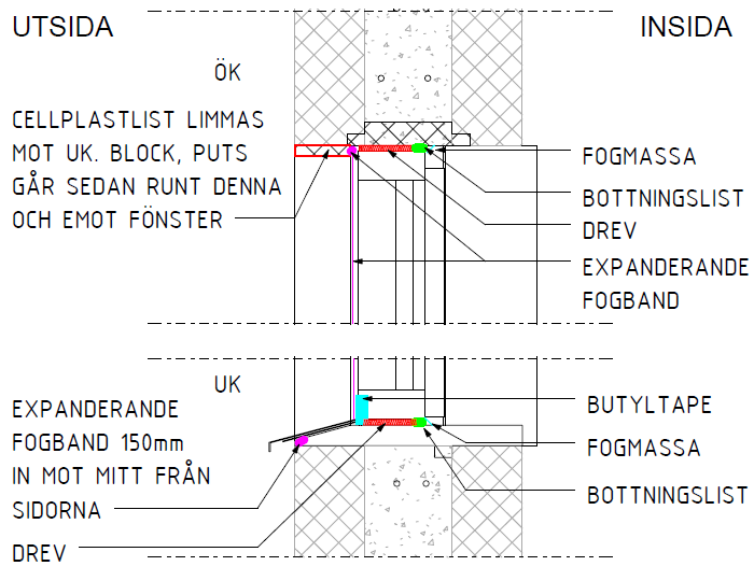
Objekt 3 är en lägenhet i ett flerbostadshus i Ytterby, färdigt 2014. Mätningar på detta objekt gjordes första gången i mars 2014 och finns beskrivet i Wahlgren och Hansén (2015). Då fann man att lufttäteten försämrades från 0,35 till 0,37 l/sm² från mars till december, varför det var intressant att följa upp lägenheten igen.

Flerbostadshuset är uppbyggt med tung stomme av betong. Ytterväggarna är uppbyggda enligt följande utifrån och in: puts, cellplast, armerad betong, cellplast, stålregelverk och innergips.

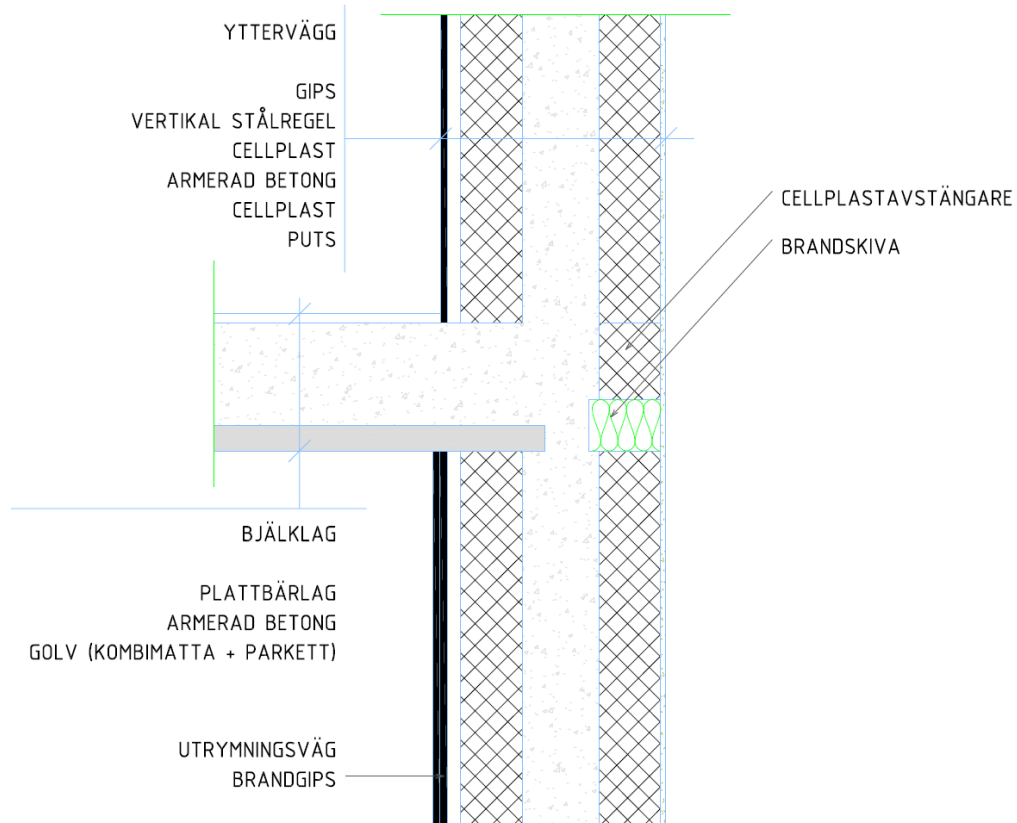
Lufttäteten för ytterväggar blir i betongen samt i olika anslutningsdetaljer som till exempel fönsterinfästningar vilket redovisas i exempel nedan. Vi har inte här haft möjlighet att undersöka konstruktionsdetaljer på plats eftersom det innebär förstörande provning.



Figur 37. Konstruktionsritning av yttervägg, objekt 3.



Figur 38. Anslutning av fönster i yttervägg, objekt 3. Lufttätningen åstadkoms bland annat med expanderande fogband, butyltape, bottningslist och fogmassa.



Figur 39. Anslutning mellanbjälklag i yttervägg, objekt 2.

8.2 LUFTTÄTHETSPROVNING OCH LUFTLÄCKAGESÖKNING

De tre byggnaderna har undersökts med hjälp av lufttäthetsprovning och luftläckagesökning. Nedan följer metodbeskrivning samt mätresultat från de tre objekten i form av lufttäthet/luftpermeabilitet och luftflöden, samt omgivande klimat.

8.2.1 METODBESKRIVNING

Den vanligaste metoden att mäta lufttäthet i en byggnad presenteras i den europeiska normen SS-EN 9972:2015. Metoden innebär att man skapar en tryckskillnad över byggnadens klimatskärm och mäter luftflödet vid ett antal olika trycknivåer.

Det praktiska förfarandet är som följer. En fläkt (s.k. Blower door) monteras i en öppning till utrymmet som skall mätas, ventilationsdon och andra öppningar som inte ingår i klimatskärmen tätas och tryckmätare anbringas för att mäta tryckskillnaden mellan ute och inne. Med hjälp av fläkten skapas ett undertryck och även ett övertryck i byggnaden. För varje trycknivå mäts vid fläkten vilket luftflöde som behövs för att skapa respektive tryckskillnad. I SS-EN 9972:2015 finns krav på maximal vindbelastning och maximal temperaturskillnad mellan inne och ute vid mättillfället eftersom detta påverkar den uppmätta lufttätheten.

I Sverige uttrycks en byggnads lufttäthet som specifikt luftflöde (l/m^2s) d v s som luftflöde (liter) per kvadratmeter klimatskärm vid en tryckskillnad på 50 Pa. Exempelvis var det tidigare kravet i BBR $0,8 l/m^2s$ och maximalt luftläckage för ett passivhus är $0,3 l/m^2s$. Många byggföretag satsar på ett maximalt luftläckage på $0,6 l/m^2s$.

Provningen av de tre objektens klimatskärm utfördes således enligt europastandard SS-EN 9972:2015. Öppningar avsedda för ventilation och avlopp mm. tätades alternativt vattenfylldes på samma sätt och av samma person vid varje enskild provning. Samhörande värden på tryckskillnad mellan inne och ute samt över mätrör för luftflöde fastställdes för både över- och undertryck vid varje enskild mätning och objekt.

Övertryck = luftrycket i byggnaden är större än atmosfärens tryck.

Undertryck = luftrycket i byggnaden är mindre än atmosfärens tryck.

För mätning av byggnadernas lufttäthet användes Minneapolis fläktutrustning BlowerDoor med tillhörande mikromanometer för mätning av tryckskillnad mellan inne och ute samt över mätrör till fläkt. Utrustningen var alltid densamma för varje mätning i ett objekt. Det vill säga att mätutrustningen inte blandades ihop mellan objekten. I programvara för utrustningen kompenseras mätningen för nolltryck, inom- och utomhustemperatur samt atmosfärstryck. Mätning av temperatur inne och ute samt luftryck utfördes med instrument från Testo.

Spårning av luftläckage utfördes vid ca 50 Pa undertryck inne i förhållande till uteluften, minst en gång i varje objekt. Undertrycket åstadkoms med hjälp av fläkten för mätning av byggnadens lufttäthet. Luftläckagen spårades med hjälp av värmekamera från Flir samt lufthastighetsgivare från Comfort-Control.

8.2.2. MÄTRESULTAT

Mätresultat objekt 1, skola

Första täthetsmätningen i objekt 1, utfördes 2017-11-30, av annan person/företag i byggskedet. Resultatet har vi sedan använt och utgått ifrån till mätningar utförda i projektet (byggnaden

tätades bland annat på samma sätt). Exempel på tätning av dörr ses i figur 40. Övriga täthetsmätningar utfördes 2018-06-04, 2018-06-25, 2018-08-07, 2019-02-11 (inklusive läckagesökning).



Figur 40. Exempel på temporär tätning av dörr, 2018-04-08.

Tabell 5. Lufttemperaturer under mätningar i objekt 1.

Datum	Utomhus (°C)	Inomhus (°C)
2017-11-30	0,0	20,0
2018-06-04	24,7	24,4
2018-06-25	21,2	20,8
2018-08-07	27,0	23,7
2019-02-11	3,7	20,5

Tabell 6. Uppmätt lufttäthet i objekt 1.

Datum		Omslutningsyta m ²	Luftflöde vid 50 Pa undertryck l/s	Luftflöde vid 50 Pa övertryck l/s	Luftflöde vid ± 50 Pa l/s	Lufttäthet vid ± 50 Pa l/sm ²
1	2017-11-30*	5550	1128	1171	1150	0,21
2	2018-06-04		1264	1221	1241	0,22
3	2018-06-25		1229	1270	1250	0,23
4	2018-08-07		1167	1149	1158	0,21
5	2019-02-11		1252	1472	1362	0,25

* Utfört av annan person/företag.

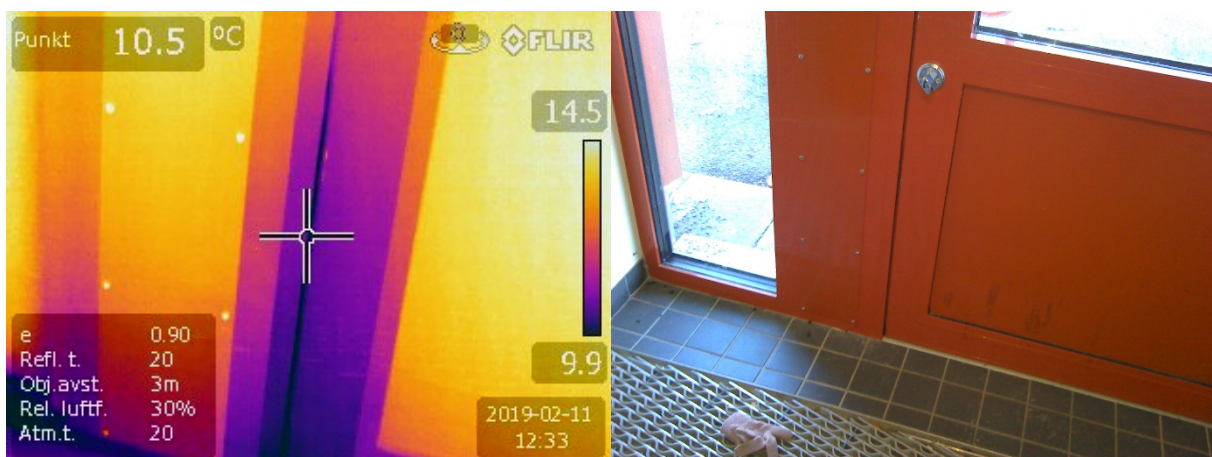
Jämför vi mätningarna har luftflödet ökat med 212 l/s vid ± 50 Pa vid mätning fem jämfört med mätning ett. Lufttätheten har försämrats med 0,04 l/sm² vid ± 50 Pa vid mätning fem jämfört med mätning ett. Vid mätning fem noterades bland annat att en viss brist med att dörrstängningsfunktionen påverkades negativt vid mätning av övertryck. Troligtvis har ett slitage uppstått från perioden augusti 2018 till februari 2019. Emellertid åtgärdades bristen vid

mätningen i februari 2019. Luftläckaget vid den sista mätningen (i februari) är även 0,04 l/sm² (20%) högre än näst senaste mätningen (april året innan). Det kan tyda på att lufttäteten försämras vid kallare klimat efter en tid.

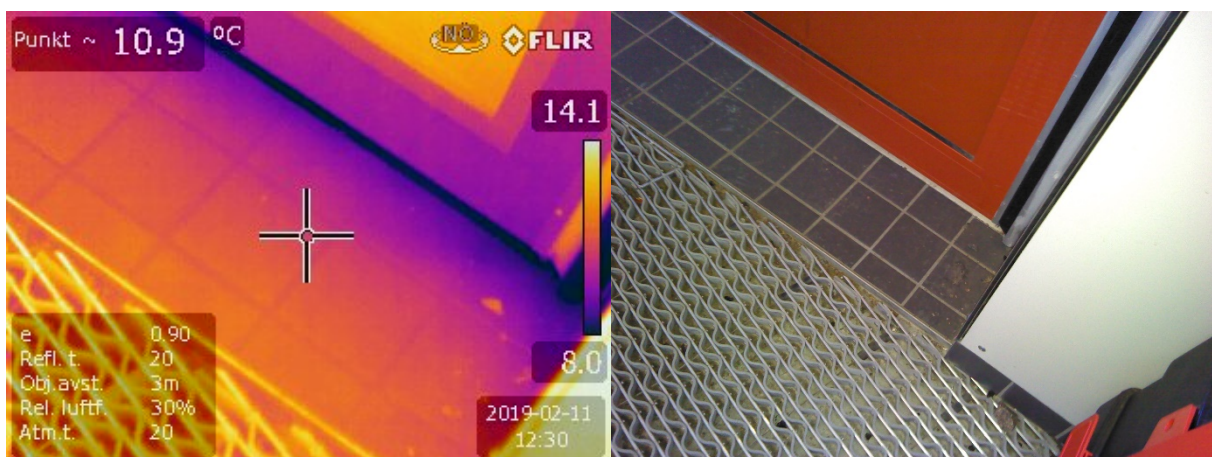
Sommaren 2018 var ovanlig varm i maj, juni och juli månad med temperaturer långvarigt över 25°C i många veckor med endast lite regn. Först ett par veckor in i augusti 2018 föll regn och temperaturer återgick mot de mer normala för årstiden. Det är möjligt att mätningen i augusti 2018 har ett något lägre läckagevärde pga de höga temperaturerna vid mättillfället (T_{inne}=23,7°C, T_{ute}=27,0°C). Detta kan ha medfört att material har expanderat och till viss del tätat.

Några av de större läckagen som vi noterade finns vid entrédörrar (stål) och ståldörrar för nödutgång både mellan dörrblad och karm samt vid dörrhörnerna. Lufttätetbristen med dörrar av stål är enligt vår erfarenhet vanligt förekommande då det ställer stora krav på injusteringen i montaget. Lufttättheter noterades även i takanslutning där det bland annat finns ett möte mellan limträ och Trp-plåt. Vidare noterades generella lufttättheter vid genomföringar så som eldosor men även vid fönsteranslutningar och persiennhål. Noterbart är att det finns många persiennhål för varje fönsterenhet. Den här lufttätetsbristen är enligt vår erfarenhet vanligt förekommande då det är en genomföring i konstruktionen men sällan eller aldrig lufttätad på ett bra sätt.

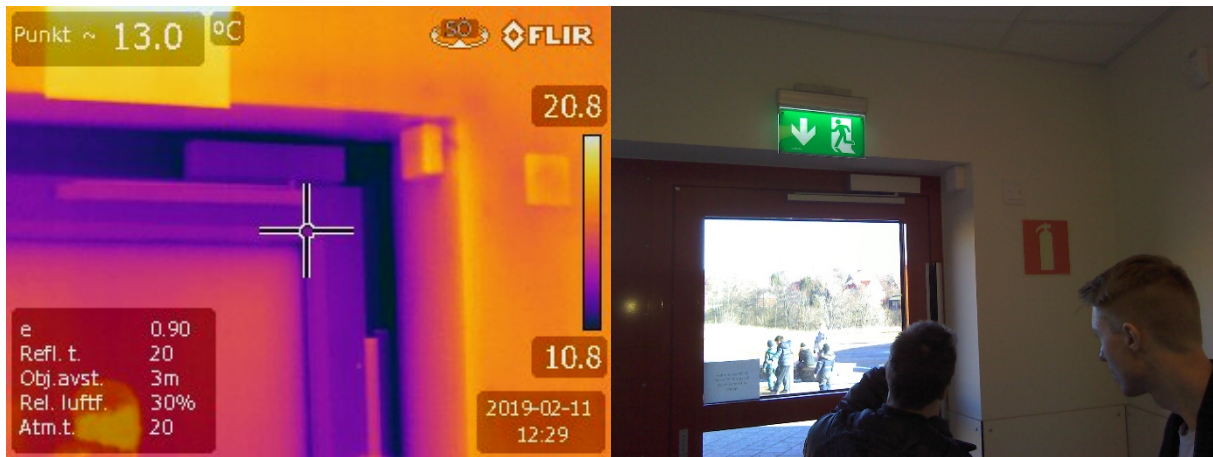
Termogram och bilder från mätning februari 2019 redovisas nedan.



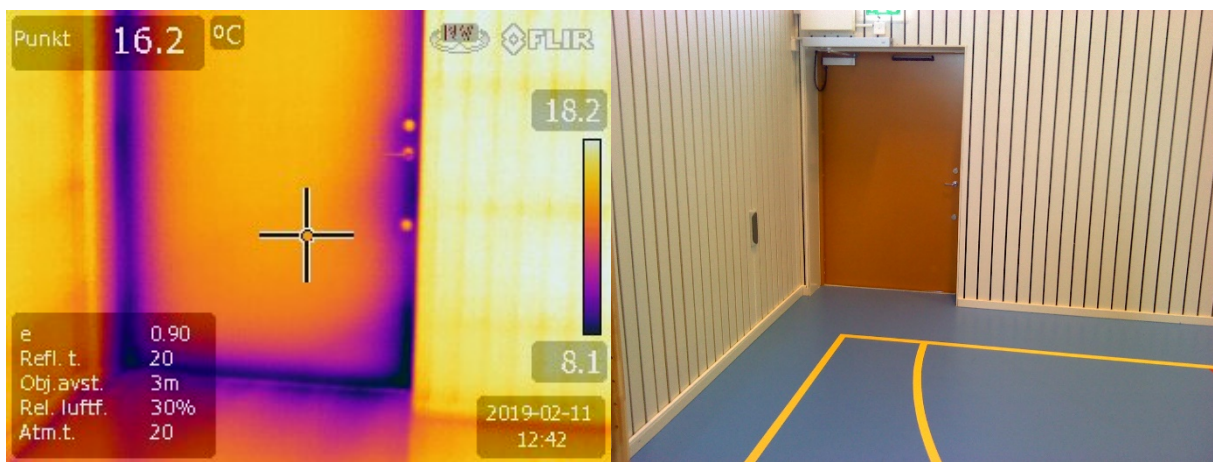
Figur 41. Dörrblad entrédörr, objekt 1, termogram och foto.



Figur 42. Hörn entrédörr, objekt 1, termogram och foto.



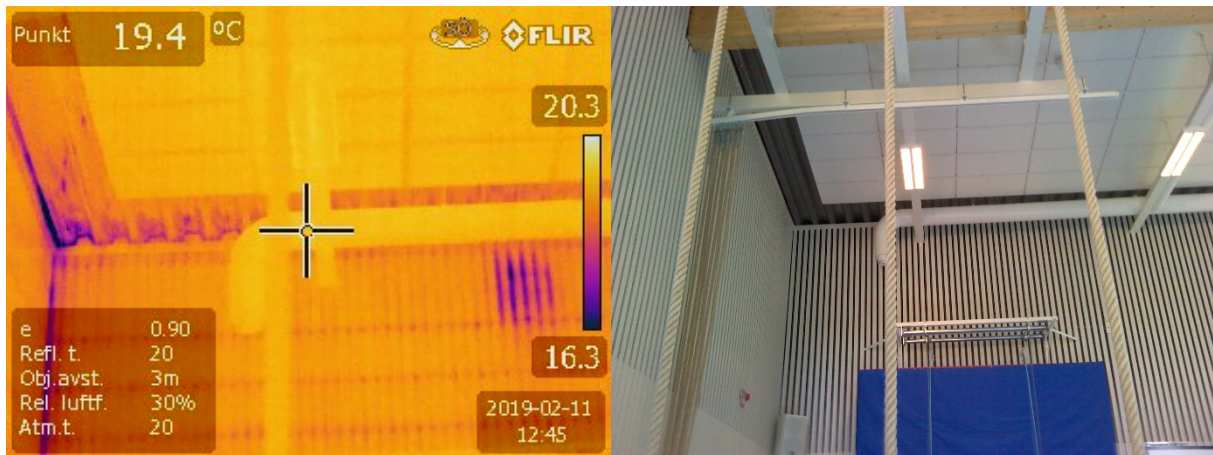
Figur 43. Övre hörn i entrédörr, objekt 1, termogram och foto.



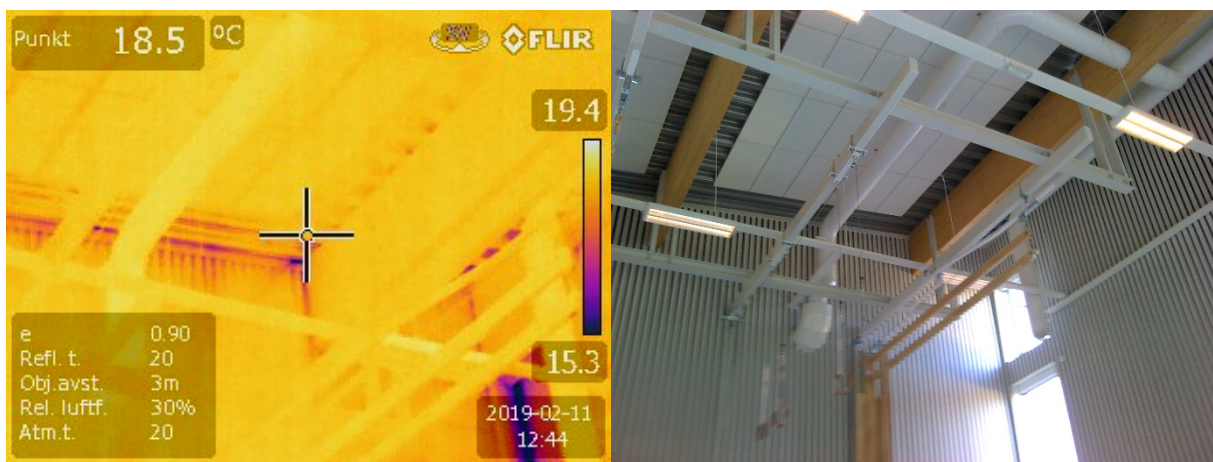
Figur 44. Ståldörr nödutgång, objekt 1, termogram och foto.



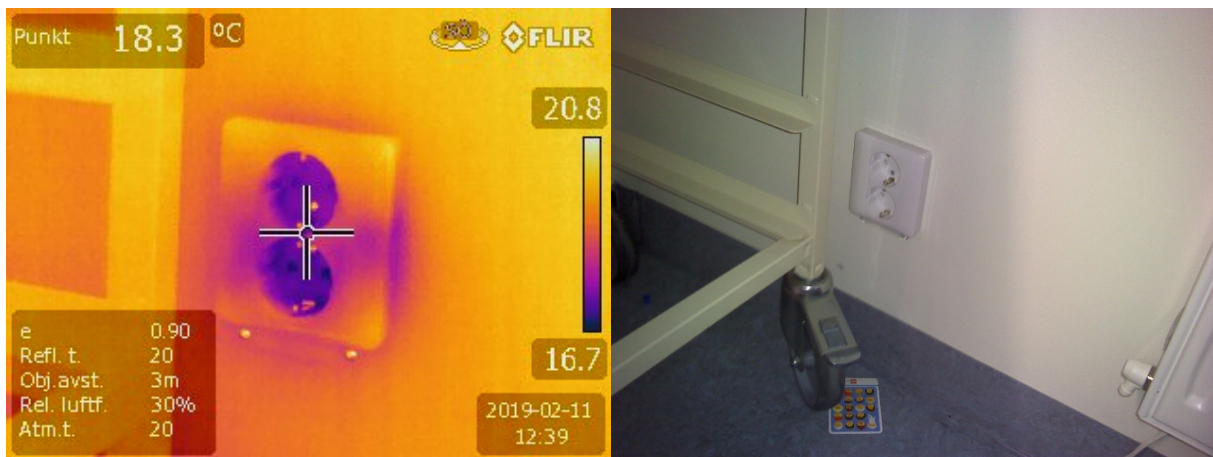
Figur 45. Övre del ståldörr, objekt 1, termogram och foto.



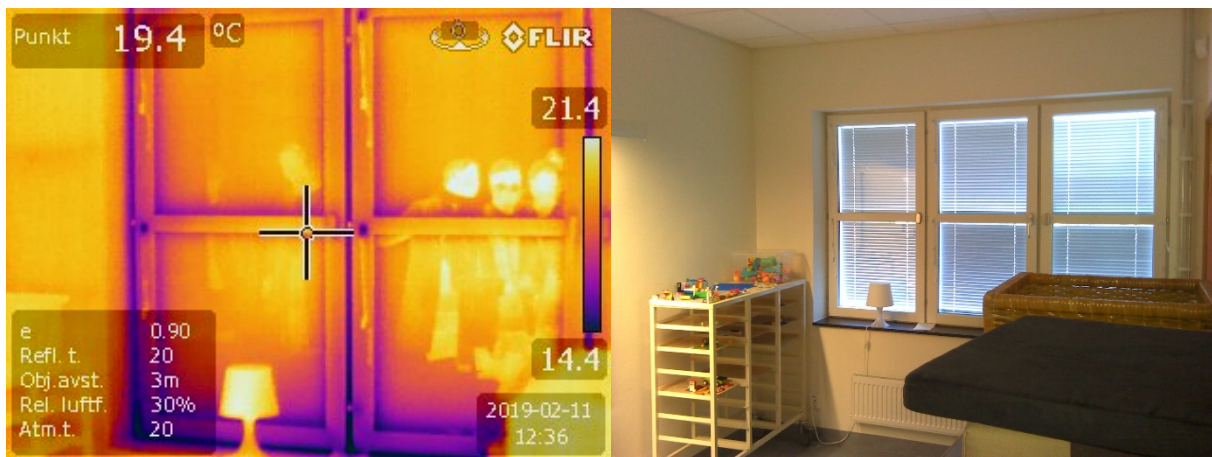
Figur 46. Takanslutning med limträ och Trp-plåt, objekt 1, termogram och foto.



Figur 47. Takanslutning med limträ och Trp-plåt, objekt 1, termogram och foto.



Figur 48. Eldosa, objekt 1, termogram och foto.



Figur 49. Fönsteranslutning samt persiennhåll, objekt 1, termogram och foto.

Mätresultat objekt 2, idrottshall

Första täthetsmätningen, inklusive läckagesökning, utfördes 2019-10-02 (ej driftsatt byggnad), andra täthetsmätningen utfördes 2020-02-14, inklusive läckagesökning, tredje täthetsmätningen utfördes 2020-05-22.

Tabell 7. Lufttemperaturer under mätningar i objekt 2.

Datum	Utomhus °C	Inomhus °C
2019-10-02	8,7	18,5
2020-02-14	3,0	20,8
2020-05-22	14,4	21,2

Tabell 8. Uppmätt lufttäthet i objekt 2.

Datum		Omslutningsyta m ²	Luftflöde vid 50 Pa undertryck l/s	Luftflöde vid 50 Pa övertryck l/s	Luftflöde vid ± 50 Pa l/s	Lufttäthet vid ± 50 Pa l/sm ²
1	2019-10-02	2240	398	434	416	0,19
2	2020-02-14		407	435	421	0,19
3	2020-05-22		401	415	408	0,18

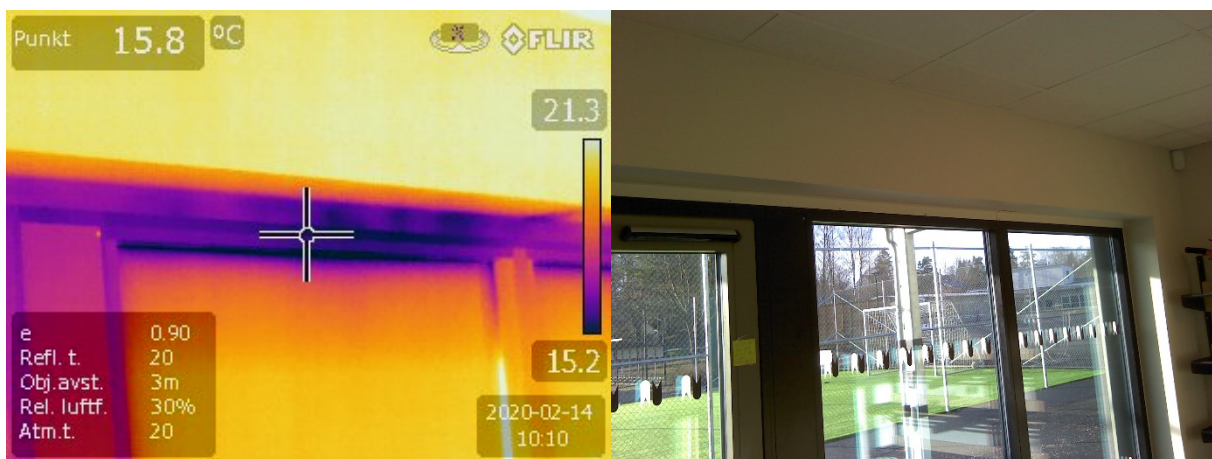
Sett till uppmätta flöden är resultatet att det totala luftläckageflödet vid ± 50 Pa har minskat från 421 l/s 2020-02-14 till 408 l/s 2020-05-22, vilket är minskning med 3,1 %. Med hänsyn till de eventuella skillnader som nämnts ovan, som förekom mellan mätningarna, och med hänsyn till övrig mätosäkerhet går det inte att säga att det egentligen är någon verklig skillnad i resultat mellan mätning 2020-02-14 och 2020-05-22. Vår subjektiva uppfattning är dock att resultatet är något bättre 2020-05-22.

Några av de större läckagen som vi har noterat är entrédörrar (stål) och ståldörrar för nödutgång både mellan dörrblad och karm samt vid dörrhörnen. Lufttäthetsbristen med dörrar av stål är enligt vår erfarenhet vanligt förekommande då det ställer stora krav på injusteringen i montaget. Generella lufttätheter noterades i takanslutning där det finns ett möte med Trp-plåt.

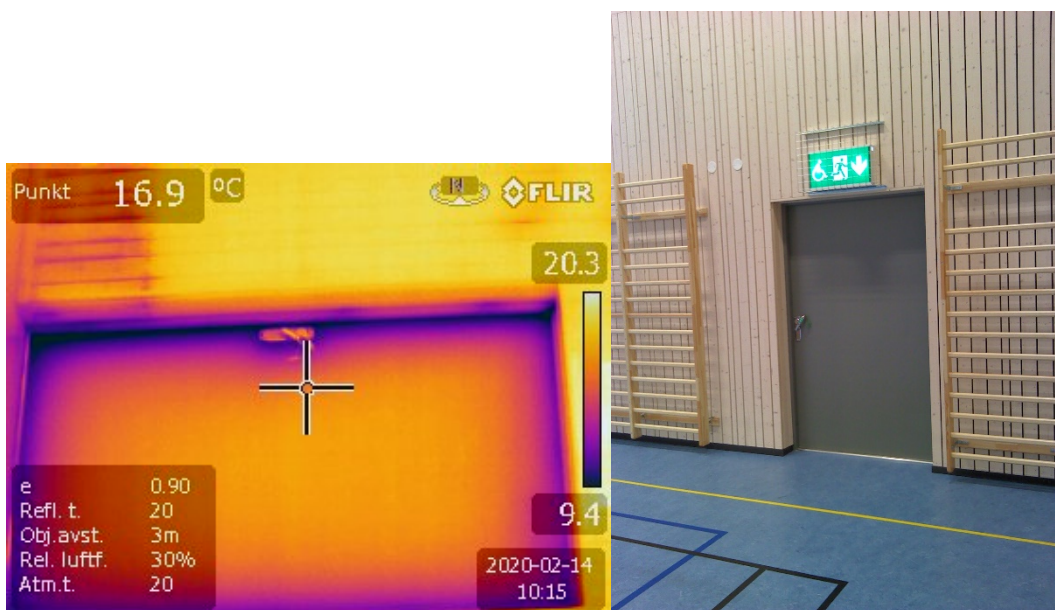
Ytterligare noterades lufttätheter intill stålpelare, avvaxling i ytterväggskonstruktion och yttervägghörn. Termogram och bilder från mätning februari 2020 redovisas nedan.



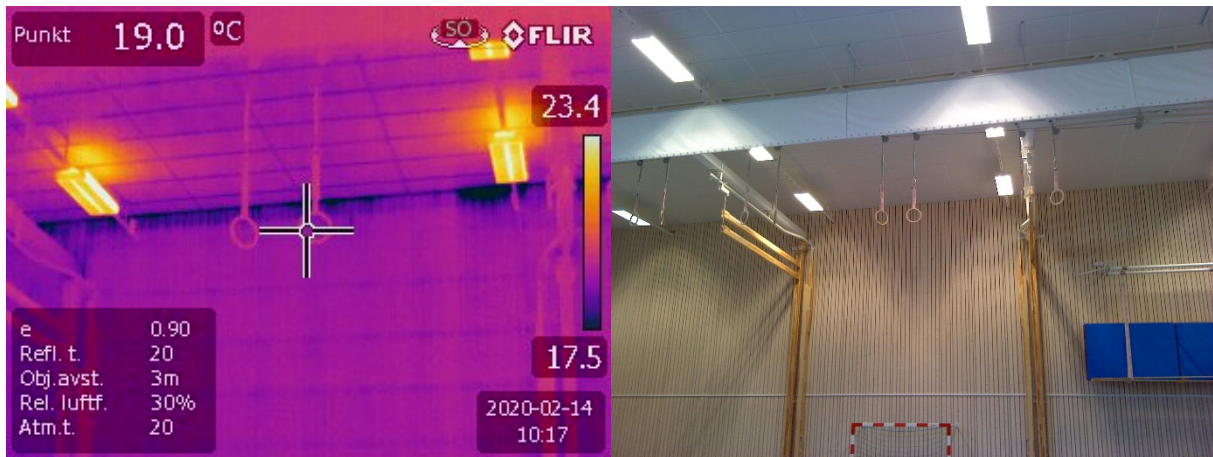
Figur 50. Dörrblad entrédörr, objekt 2, termogram och foto.



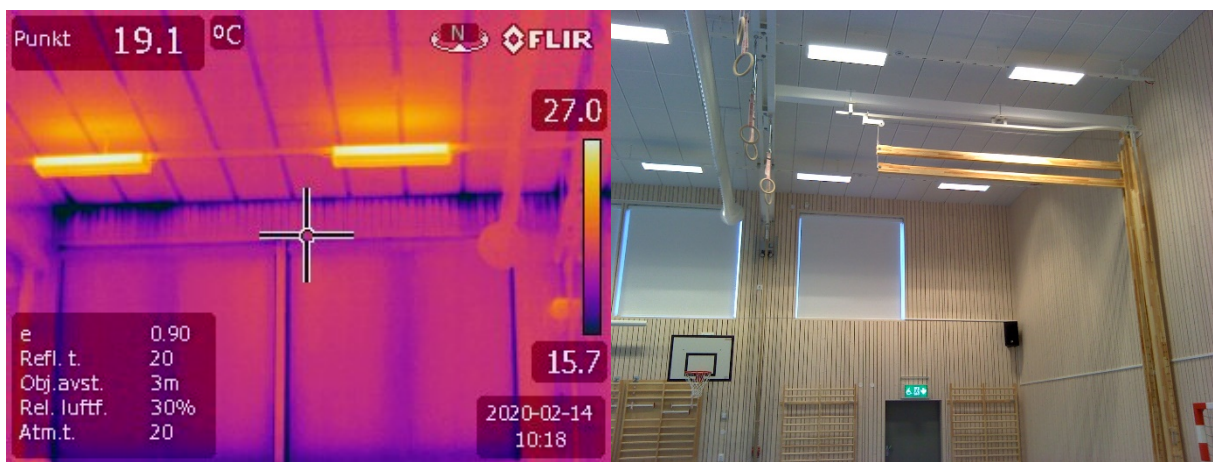
Figur 51. Övre del av entrédörr, objekt 2, termogram och foto.



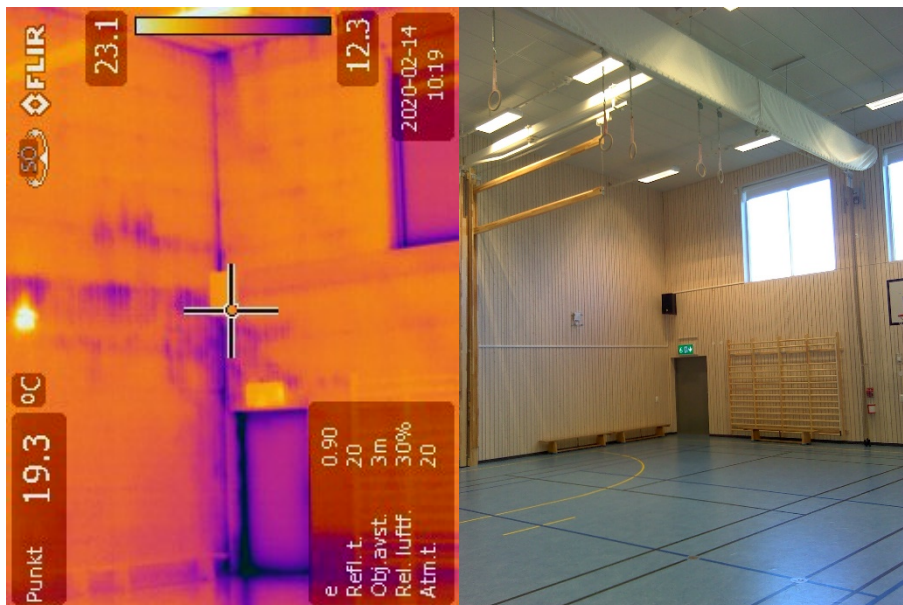
Figur 52. Ståldörr nödutgång, objekt 2, termogram och foto.



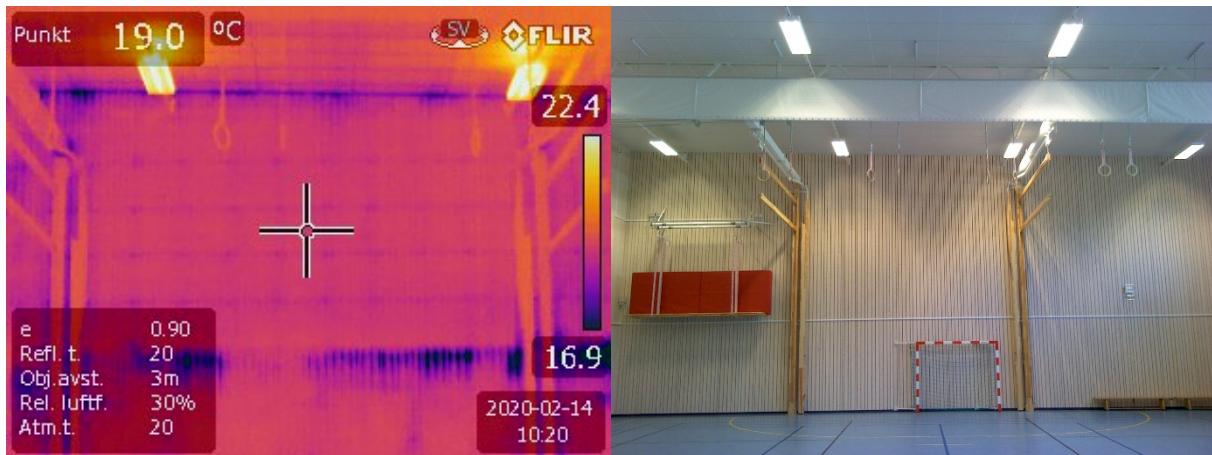
Figur 53. Takanslutning med Trp-plåt, objekt 2, termogram och foto.



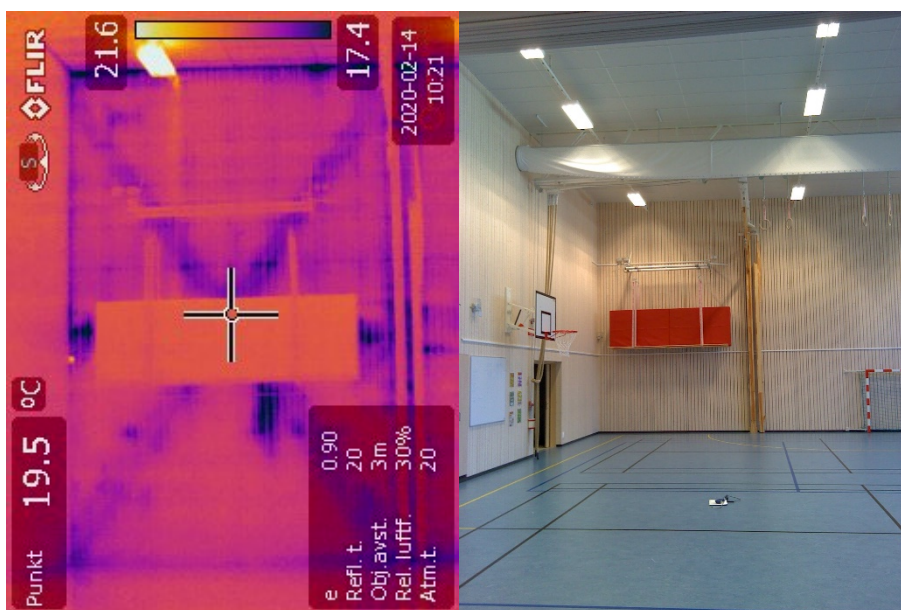
Figur 54. Takanslutning med Trp-plåt, objekt 2, termogram och foto.



Figur 55. Vägghörn, objekt 2, termogram och foto.



Figur 56. Yttervägg, objekt 2, termogram och foto.



Figur 57. Yttervägg där stålfackverket syns, objekt 2, termogram och foto.

Mätresultat objekt 3, Lägenhet

Som vi tidigare har redovisat utfördes första täthetsmätningen, inklusive läckagesökning, 2014-03-25. Nya täthetsmätningar utfördes cirka fem år senare 2018-06-08 och 2019-04-11 (inklusive läckagesökning).

Tabell 9. Lufttemperaturer under mätningar i objekt 3.

Datum	Utomhus °C	Inomhus °C
2014-03-25	10,5	20,1
2014-05-13	13,1	20,5
2014-07-02	20,9	22,6
2014-08-19	14,1	23,3
2014-10-14	9,0	19,8
2014-12-17	2,0	20,5
2018-06-08	22,5	24,7
2019-04-11	2,4	20,4

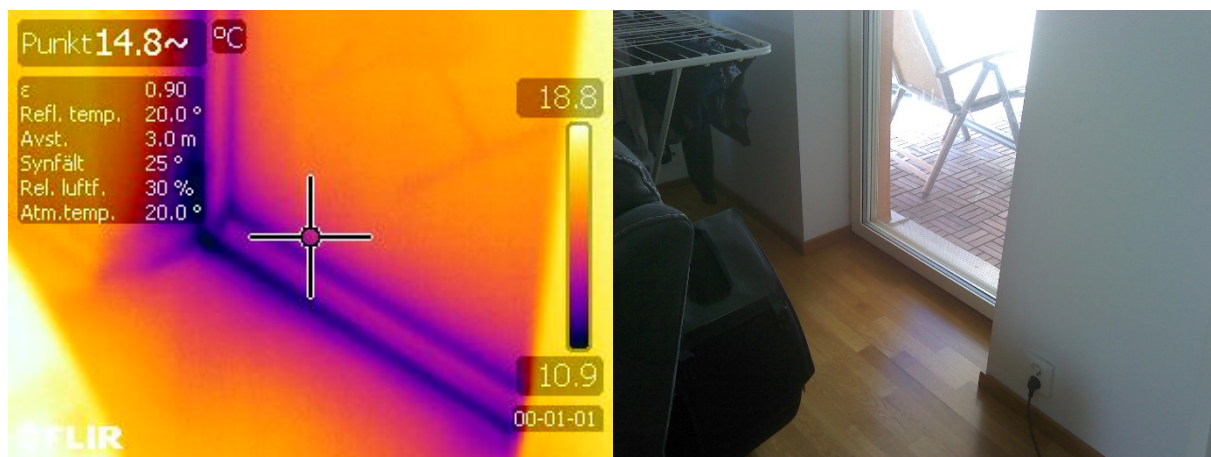
Tabell 10. Uppmätt lufttäthet i objekt 3.

Datum		Omslutningsyta m ²	Luftflöde vid 50 Pa undertryck l/s	Luftflöde vid 50 Pa övertryck l/s	Luftflöde vid ± 50 Pa l/s	Lufttäthet vid ± 50 Pa l/sm ²
1	2014-03-25	81	28	29	28	0,35
2	2014-05-13		28	29	29	0,35
3	2014-07-02		28	28	28	0,35
4	2014-08-19		28	31	29	0,36
5	2014-10-14		29	30	29	0,36
6	2014-12-17		29	31	30	0,37
7	2018-06-08		32	31	32	0,39
8	2019-04-11		35	36	35	0,44

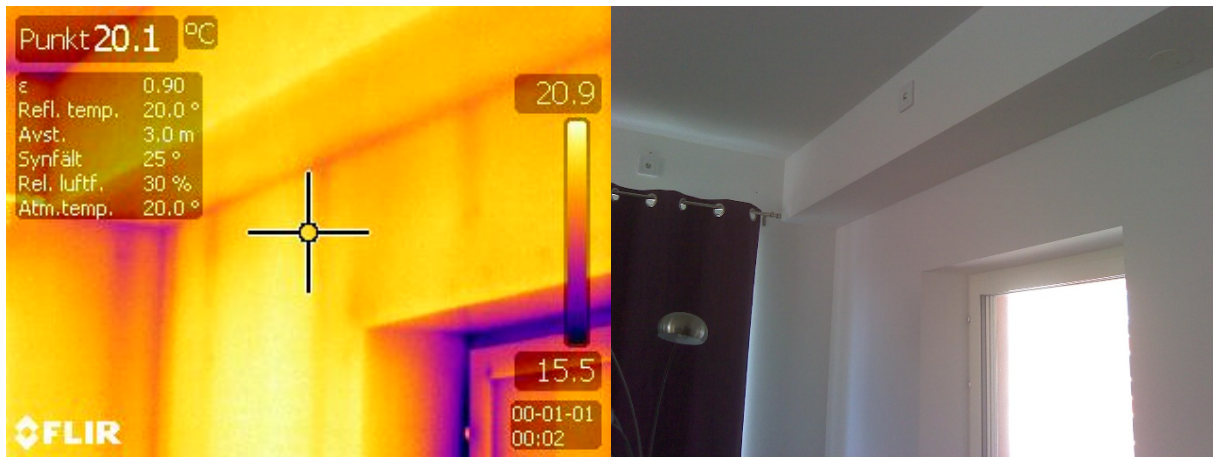
Jämför vi mätningarna så ser vi att luftflödet eller lufttätheten har försämrats sedan mätningarna startade i mars månad 2014 med en total ökning på 26%. Den senaste mätningen i april visar tydligt på försämrad lufttäthet jämfört med den näst senaste mätningen, i juni året innan.

Några av de större läckagen som vi har noterat är anslutning mellan fönsterkarm och fönsterbåge, golvvinkel (anslutning mellanbjälklag i yttervägg samt internläckage) samt rörschakt i badrummet (internläckage). Vidare noterades flera lufttätheter vid golvvinkel och vid fönster mellan båge och karm.

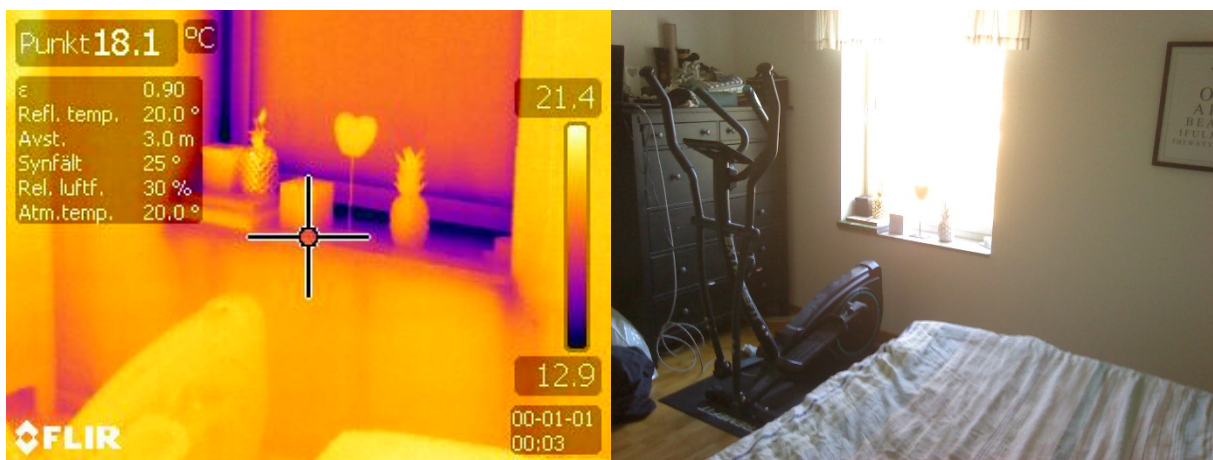
Vi har tidigare noterat att vid mätning fem i oktober 2014 har fogmassa vid insida fönsterfoder börjat spricka upp, vilket har medfört lokala luftläckage. Detta noterades troligtvis ha försämrats vid de två senaste mätningarna, fem år senare, då vi kunde se att spricklängderna i fogen troligtvis har ökat något sedan mätning fem. Termogram och bilder från mätning april 2019 redovisas nedan.



Figur 58. Nedre del av balkongdörr, objekt 3, termogram och foto.



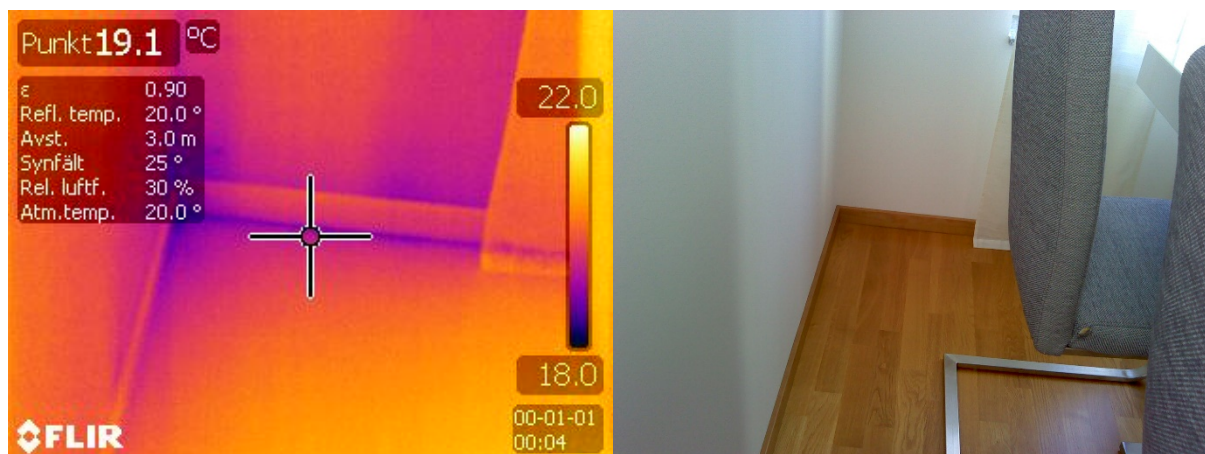
Figur 59. Övre del av balkongdörr, objekt 3, termogram och foto.



Figur 60. Fönsteranslutning, objekt 3, termogram och foto.



Figur 61. Golvvinkel, objekt 3, termogram och foto.



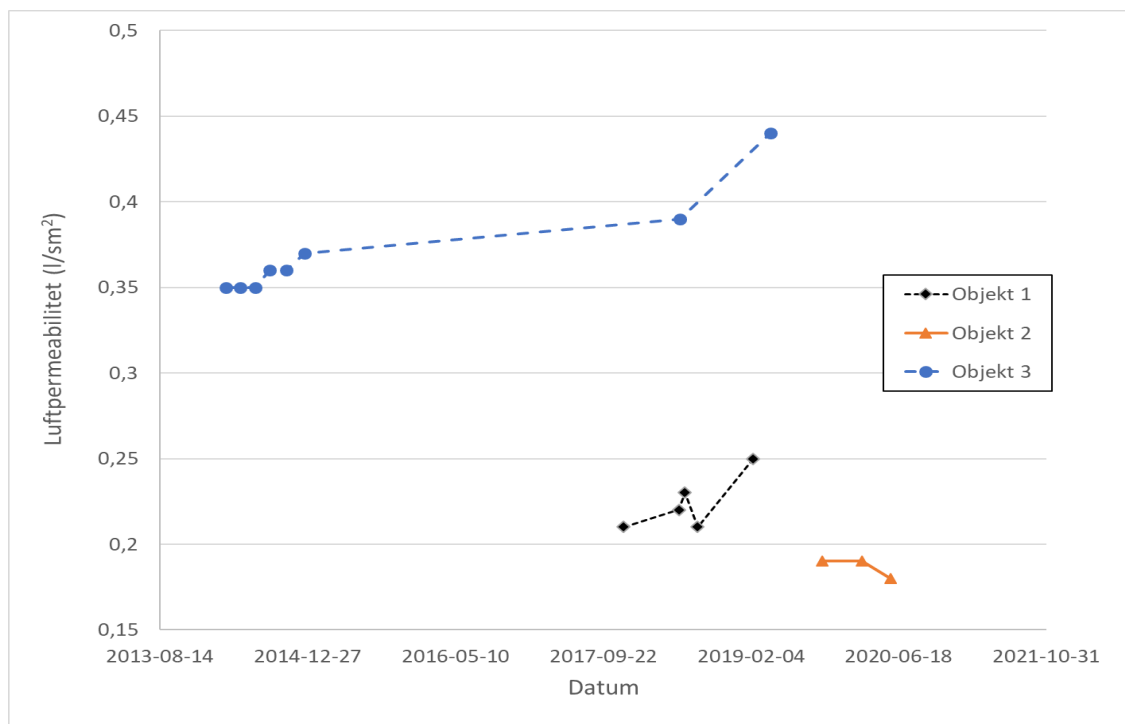
Figur 62. Golvinkel och ytterväggshörn, objekt 3, termogram och foto.

9. ANALYS OCH SAMMANFATTNING AV MÄTNINGAR

En pilotstudie har utförts med mätningar av luftläckage i en gäststuga (utan ångspärr) som utsatts för uppfuktning och uttorkning genom att variera den relativa fuktigheten i inomhusmiljön. Gäststugan utsattes för uppfuktning under 8 dagar (RF ca. 90%) och för uttorkning under 7 dagar (RF ca. 30%). När uttorkningen var slutförd fanns stora otätheter i främst golv/vägg-anslutningen. Under uppfuktningen blev byggnaden tätare (q_{50} från $1,17 \text{ l/sm}^2$ till $0,74 \text{ l/sm}^2$) och under uttorkning blir gäststugan mer luftgenomsläpplig igen, och når till slut en luftpermeabilitet på $0,98 \text{ l/sm}^2$. Detta är förhållandevis snabba och stora ändringar i lufttäthet men visar inte desto mindre att byggnadens trädetaljer, och därmed otäthet, påverkas av inomhusklimatet.

Fältmätningar med lufttäthetsprovning och luftläckagesökning utfördes på tre objekt i projektet. Objekt 1 är en nybyggd skola med trä runt fönster och dörrar, objekt 2 är en idrottshall med träregelkonstruktion och objekt 3 är en lägenhet i en del av ett flerbostadshus med sandwichelement av betong och cellplast.

Objekt 1 har följts under drygt ett år, objekt 2 under drygt ett halvår och objekt 3 under 5 år, se figur 63.



Figur 63. Luftpermeabilitet över tid för de tre objekten.

Luftpermeabiliteten i objekt 1, skolan, har ökat med 19% under de drygt 14 månaderna som den följdes, från 0,21 till 0,25 l/sm². Eftersom lokalförvaltningen i Göteborg stad beställer skolor med en luftpermeabilitet på maximalt 0,2 l/sm², är detta något problematiskt. Det verkar inte finnas någon systematisk korrelation mellan luftpermeabiliteten och omgivande klimat. Den näst sista mätningen var lika tät som den första. Dock var temperaturerna vid den näst sista mätningen mycket höga (utetemperatur 27°C) så termisk expansion kan ha bidragit till tätheten.

Objekt 2 har i stort sett samma luftgenomsläpplighet vid start som vid slut, 0,19 till 0,18 l/sm² på 7 månader.

Objekt 3, lägenhet, har en stadig ökning i luftpermeabilitet. Det är svårt att säga vad detta beror på. Den senaste mätningen har betydligt högre luftpermeabilitet, 0,44 l/sm², än den näst senaste, 0,39 l/sm², vilket är en ökning på 13%. Vid den senaste mätningen är det kallare, både inne och ute, och torrare, både inne och ute, än vid den näst senaste mätningen, vilket skulle kunna bidra till den lägre tätheten. Dock är dessa förhållanden inte konsekventa genom alla mätningar. Över åren har luftpermeabiliteten ökat från 0,35 till 0,44 l/sm², vilket är en ökning på 26%, och vid varje mättillfälle har lägenheten antingen varit lika otät, eller otätare än gången innan. De främsta läckagen finns i anslutningen mellan fönsterkarm och fönsterbåge, vid golvvinklar samt vid rörschakt i badrummet. I fönsteranslutningen har fogmassan vid insida fönsterfoder börjat spricka upp och spricklängden har ökat med tiden.

10. SLUTSATSER

I projektet har lufttäthet, luftrörelser, och konsekvenser av luftrörelser undersökts med fokus på utveckling över tid, och med hjälp av laboriemätningar, fältmätningar och numeriska beräkningar. Projektet har inkluderat undersökning av sprickbildning i konstruktionen pga

uttorkning (fältmätning, laborationsmätning och numeriska beräkningar), hur dessa springor bidrar till luftflöden genom klimatskalet, hur luftläckagen påverkar FTX-system (framför allt verkningsgrad) samt föroreningstransport från kryppgrund, variationer i otätheternas fördelning samt klimat (temperaturer, fuktighet, och vind) och hur detta påverkar luftflöden genom klimatskalet.

I två av tre byggnaderna som har studerats med fältmätningar har luftpermeabiliteten ökat med tiden. Det är svårt att fastslå vad detta beror på (ingen tydlig korrelation med omgivande klimat). Både skolan med trä runt fönster och dörrar samt lägenheten med sandwichkonstruktion, utan trädetaljer, har ökad luftpermeabilitet med ca. 20 till 25% över tid. En konsekvens av detta är att skolan inte längre klarar beställarens initiella krav.

Fuktrelaterade rörelser har studerats dels med mätningar i en gäststuga och dels med numeriska beräkningar. Båda visar att avsevärda springor kan bildas vid uttorkning. I exemplet med klämning av plastfolie i vägg, tar det två till tre månader för byggfukt att torka ut.

Med ökade otätheter skapas också ökade luftflöden upp till kallvindar, vilket har visats genom numeriska beräkningar. På grund av skorstenseffekten är dessa luftflöden störst på vintern, vilket också medför att ökade otätheter ger ökad risk för fuktskador på kallvindar. Även luftflödena ner från vinden ökar med ökade otätheter. Dessa luftrörelser drivs främst av vindpåverkan och är starkt beroende av byggnadens orientering. De nedåtgående luftflödena kan medföra att föroreningar (exempelvis mögelsporer) kan transporteras ned till inomhusmiljön från kallvinden.

En värmeväxlares verkningsgrad beror bl.a. på luftflödena genom värmeväxlaren. Ifall en byggnad blir mer otät, kommer luftflödena genom värmeväxlaren att öka (pga mindre luftmotstånd). Denna högre verkningsgrad är dock inte tillräcklig för att kompensera för de övriga ökade värmeförlusterna via infiltration som otätheterna ger upphov till.

Fördelningen av otätheter påverkar luftrörelserna och konsekvenserna av luftrörelserna. Om exempelvis jämnt fördelade otätheter i väggarna istället koncentreras till medelhöjden på väggarna (alltså samma mängd otätheter) ger detta en förändrad tryckbild över byggnadens klimatskal och ett lägre undertryck över vindbjälklaget när det är kallt ute. Då det är kallt ute vill man skapa och behålla ett undertryck över vindbjälklaget, med hjälp av mekanisk ventilation, för att säkerställa att ingen fukt transporteras upp. Ett enkelt beräkningsprogram har skapats för att man själv skall kunna variera otätheter och klimat (Luftspelet, Domhagen, 2020).

Det är inte bara fukt- och värmetransport som skall undvikas genom klimatskalet. Med luftrörelser kan också föroreningar såsom mögelsporer, radon (från mark och betong) eller lukter (exempelvis från tryckimpregnerat trä i kryppgrund) transporteras. De faktorer som är viktiga för tryckbildningen över klimatskalet samt för föroreningstransport har studerats med hjälp av Monte Carlo simuleringar och Pearsons korrelationskoefficienter för ett stort antal simuleringar av en enplansbyggnad med kryppgrund. Studien illustrerar exempelvis skillnaden mellan att otätheter uppkommer i golvbjälklaget eller i takbjälklaget, samt påverkan av klimatet (temperatur och vind). Det visar sig att golvbjälklagets täthet är en av de viktigaste parametrarna som påverkar tryckskillnaden över bjälklaget (där en negativ tryckskillnad hindrar föroreningarna från att komma upp), medan byggnadens luftomsättning och omgivande klimat har starkast påverkan på föroreningskoncentration inomhus.

11. REFERENSER

Ashrae, 2017, Ashrae Handbook Fundamentals, USA

Aurelien T, professor ved Seksjon for bygg- og miljøteknikk, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, NMBU, muntlig kommunikasjon, 2016

Moujalled B, Leprince V, and Bailly Mélois A, 2018, "French database of building airtightness, statistical analyses of about 215,000 measurements: impacts of buildings characteristics and seasonal variations", 39th AIVC conference, France, 2018.

Borsboom, W. and de Gids W., 2012, Seasonal variation of façade airtightness: field observations and potential impact in NZEB, AIVC-TightVent International workshop, Bryssel, Belgium

Bracke W., Laverge J., Van Den Bossche N., Janssens A., 2014, Durability and measurement uncertainty of airtightness in extreme airtight dwellings, AIVC-TightVent International Workshop, 2014

Burström, 2007, Byggnadsmaterial- tillverkning och egenskaper, Studentlitteratur, ISBN 9789144027388

COMSOL Multiphysics, Software, 2015, Comsol inc., USA

CONTAM 3.2 Software, 2012, National Institute of Standards and Technology, USA

Domhagen F, Wahlgren P, Hagentoft C-E., 2020, Pressure distribution around the thermal envelope - a parametric study of the impact from wind and temperature on contaminant transport within a building, 12th Nordic Symposium on Building Physics, Tallin, Estland, 2020

Domhagen F, Wahlgren P, Hagentoft C-E. 2019, Contaminant Transport through the Thermal Envelope – Evaluation of Airflows Based on Numerical Modeling and Field Measurements, proceedings Buildings XIV conference, USA, 2019

Domhagen F, Wahlgren P, 2017a, Consequences of Varying Airtightness in Wooden Buildings, 11th Nordic Symposium on Building Physics, Trondheim, Norge, 2017

Domhagen F, Wahlgren P, 2017b, Air leakage variations due to changes in moisture content in wooden construction - magnitudes and consequences, AIVC38th AIVC Conference, United Kingdom, 2017

Domhagen F, 2016, Yearly Variations in Airtightness of Detached Wooden Houses- Simulations and Laboratory Measurements to Investigate Causes and Consequences, examensarbete, Master of Science, Chalmers tekniska högskola

Domhagen F, Wahlgren P, Hagentoft, 2020, Monte-Carlo simulations of Contaminant Transport from Crawl spaces in Swedish School Buildings (skall publiceras)

Domhagen F, 2020, Luftspelet, bitbucket.org/fredrikdom/airflow, airwidget

Gar-Bo, 2016, Täta hus- en rapport om varför och hur vi ska bygga lufttätt, Rapport Gar-Bo, www.gar-bo.se

Hagentoft CE, Sasic Kalagasidis A, Riskanalyser för ventilerade kallvindskonstruktioner. FoU-Väst Rapport 1402, SBUF-projekt 12438, Formas-BIC 11, 2014

Harderup LE, Arfvidsson J, 2013, Moisture Safety in Cold Attics with Thick Thermal Insulation, Journal of Architectural Engineering 19(4), 2013

Kim A.K., Shaw C.Y., 1986, Seasonal Variation in Airtightness of Two Detached Houses, Measured Air Leakage of Buildings, ASTM STP 904, 1986

Matlab, 2020, MathWorks, USA

Olsson L, 2014, Moisture conditions in exterior wooden walls and timber during production and use, licentiatavhandling 2014:2, Bygg- och miljöteknik, Chalmers tekniska högskola, ISSN 1652-9146

Pallin, S, 2013, Risk Assessment of Hygrothermal Performance - Building Envelope Retrofit, doktorsavhandling Chalmers tekniska högskola

Persily A, 1982, Repeatability and Accuracy of Pressurization Testing, ASHRAE/DOE Conference on Thermal Performance of the Exterior Envelope of Buildings, 1982

Sandberg P-I, Sikander E., 2004, Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen, Etapp A-Kunskapsinventering, laboratoriemätningar och simuleringar för att kartlägga behov av tekniska lösningar och utbildning, SP Rapport 2004:22, SP Sveriges tekniska forskningsinstitut

Simulink, 2020, MathWorks, USA

Sikander E, Wahlgren P, Åhman P, 2009, Lufttäthetens kontroll - tidig läckagesökning, Sveriges Byggindustrier FoU-Väst 2009

Sikander E, Wahlgren P, 2008, Alternativa metoder för utvärdering av byggnadsskalets lufttäthet, SP Rapport 2008:36

SS-EN 9972:2015, Byggnaders termiska egenskaper - Bestämning av byggnaders lufttäthet - Tryckprovningmetod (ISO 9972:2015), Svenska institutet för standarder, Sverige, 2015

SS-EN 14298:2004, Sågat timmer- bedömning av torkningskvalitet, Svenska institutet för standarder, Sverige, 2005

SS-EN15026:2007, Fukt- och värmeteknisk funktion hos byggnadsdelar och konstruktioner - Numerisk simulering av fukttransport, Svenska institutet för standarder, Sverige, 2007

Wahlgren P, Domhagen F, 2019, Moisture impact on dimensional changes and air leakage in wooden buildings, proceedings 40th AIVC conference, October 2019, Ghent, Belgium

Wahlgren P, Hansén M, Svensson O, 2015, Lufttäthetens variation över året, Sveriges byggindustrier, FoU-väst, Nr. 1501

Wufi, 2014, Wufi@2D 3.4, Fraunhofer Institute of Building Physics, Germany

BILAGOR

LUFTTÄTHETSPROVNING, OBJEKT 1

Luftläckage Analys enligt EN-13829SE - Testresultat

Mätansvarigt företag:

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Kund:

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Byggnads som testats:

Objekt: [REDACTED]
[REDACTED] g Göteborg
Objekt-ID: -
Temporär tätning: Mot ventilation, avlopp och 2 dörrpartier.

Test:

Utfört - datum: 2017-11-30
Operatör: I rummet
Riktning: Undertryck/Övertryck
Läckage l/s/m²/ (AOM): **0,21 l/s/m² /AOM**

Utrustning:

Retrotec:
Fläkt: Serienummer: S02114
Rumstrycksmätare: Serienummer: 101050
Flödestrycksmätare: Serienummer: 400846

Meteorologiska mätdata:

	<u>Före:</u>	<u>Efter:</u>
Barometiskt tryck:	1004 hpa	1004 hpa
Relativ fuktighet:	93%	93%
Vindstyrka:	2 m/s	2 m/s
Inne temperatur:	20,0°C	20,0°C
Ute temperatur:	0,0°C	0,0°C

BUILDING LEAKAGE TEST

RISE Research Institutes of Sweden
Byggnadsfysik och inommiljö
Brinellgatan 4
Box 857
501 15 BORÅS,

Date of Test: 2018-06-04
Test File: 180604_underttryck_o_övertryck.1

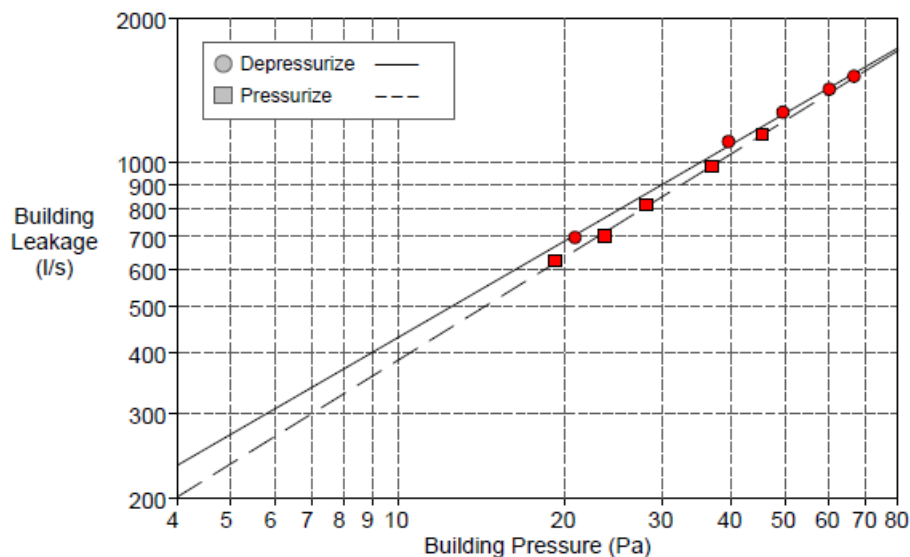
Technician: MH
Project Number: SBUF

Customer:

Building Address: XXXXXXXXXX
Göteborg,

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
q ₅₀ : l/s (Airflow)	1264 (+/- 2.7 %)	1221 (+/- 3.3 %)	1242
n ₅₀ : 1/h (Air Change Rate)	0.40	0.39	0.39
qF ₅₀ : lps/m ² (Floor Area)	0.77	0.74	0.75
qE ₅₀ : lps/m ² (Envelope Area)	0.23	0.22	0.22
Leakage Areas:			
ELA ₅₀ : m ²	0.1387 (+/- 3.3 %)	0.1340 (+/- 3.3 %)	0.1363
ELA _{F50} : m ² /m ²	0.0000841	0.0000812	0.0000826
ELA _{E50} : m ² /m ²	0.0000250	0.0000241	0.0000246
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (C _{env}) l/s/Pa ⁿ	93.4 (+/- 23.6 %)	75.3 (+/- 18.3 %)	
Air Leakage Coefficient (C _L) l/s/Pa ⁿ	92.7 (+/- 23.6 %)	74.7 (+/- 18.3 %)	
Exponent (n)	0.668 (+/- 0.062)	0.714 (+/- 0.054)	
Coefficient of Determination (r ²)	0.99746	0.99832	

Test Standard: ISO 9972
Test Mode: Depressurization and Pressurization
Type of Test Method: Method 2 - Test of Building Envelope
Purpose of Test:



Mätning 2 sidan 1.

BUILDING LEAKAGE TEST

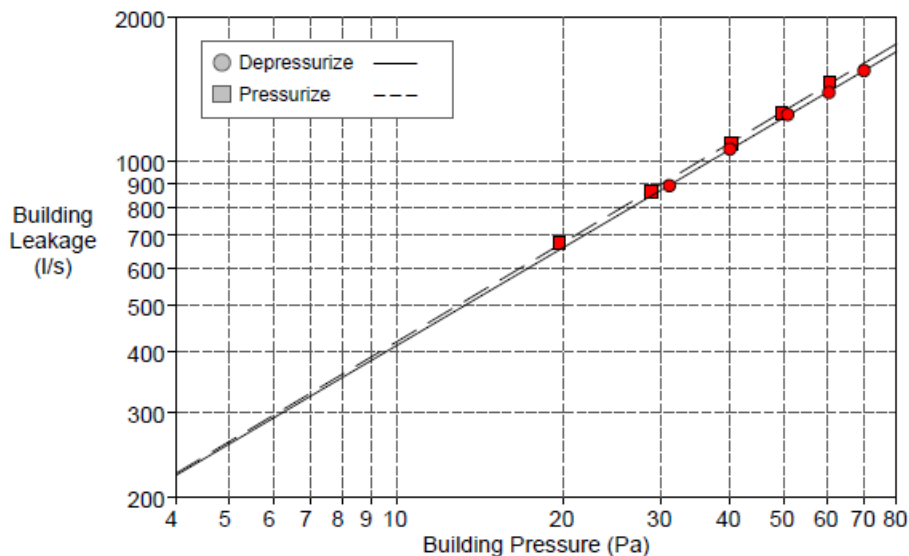
RISE Research Institutes of Sweden
Byggnadsfysik och inomhusmiljö
Brinellgatan 4
Box 857
501 15 BORÅS,

Date of Test:
Test File: 180625_undertryck_övertryck1
Customer:

Technician: MH
Project Number: SBUF
Building Address: XXXXXXXXXX
Göteborg,

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
q ₅₀ : l/s (Airflow)	1229 (+/- 0.7 %)	1270 (+/- 1.7 %)	1250
n ₅₀ : 1/h (Air Change Rate)	0.39	0.40	0.39
q _{F50} : lps/m ² (Floor Area)	0.74	0.77	0.76
q _{E50} : lps/m ² (Envelope Area)	0.22	0.23	0.23
Leakage Areas:			
ELA ₅₀ : m ²	0.1349 (+/- 1.7 %)	0.1394 (+/- 1.7 %)	0.1371
ELA _{F50} : m ² /m ²	0.0000817	0.0000845	0.0000831
ELA _{E50} : m ² /m ²	0.0000243	0.0000251	0.0000247
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (C _{env}) l/s/Pa ⁿ	86.7 (+/- 8.9 %)	86.3 (+/- 12.1 %)	
Air Leakage Coefficient (C _L) l/s/Pa ⁿ	86.6 (+/- 8.9 %)	86.3 (+/- 12.1 %)	
Exponent (n)	0.678 (+/- 0.023)	0.687 (+/- 0.033)	
Coefficient of Determination (r ²)	0.99966	0.99931	

Test Standard: ISO 9972
Test Mode: Depressurization and Pressurization
Type of Test Method: Method 2 - Test of Building Envelope
Purpose of Test:



Mätning 3 sidan 1.



BlowerDoor GmbH
MessSysteme für Luftdichtheit

BUILDING LEAKAGE TEST

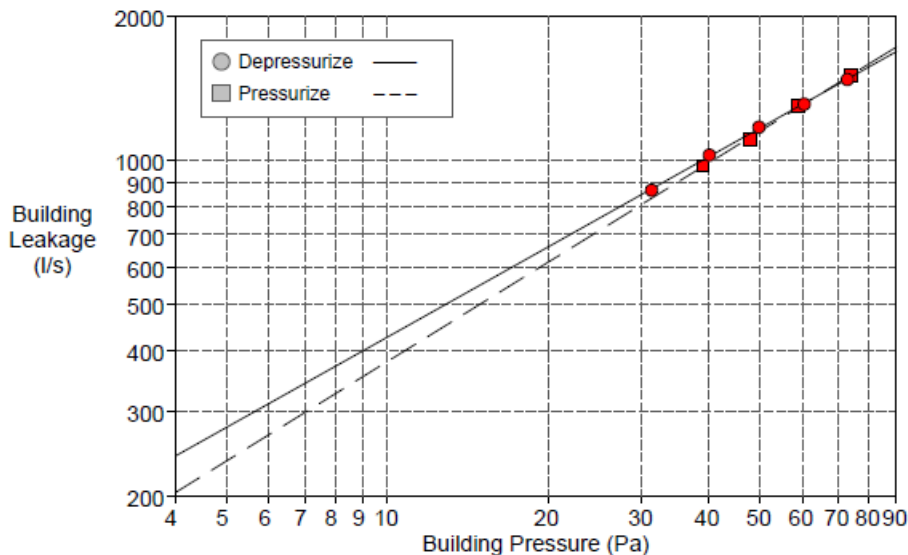
RISE Research Institutes of Sweden
Byggnadsfysik och inommiljö
Brinellgatan 4
Box 857
501 15 BORÅS,

Date of Test:
Test File: 180807_underttryck_o_övertryck
Customer:

Technician: MH
Project Number: SBUF

Building Address: [REDACTED]
Göteborg,

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
q ₅₀ : l/s (Airflow)	1167 (+/- 1.0 %)	1149 (+/- 2.4 %)	1158
n ₅₀ : 1/h (Air Change Rate)	0.37	0.36	0.37
q _{F50} : lps/m ² (Floor Area)	0.71	0.70	0.70
q _{E50} : lps/m ² (Envelope Area)	0.21	0.21	0.21
Leakage Areas:			
ELA ₅₀ : m ²	0.1281 (+/- 2.4 %)	0.1261 (+/- 2.4 %)	0.1271
ELA _{F50} : m ² /m ²	0.0000776	0.0000764	0.0000770
ELA _{E50} : m ² /m ²	0.0000231	0.0000227	0.0000229
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (C _{env}) l/s/Pa ⁿ	103.2 (+/- 13.4 %)	79.0 (+/- 38.9 %)	
Air Leakage Coefficient (C _L) l/s/Pa ⁿ	102.1 (+/- 13.4 %)	78.6 (+/- 38.9 %)	
Exponent (n)	0.623 (+/- 0.034)	0.686 (+/- 0.098)	
Coefficient of Determination (r ²)	0.99910	0.99782	
Test Standard:	ISO 9972		
Test Mode:	Depressurization and Pressurization		
Type of Test Method:	Method 2 - Test of Building Envelope		
Purpose of Test:			



Mätning 4 sidan 1.



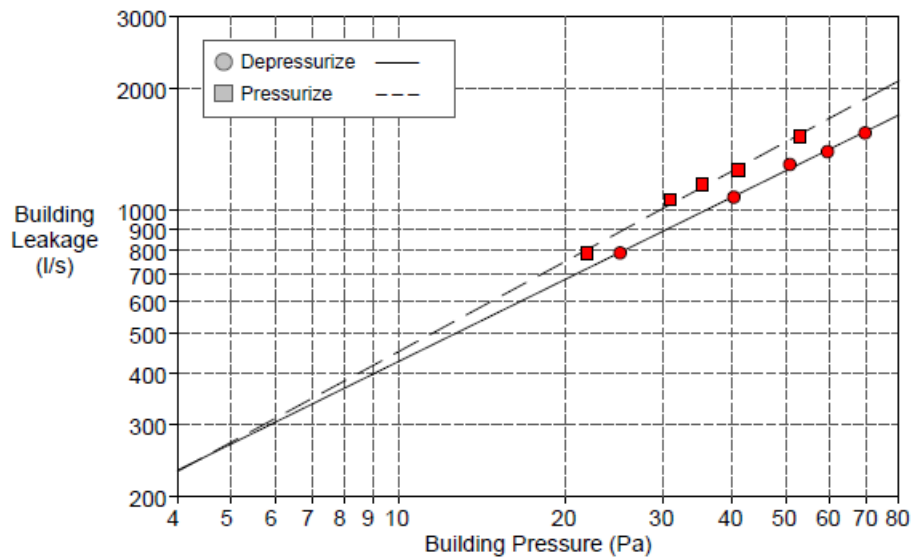
BUILDING LEAKAGE TEST

RISE Research Institutes of Sweden
Byggnadsfysik och innemiljö
Brinellgatan 4
Box 857
501 15 BORÅS,

Date of Test:	Technician:	MH
Test File: 190211_undertryck och övertryck1	Project Number:	SBUF
Customer:	Building Address:	Kvibergskolan Kvibergs Bäckväg 1 Göteborg,

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
q ₅₀ : l/s (Airflow)	1252 (+/- 2.3 %)	1472 (+/- 5.5 %)	1362
n ₅₀ : 1/h (Air Change Rate)	0.40	0.47	0.43
q _{F50} : lps/m ² (Floor Area)	0.76	0.89	0.83
q _{E50} : lps/m ² (Envelope Area)	0.23	0.27	0.25
Leakage Areas:			
ELA ₅₀ : m ²	0.1374 (+/- 5.5 %)	0.1615 (+/- 5.5 %)	0.1495
ELA _{F50} : m ² /m ²	0.0000833	0.0000979	0.0000906
ELA _{E50} : m ² /m ²	0.0000248	0.0000291	0.0000269
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (C _{env}) l/s/Pa ⁿ	90.2 (+/- 24.6 %)	83.5 (+/- 42.6 %)	
Air Leakage Coefficient (C _L) l/s/Pa ⁿ	91.6 (+/- 24.6 %)	83.1 (+/- 42.6 %)	
Exponent (n)	0.669 (+/- 0.064)	0.735 (+/- 0.120)	
Coefficient of Determination (r ²)	0.99730	0.99222	

Test Standard: ISO 9972
Test Mode: Depressurization and Pressurization
Type of Test Method: Method 2 - Test of Building Envelope
Purpose of Test:



Mätning 5 sidan 1.

LUFTTÄTHETSPROVNING, OBJEKT 2

BUILDING LEAKAGE TEST

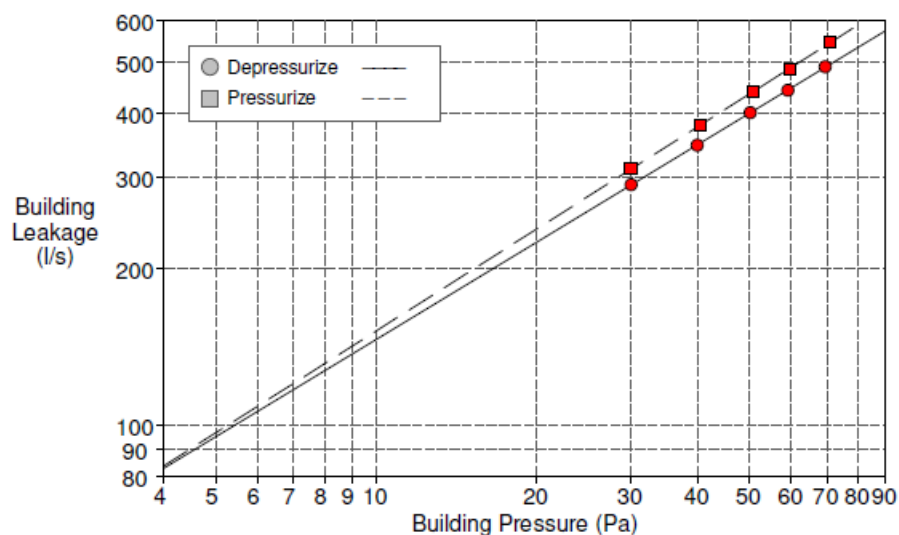
RISE Research Institutes of Sweden
Byggnadsfysik och inommiljö
Brinellgatan 4
Box 857
501 15 BORÅS,

Date of Test: 2019-10-02
Test File: Undertryck och övertryck
Customer: Borås Stad

Technician: Owe Svensson
Project Number:
Building Address: ██████████ idrott

Phone:
Fax:

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
q ₅₀ : l/s (Airflow)	398 (+/- 0.3 %)	434 (+/- 0.6 %)	416
n ₅₀ :			
qF50 :			
qE50 : lps/m ² (Envelope Area)	0.18	0.19	0.18
Leakage Areas:			
ELA ₅₀ : m ²	0.0437 (+/- 0.6 %)	0.0476 (+/- 0.6 %)	0.0457
ELA _{F50} :			
ELA _{E50} : m ² /m ²	0.0000194	0.0000211	0.0000203
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (C _{env}) l/s/Pa ⁿ	35.0 (+/- 3.8 %)	34.3 (+/- 7.4 %)	
Air Leakage Coefficient (C _L) l/s/Pa ⁿ	35.0 (+/- 3.8 %)	33.9 (+/- 7.4 %)	
Exponent (n)	0.622 (+/- 0.010)	0.652 (+/- 0.019)	
Coefficient of Determination (r ²)	0.99993	0.99975	
Test Standard:	ISO 9972		
Test Mode:	Depressurization and Pressurization		
Type of Test Method:	Method 2 - Test of Building Envelope		
Purpose of Test:			



Mätning 1 sidan 1.

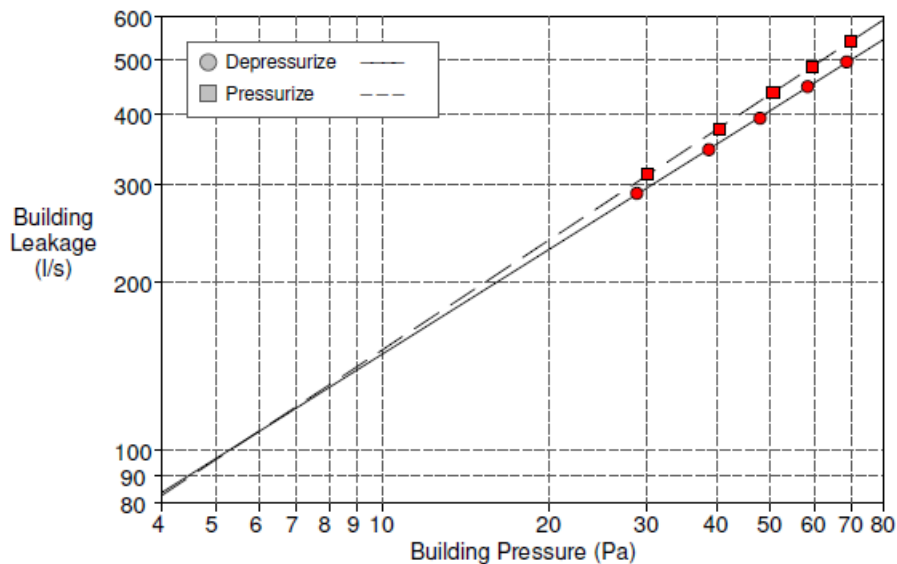
BUILDING LEAKAGE TEST

RISE Research Institutes of Sweden
Byggnadsfysik och inommiljö
Brinellgatan 4
Box 857
501 15 BORÅS,

Date of Test: 2020-02-14	Technician: Owe Svensson
Test File: Undertryck och övertryck	Project Number:
Customer:	Building Address: [REDACTED] idrottshall

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
q ₅₀ : l/s (Airflow)	407 (+/- 0.7 %)	435 (+/- 0.5 %)	421
n ₅₀ :			
qF50 :			
qE50 : lps/m ² (Envelope Area)	0.18	0.19	0.19
Leakage Areas:			
ELA ₅₀ : m ²	0.0446 (+/- 0.5 %)	0.0477 (+/- 0.5 %)	0.0462
ELA _{F50} :			
ELA _{E50} : m ² /m ²	0.0000199	0.0000213	0.0000206
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (C _{env}) l/s/Pa ⁿ	34.7 (+/- 8.2 %)	33.6 (+/- 7.0 %)	
Air Leakage Coefficient (C _L) l/s/Pa ⁿ	35.2 (+/- 8.2 %)	33.4 (+/- 7.0 %)	
Exponent (n)	0.625 (+/- 0.021)	0.656 (+/- 0.018)	
Coefficient of Determination (r ²)	0.99966	0.99977	

Test Standard: ISO 9972
Test Mode: Depressurization and Pressurization
Type of Test Method: Method 2 - Test of Building Envelope
Purpose of Test:



Mätning 2 sidan 1.

BUILDING LEAKAGE TEST

RISE Research Institutes of Sweden
Byggnadsfysik och inommiljö
Brinellgatan 4
Box 857
501 15 BORÅS,

Date of Test: 22/05/2020
Test File: Undertryck och övertryck 200522

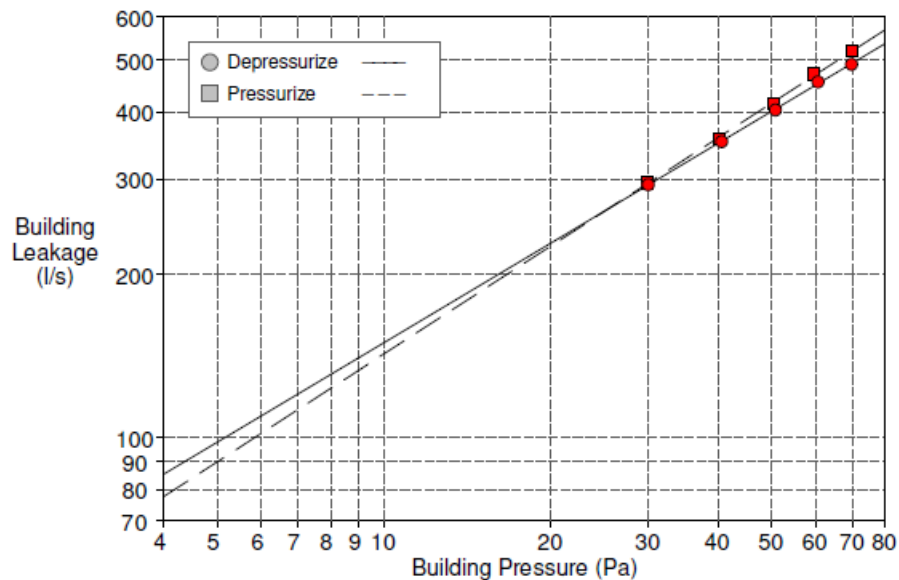
Technician: Owe Svensson
Project Number:

Customer:

Building Address: [REDACTED] idrott

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
q ₅₀ : Vs (Airflow)	401 (+/- 0.8 %)	415 (+/- 1.2 %)	408
n ₅₀ :			
qF ₅₀ :			
qE ₅₀ : lps/m ² (Envelope Area)	0.18	0.19	0.18
Leakage Areas:			
ELA ₅₀ : m ²	0.0440 (+/- 1.2 %)	0.0455 (+/- 1.2 %)	0.0447
ELA _{F50} :			
ELA _{E50} : m ² /m ²	0.0000196	0.0000203	0.0000200
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (C _{env}) Vs/Pa ⁿ	36.4 (+/- 10.5 %)	31.1 (+/- 15.7 %)	
Air Leakage Coefficient (C _L) l/s/Pa ⁿ	36.5 (+/- 10.5 %)	30.9 (+/- 15.7 %)	
Exponent (n)	0.612 (+/- 0.027)	0.664 (+/- 0.040)	
Coefficient of Determination (r ²)	0.99943	0.99890	

Test Standard: ISO 9972
Test Mode: Depressurization and Pressurization
Type of Test Method: Method 2 - Test of Building Envelope
Purpose of Test:



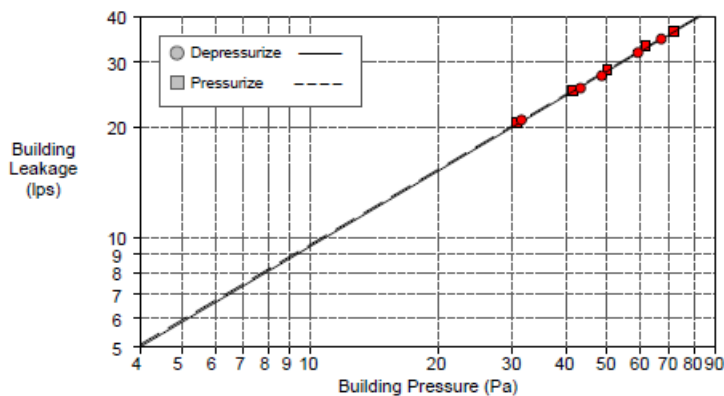
Mätning 3 sidan 1.

LUFTTÄTHETSPROVNING, OBJEKT 3

BUILDING LEAKAGE TEST

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Byggnadsfysik och innemiljö
Brinellgatan 4
Box 857
501 15 BORÅS,
Phone: 010-5165000

Date of Test: 140325	Technician: MH		
Test File: Undertryck och övertryck STÄNGDA DÖRRAR			
Customer:	Building Address:	Runängsgatan 11B Ytterby,	
<hr/>			
	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (lps)	28 (+/- 0.4 %)	29 (+/- 0.3 %)	28
n50: Air Changes per Hour (1/h)			
w50:			
q50: lps/m ² Surface Area	0.35	0.35	0.35
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	37.8 (+/- 2.6 %)	38.3 (+/- 1.6 %)	38.0
cm ² /m ² Surface Area	0.47	0.47	0.47
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	19.5 (+/- 4.0 %)	19.8 (+/- 2.5 %)	19.6
cm ² /m ² Surface Area	0.24	0.24	0.24
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	1.9 (+/- 6.2 %)	2.0 (+/- 3.8 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	1.9 (+/- 6.2 %)	2.0 (+/- 3.8 %)	
Exponent (n)	0.684 (+/- 0.016)	0.682 (+/- 0.009)	
Correlation Coefficient	0.99923	0.99972	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		
<hr/>			
Inside Temperature:	20 °C	Volume:	
Outside Temperature:	11 °C	Surface Area:	81 m ²
Barometric Pressure:	101440 Pa	Floor Area:	
Wind Class:	1 Light Air	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	2 %
Type of Heating:		Year of Construction:	2013
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		

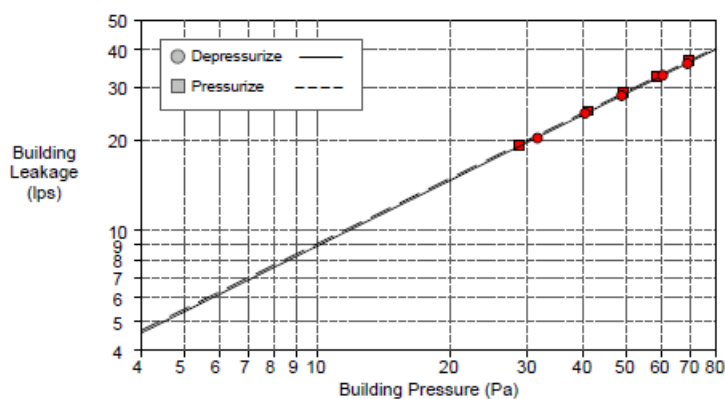


Mätning 1 sidan 1.

BUILDING LEAKAGE TEST

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Byggnadsfysik och inommiljö
Brinellgatan 4
Box 857
501 15 BORÅS,
Phone: 010-5165000

Date of Test: 140513	Technician: MH		
Test File: Undertryck&ÖvertryckSTÅNGDA DÖRRAR1			
Customer:	Building Address: Runängsgatan 11B Ytterby,		
<hr/>			
	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (lps)	28 (+/- 0.2 %)	29 (+/- 0.1 %)	29
n50: Air Changes per Hour (1/h)			
w50:			
q50: lps/m ² Surface Area	0.35	0.36	0.35
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	35.7 (+/- 1.2 %)	36.3 (+/- 0.5 %)	36.0
cm ² /m ² Surface Area	0.44	0.45	0.44
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	17.8 (+/- 1.8 %)	18.1 (+/- 0.7 %)	17.9
cm ² /m ² Surface Area	0.22	0.22	0.22
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	1.7 (+/- 2.7 %)	1.7 (+/- 1.1 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	1.7 (+/- 2.7 %)	1.7 (+/- 1.1 %)	
Exponent (n)	0.723 (+/- 0.007)	0.721 (+/- 0.003)	
Correlation Coefficient	0.99987	0.99998	
Test Standard: EN 13829	Regulation complied with:		
Type of Test Method: B			
Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door			
<hr/>			
Inside Temperature: 21 °C	Volume:		
Outside Temperature: 13 °C	Surface Area: 81 m ²		
Barometric Pressure: 100270 Pa	Floor Area:		
Wind Class: 1 Light Air	Uncertainty of		
Building Wind Exposure: Partly Exposed Building	Building Dimensions: 2 %		
Type of Heating:	Year of Construction: 2013		
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation: None			



Mätning 2 sidan 1.

BUILDING LEAKAGE TEST

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Byggnadsfysik och innemiljö
Brinellgatan 4
Box 857
501 15 BORÅS,
Phone: 010-5165000

Date of Test: 140702

Technician: Magnus Hansén

Test File: Undertryck och Övertryck STÄNGDA DÖRRAR1

Customer:

Building Address: Runängsgatan 11B
Ytterby,

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (lps)	28 (+/- 0.1 %)	28 (+/- 0.1 %)	28
n50: Air Changes per Hour (1/h)			
w50:			
q50: lps/m ² Surface Area	0.35	0.35	0.35
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	34.8 (+/- 0.8 %)	38.8 (+/- 0.9 %)	36.8
cm ² /m ² Surface Area	0.43	0.48	0.45
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	17.1 (+/- 1.3 %)	20.2 (+/- 1.4 %)	18.7
cm ² /m ² Surface Area	0.21	0.25	0.23
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	1.6 (+/- 1.9 %)	2.1 (+/- 2.1 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	1.6 (+/- 1.9 %)	2.1 (+/- 2.1 %)	
Exponent (n)	0.734 (+/- 0.005)	0.670 (+/- 0.005)	
Correlation Coefficient	0.99993	0.99990	

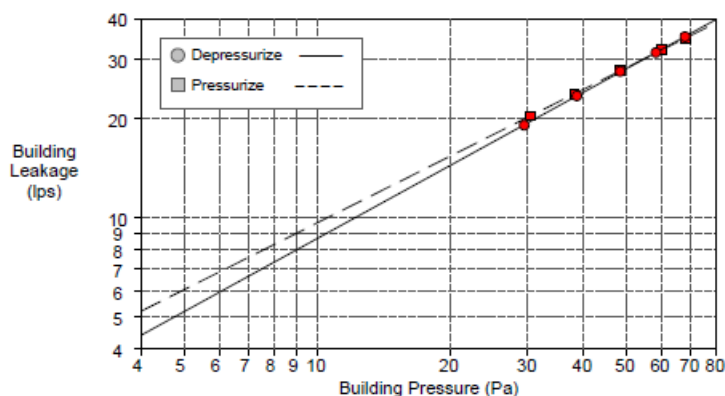
Test Standard: EN 13829

Regulation complied with:

Type of Test Method: B

Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	23 °C	Volume:	
Outside Temperature:	21 °C	Surface Area:	81 m ²
Barometric Pressure:	101270 Pa	Floor Area:	
Wind Class:	1 Light Air	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	2 %
Type of Heating:		Year of Construction:	2013
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



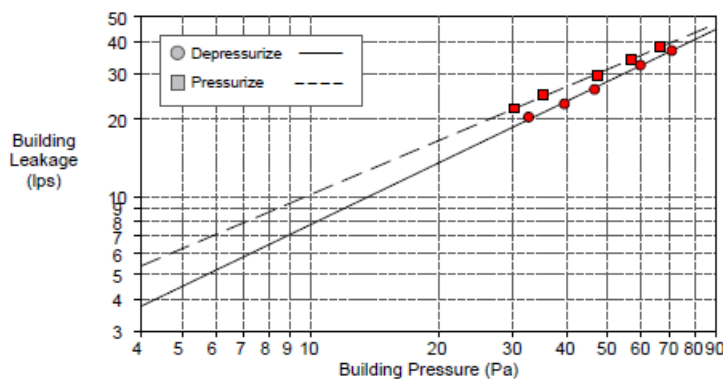
Mätning 3 sidan 1.

BUILDING LEAKAGE TEST

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Byggnadsfysik och innemiljö
Brinellgatan 4
Box 857
501 15 BORÅS,
Phone: 010-5165000

Date of Test: 140819		Technician: MH	
Test File: Undertryck&övertryck			
Customer:	Building Address: Runängsgatan 11B Visningslägenhet Ytterby,		
Test Results at 50 Pascals:			
	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
V50: Airflow (lps)	28 (+/- 0.7 %)	31 (+/- 0.7 %)	29
n50: Air Changes per Hour (1/h)			
w50:			
q50: lps/m ² Surface Area	0.34	0.38	0.36
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	31.2 (+/- 4.0 %)	40.8 (+/- 4.4 %)	36.0
cm ² /m ² Surface Area	0.38	0.50	0.44
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	14.5 (+/- 6.2 %)	20.8 (+/- 6.8 %)	17.6
cm ² /m ² Surface Area	0.18	0.26	0.22
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	1.2 (+/- 9.5 %)	2.1 (+/- 10.5 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	1.2 (+/- 9.5 %)	2.0 (+/- 10.5 %)	
Exponent (n)	0.795 (+/- 0.024)	0.696 (+/- 0.027)	
Correlation Coefficient	0.99867	0.99781	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		

Inside Temperature:	23 °C	Volume:	
Outside Temperature:	15 °C	Surface Area:	81 m ²
Barometric Pressure:	99100 Pa	Floor Area:	
Wind Class:	4 Moderate Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	2 %
Type of Heating:		Year of Construction:	2013
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		

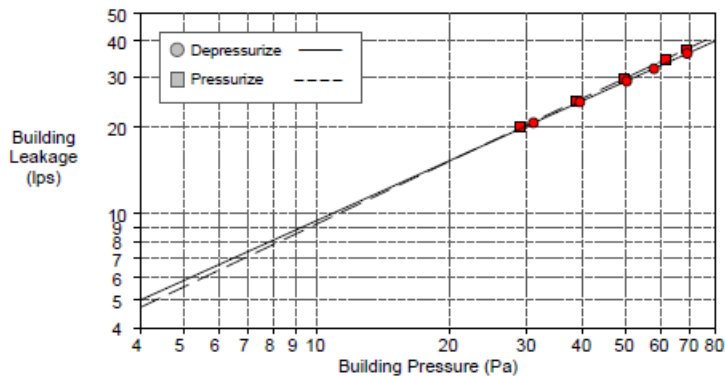


Mätning 4 sidan 1.

BUILDING LEAKAGE TEST

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Byggnadsfysik och inommiljö
Brinellgatan 4
Box 857
501 15 BORÅS,
Phone: 010-5165000

Date of Test: 141014		Technician: MH	
Test File: Undertryck&övertryck1			
Customer:		Building Address: Runängsgatan 11B Visningslägenhet Ytterby,	
		<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (lps)	29 (+/- 0.1 %)	30 (+/- 0.1 %)	29
n50: Air Changes per Hour (1/h)			
w50:			
q50: lps/m ² Surface Area	0.36	0.37	0.36
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	38.0 (+/- 0.6 %)	36.9 (+/- 0.7 %)	37.5
cm ² /m ² Surface Area	0.47	0.46	0.46
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	19.4 (+/- 0.9 %)	18.3 (+/- 1.0 %)	18.8
cm ² /m ² Surface Area	0.24	0.23	0.23
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	1.9 (+/- 1.4 %)	1.7 (+/- 1.5 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	1.9 (+/- 1.4 %)	1.7 (+/- 1.5 %)	
Exponent (n)	0.694 (+/- 0.004)	0.728 (+/- 0.004)	
Correlation Coefficient	0.99996	0.99996	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		
Inside Temperature:	20 °C	Volume:	
Outside Temperature:	9 °C	Surface Area:	81 m ²
Barometric Pressure:	101030 Pa	Floor Area:	
Wind Class:	1 Light Air	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	2 %
Type of Heating:		Year of Construction:	2013
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



Mätning 5 sidan 1.

BUILDING LEAKAGE TEST

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Byggnadsfysik och inommiljö
Brinellgatan 4
Box 857
501 15 BORÅS,
Phone: 010-5165000

Date of Test: 141217
Test File: Undertryck&Övertryck

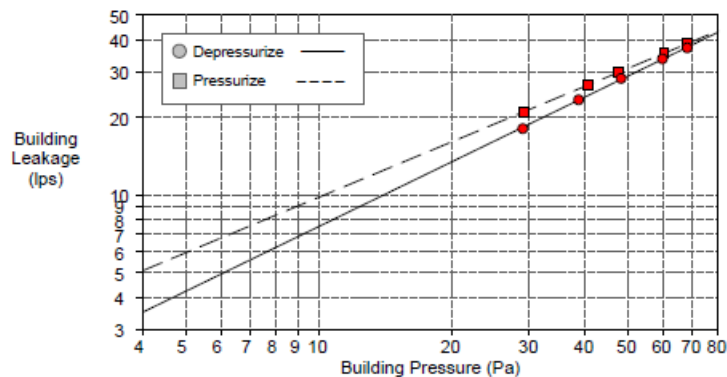
Technician: MH

Customer:

Building Address: Rungängsgatan11B
Visningslägenhet
Ytterby,

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (lps)	29 (+/- 0.4 %)	31 (+/- 0.1 %)	30
n50: Air Changes per Hour (1/h)			
w50:			
q50: lps/m ² Surface Area	0.36	0.38	0.37
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	30.2 (+/- 2.4 %)	39.2 (+/- 0.9 %)	34.7
cm ² /m ² Surface Area	0.37	0.48	0.43
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	13.5 (+/- 3.7 %)	19.6 (+/- 1.4 %)	16.6
cm ² /m ² Surface Area	0.17	0.24	0.20
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	1.1 (+/- 5.6 %)	1.9 (+/- 2.1 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	1.1 (+/- 5.6 %)	1.9 (+/- 2.1 %)	
Exponent (n)	0.835 (+/- 0.014)	0.715 (+/- 0.005)	
Correlation Coefficient	0.99957	0.99992	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		

Inside Temperature:	21 °C	Volume:	
Outside Temperature:	2 °C	Surface Area:	81 m ²
Barometric Pressure:	99760 Pa	Floor Area:	
Wind Class:	0 Calm	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	2 %
Type of Heating:		Year of Construction:	2013
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



Mätning 6 sidan 1.

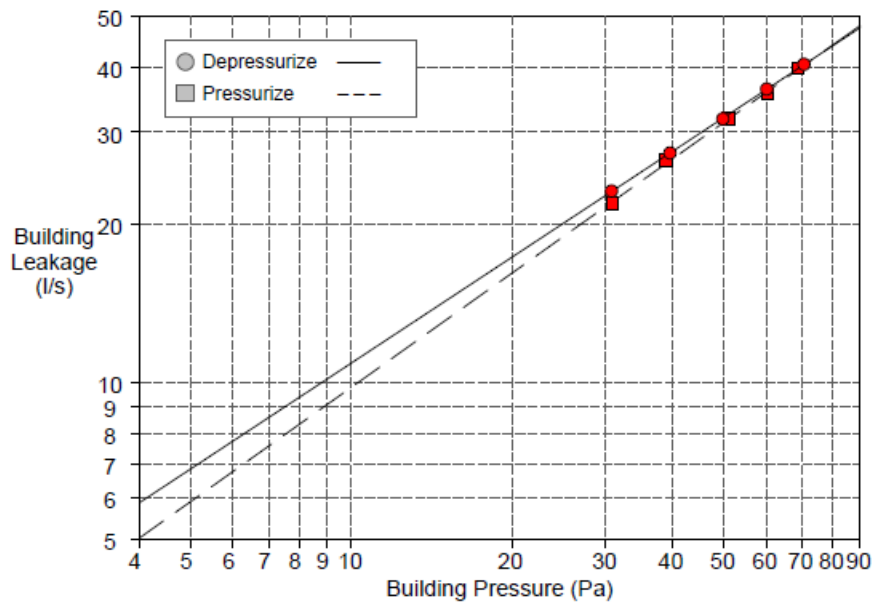
BUILDING LEAKAGE TEST

RISE Research Institutes of Sweden
Byggnadsfysik och inommiljö
Brinellgatan 4
Box 857
501 15 BORÅS,

Date of Test: 2018-06-08
Test File: Undertryck_o_övertryck_180608
Customer:

Technician: MH
Project Number: HSi6031
Building Address: Ytterby
lgh 11B

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: l/s50 (Airflow)	32 (+/- 0.4 %)	31 (+/- 1.6 %)	32
n50:			
w50:			
q50: lps/m ² (Envelope Area)	0.40	0.39	0.39
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	43.7 (+/- 1.9 %)	39.3 (+/- 8.7 %)	41.5
cm ² /m ² Surface Area	0.54	0.48	0.51
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	22.9 (+/- 3.0 %)	19.6 (+/- 13.7 %)	21.2
cm ² /m ² Surface Area	0.28	0.24	0.26
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (C _{env}) l/s/Pa ⁿ	2.3 (+/- 4.6 %)	1.9 (+/- 21.2 %)	
Air Leakage Coefficient (CL) l/s/Pa ⁿ	2.3 (+/- 4.6 %)	1.9 (+/- 21.2 %)	
Exponent (n)	0.670 (+/- 0.012)	0.723 (+/- 0.055)	
Correlation Coefficient	0.99995	0.99915	
Test Standard:	EN 13829		
Test Mode:	Depressurization and Pressurization		
Type of Test Method:	B		
Regulation complied with:			



Mätning 7 sidan 1.



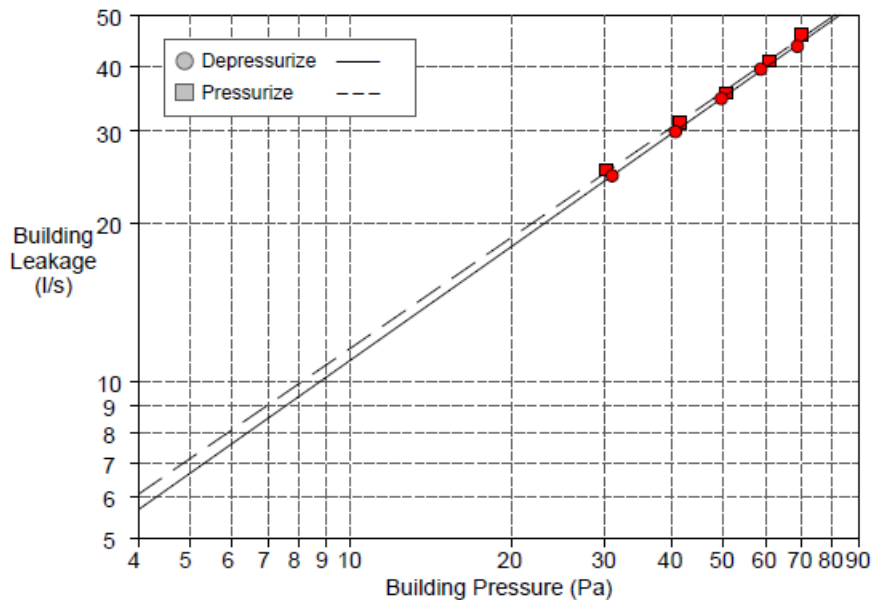
BUILDING LEAKAGE TEST

RISE Research Institutes of Sweden
Byggnadsfysik och innemiljö
Brinellgatan 4
Box 857
501 15 BORÅS,

Date of Test: 2019-04-11
Test File: Undertryck_o_övertryck_190411_Dring
Customer:

Technician: MH
Project Number: HSi6031
Building Address: Ytterby
Igh 11B

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: l/s50 (Airflow)	35 (+/- 0.8 %)	36 (+/- 1.9 %)	35
n50:			
w50:			
q50: lps/m ² (Envelope Area)	0.43	0.44	0.44
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	44.1 (+/- 4.5 %)	46.5 (+/- 10.2 %)	45.3
cm ² /m ² Surface Area	0.54	0.57	0.56
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	22.1 (+/- 7.1 %)	23.6 (+/- 16.0 %)	22.9
cm ² /m ² Surface Area	0.27	0.29	0.28
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv) l/s/Pa ⁿ	2.1 (+/- 11.0 %)	2.3 (+/- 24.7 %)	
Air Leakage Coefficient (CL) l/s/Pa ⁿ	2.1 (+/- 11.0 %)	2.3 (+/- 24.7 %)	
Exponent (n)	0.717 (+/- 0.028)	0.700 (+/- 0.063)	
Correlation Coefficient	0.99977	0.99878	
Test Standard:	EN 13829		
Test Mode:	Depressurization and Pressurization		
Type of Test Method:	B		
Regulation complied with:			



Mätning 8 sidan 1.

Momentana värden på lufttemperatur och relativ fuktighet, objekt 1

Mätt med instrument och givare från Testo.

Datum	Utomhus			Inomhus			Fukttillskott g/m ³
	°C	RF %	Ånghalt g/m ³	°C	RF %	Ånghalt g/m ³	
2017-11-30	0	--	--	22,8	--	--	--
2018-06-04	24,7	55	12,4	24,4	56	12,5	0,1
2018-06-25	21,2	51	9,4	20,8	52	9,4	0,0
2018-08-07	27,0	38	9,8	23,7	53	11,3	1,5
2019-02-11	3,7	64	4,0	20,5	33	5,9	1,9

Momentana värden på lufttemperatur och relativ fuktighet, objekt 3

Mätt med givare och instrument från Testo.

Datum	Utomhus			Inomhus			Fukttillskott g/m ³
	°C	RF %	Ånghalt g/m ³	°C	RF %	Ånghalt g/m ³	
2014-03-25	10,5	--	--	20,1	--	--	--
2014-05-13	13,1	--	--	20,5	--	--	--
2014-07-02	20,9	58,4	10,6	22,6	54,2	10,8	0,2
2014-08-19	14,1	90,1	11,0	23,3	51,8	10,8	-0,2 !
2014-10-14	9,0	80,4	7,1	19,8	47,3	8,1	1,0
2014-12-17	2,0	67,6	3,8	20,5	30,5	5,4	1,6
2018-06-08	22,5	49	9,8	24,7	48	10,9	1,1
2019-04-11	2,4	47	2,7	20,4	32	5,7	3,0

Kommentar: Inom- och utomhusvärden för relativ fuktighet är var för sig i och för sig rimliga men för mätning 4 orimlig pga fukttillskottet inomhus blir negativt. Å andra sidan är detta momentana mätningar varför tillfälliga variationer kan förekomma.

Avlästa nolltryck, objekt 1

Nedan redovisas avlästa nolltryck vid marknivå, mellan inom-och utomhus, vid tätad byggnad (fyra avläsningar för varje mättillfälle, dvs. före och efter undertryckserie och före och efter övertryckserie). Nedan redovisas bara min- och maxvärde av medelvärdena, utförligare data finns i mätfilerna.

Datum	Tryckskillnad Pa (medelvärden), negativt värde innebär invändigt undertryck
2017-11-30	0,0 – 0,0
2018-06-04	-1,4 – +0,6
2018-06-25	+1,1 – +0,7
2018-08-07	-0,3 – +1,0
2019-02-11	-3,0 – -2,6

Avlästa nolltryck, objekt 2

Nedan redovisas avlästa nolltryck vid marknivå, mellan inom-och utomhus, vid tätad byggnad (fyra avläsningar för varje mättillfälle, dvs. före och efter undertryckserie och före och efter övertryckserie). Nedan redovisas bara min- och maxvärde av medelvärdena, utförligare data finns i mätfilerna.

Datum	Tryckskillnad Pa (medelvärden), negativt värde innebär invändigt undertryck
2019-10-02	-1,5 – -1,6
2020-02-14	-2,6 – -2,3
2020-05-22	-1,1 – -0,7

Avlästa nolltryck, objekt 3

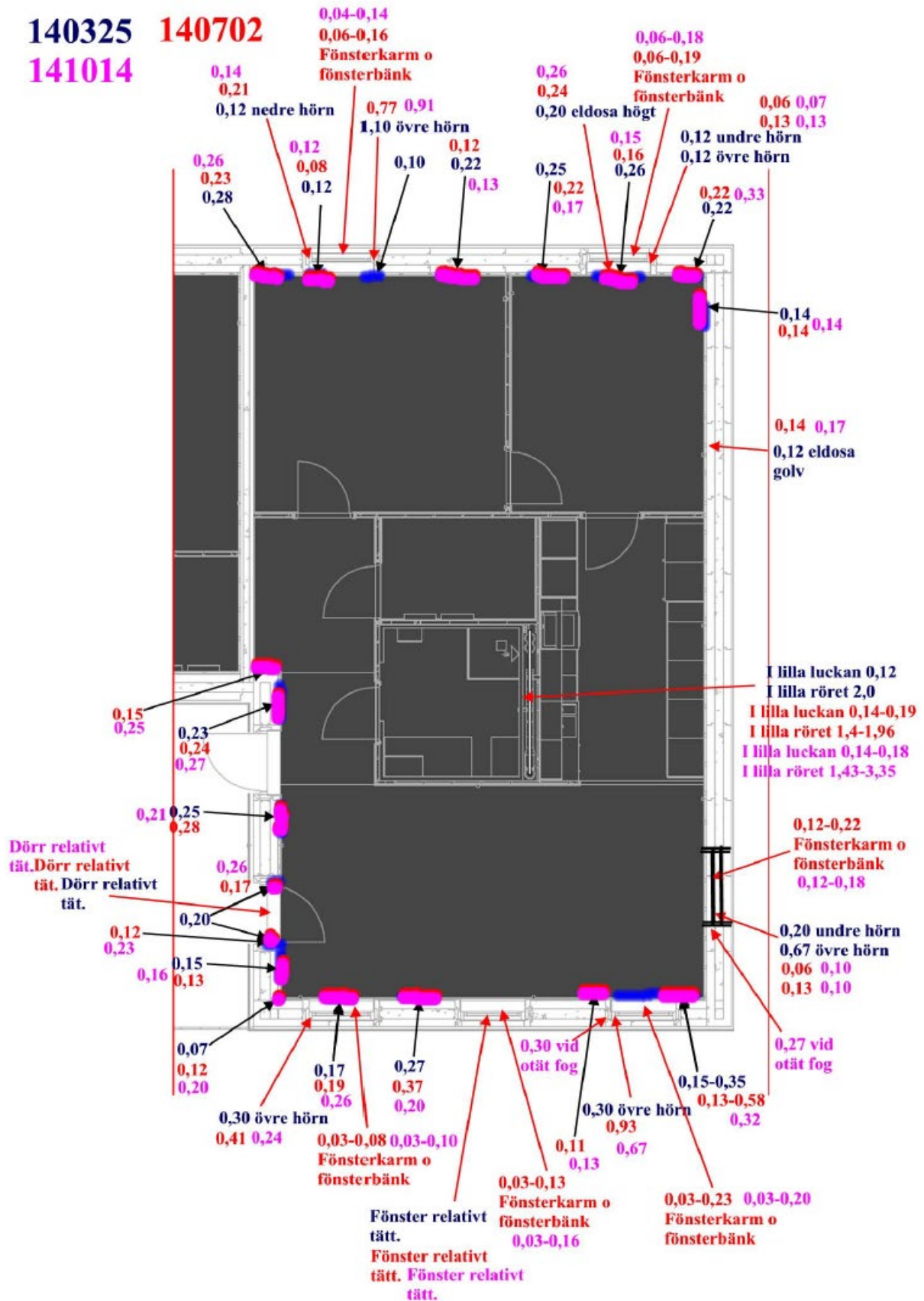
Nedan redovisas avlästa nolltryck vid marknivå, mellan inom-och utomhus, vid tätad byggnad (fyra avläsningar för varje mättillfälle, dvs. före och efter undertryckserie och före och efter övertryckserie). Nedan redovisas bara min- och maxvärde av medelvärdena, utförligare data finns i mätfilerna.

Datum	Tryckskillnad Pa (medelvärden), negativt värde innebär invändigt undertryck
2014-03-25	-0,2 – +0,6
2014-05-13	-0,5 – -0,1
2014-07-02	-1,1 – -0,4
2014-08-19	-2,9 – -1,6
2014-10-14	-0,4 – +0,4
2014-12-17	-3,2 – -2,0
2018-06-08	-0,2 – -0,1
2019-04-11	-0,5 – -1,9

LUFTLÄCKAGESÖKNING, OBJEKT 3

140325
141014

140702



Beskrivning resultat från läckagesökning

Vi har tidigare visat på att det är mycket svårt att se luftläckagens variation eller storlek med hjälp av lufthastighetsgivare, eftersom det kräver att vi mäter på exakt samma ställe vid varje provning och med samma vinkel på lufthastighetsgivaren. Metoden kan således bara ses som en indikation på olika lufthastigheter i luftläckagen vid mätningarna. Den bästa metoden hade varit att utföra friläggningar för att komma åt och kontrollera de olika lufttäthetslösningarna och hur de varierar med årstiden.

Det vi har noterat på objekt 3 är att från femte mätningen syntes sprickbildningar i mjukfogen på insida fönster (anslutning mellan fönsterbåge och karm) vid två platser som har resulterat i lokala luftläckage har ökat i alla fall om vi jämför luftläckagesökning mellan femte och sjätte mätningen. Vi upplever att spricklängden i fogen har ökat till de två senaste mätningarna fem år senare. Vidare har vi konstaterat att lufttätheten har försämrats sedan mätningarna startade 2014. Vi kan dock inte peka på någon enskild täthetslösning, förutom mjukfogen, som har försämrats mer än en annan.

Sammanställning lufttäthetsmätning idrottshall 2020-02-14.

Lufttäthetsmätning är utförd på samma sätt som tidigare utförd lufttäthetsmätning 2019-10-02, både avseende person, exakt den mätutrustning som använts, samt tillvägagångssätt. Följande undantag/ändrade förutsättningar finns:

Byggnaden var nu fullständigt färdigställd. Detta innebär inga stora skillnader men det innebär följande:

- Undertak var på plats (ska inte innebära någon skillnad alls)
- Tidigare små luftläckage i elrör i elgrop var tätade, vilket bedöms inte innebära någon mätbar skillnad i luftläckageflöde (kan även nämnas att elrör genom yttervägg över entréparti ej har fogats så för dessa är förutsättningarna helt lika dem vid föregående mätning).
- Smyg runt entrépartiet var helt färdigställd inklusive vid golv (kan innebära marginellt mindre luftläckage nu, för det förekom något luftläckage där tidigare, dock kunde lite luftläckage detekteras där även nu).
- Vid den tidigare utförda mätningen var ytterdörren i entrépartiet låst. Nu var den upplåst dagtid vilket innebar att vi var tvungna att spärra dörren vid övertrycksmätningen för att den ej skulle öppna sig utåt. Detta utfördes på insidan med hjälp av ett kvastskaf och en kil (vid handtagsnivå) vilket spände dörren inåt mot karmen, dock försökte vi att inte spänna den hårdare än nödvändigt. Ingen tejpning eller på annat sätt uppenbart förbättrande åtgärd har således vidtagits för denna dörr vid provningen. Vår minnesbild är att dörren inte hade nämnvärt glapp vid den tidigare mätningen (bl.a. eftersom det ej finns sådan notering vilket det annars skulle ha funnits), därför borde låsning jämfört med inspänning inte medföra någon stor skillnad i luftläckage, dock kan inspänningen naturligtvis ha inneburit att luftläckaget genom detta dörrparti vid övertryck blev något mindre vid den nu utförda mätningen än vid den tidigare mätningen då dörren var låst (det som kan tala för det är att byggnadens luftläckageflöde har ökat med 9 l/s vid 50 Pa undertryck men enbart med 1 l/s vid 50 Pa övertryck enligt tabell I nedan, och att eventuell "förbättring" genom inspänning av denna dörr därmed skulle kunna vara en bidragande orsak). Det förekom luftläckage genom denna dörr både vid den tidigare mätningen och vid den nu utförda mätningen,

både vid undertryck och vid övertryck, genom borstlist samt mellan dörrblad och karmöverstycke samt nertill och upp till mellan dörrblad och karmsidestycke på låssida, dock är det svårt att avgöra om det är helt likvärdigt eller har ökat eller minskat något.

- Tidigare förhållandevis stora luftläckage i högra ytterdörren i själva idrottshallen, i övre 0,6 m mellan vänster karmsidestycke och dörrblad, var nu åtgärdat.
- Gummisockel var nu monterade i fläktrum samt i båda uteförråd. För täthet i klimatskalet spelar det sannolikt marginell roll men det kan ha haft betydelse för intern täthet mot övrig byggnad vilket kan vara en bidragande orsak till att de två uteförråden inte blev lika trycksatta vid denna mätning som vid den föregående mätningen, eftersom trycksättning av uteförråden beror av interna otätheter samt av öppen ventilationskanal (troligen Ø100 mm, dvs. relativt liten kanal). Se redovisning av tryckskillnader nedan.
- Tätningslist saknades nu mellan dörrblad och tröskel i uteförråd B125 vilket medförde stort luftläckage i anslutningen. Eftersom detta rum enbart är förbundet med övriga byggnaden enligt ovan beskrivet innebär det att ett större tryckfall uppstod gentemot övrig byggnad när otäthet i klimatskalet är större än tidigare. Angränsande uteförråd B124 är också förbundet via samma kanal vilket medför att större tryckfall även uppstod i detta rum. Därmed var dessa utrymmen inte "med" i provningen i lika stor grad som vid den föregående lufttäthetsmätningen då de var näst intill lika trycksatta som övrig byggnad. Det är svårt att uppskatta denna påverkan på det totala mätresultatet. Se redovisning av tryckskillnader nedan, där vi även testat att tillfälligt tejpa otäthet vid tröskel.

Det skall observeras att tätning av ventilationsaggregatet vid båda mättillfällena enbart utförts genom att utelufts- och avluftsspjällen stängts, och vid båda mättillfällena förekom mindre läckage genom spjällen. Det är omöjligt att säga om dessa läckage var exakt lika stora vid båda mättillfällena.

Tryckskillnader över klimatskalet

Fläktrummet samt båda uteförråd är enbart invändigt förbundna med övrig byggnad genom ventilationskanalerna samt genom eventuella interna otätheter i de avskiljande konstruktionerna. För fläktrummet blev förbindelsen god genom att luckorna till aggregatet ställdes öppna, och för fläktrummet kan vi inte säga att det är någon skillnad i trycksättningsgrad mellan den föregående och den nu utförda lufttäthetsmätningen. För de båda uteförråden är trycksättningsgraden dock markant sämre vid den nu utförda mätningen än vid den föregående, vilket således enligt ovan beskrivet både beror på ökad otäthet pga. att tätningslist nu saknas mellan tröskel och dörrblad i 125 samt att interna otätheter kan ha minskat pga. att gummisockel monterats i 124 och 125. I tabell I nedan redovisas uppmätta tryckskillnader (enbart undertryck) över klimatskal i olika utrymmen vid föregående och nu utförda lufttäthetsmätning. Flöden som redovisas vid -50 Pa längst till höger inom parantes avser provningsresultat vid undertryck vid den fullständiga lufttäthetsmätningen (dvs ej exakt samtidigt som tryckskillnaderna i tabellen uppmättes men det förutsätts att motsvarande tryckförhållanden förekom under själva mätning av luftflöde också). Flöden utan parantes avser ungefärliga flöden under exakt den tid som redovisade tryck uppmättes (tryck över klimatskal "övrig byggnad" och tryck över fläkt loggades under tiden tryck över klimatskal mättes i de separata utrymmena), omräknat till vid -50 Pa. Av tabellen framgår att den direkta skillnaden i flöde i byggnaden med tejpad respektive ej tejpad anslutning dörrblad-tröskel i 125 är 17 l/s vid -50 Pa men samtidigt är 125 (och sannolikt 124) samtidigt trycksatt i olika grad när de båda olika totalflödena förekommer, och därmed skulle skillnaden i flöde bli än större om de båda

utrymmena vore trycksatta i samma grad vid båda förhållandena och det totala flödet skulle också bli större om även de båda utrymmena varit fullt trycksatta till -50 Pa.

Pga. att verksam tejpning mot tröskel i 125 bara kunde åstadkommas inifrån fanns ej möjlighet att mäta tryckskillnad över klimatskalet i 124 samtidigt som tröskel i 125 var tejpad.

Det skall observeras att det var i stort sett helt vindstilla vid både den tidigare och den nu utförda lufttäthetsmätningen, vilket gör att uppmätta tryckskillnader ej är påverkade av vind och därmed är stabila värden.

Tabell I. Uppmätta tryckskillnader över klimatskalet i olika utrymmen.

	Mätfall	Övrig byggnad	Fläktrum 126	Uteförråd 125	Uteförråd 124	Flöde l/s vid -50 Pa
Tidigare mätning		ca -51	-49,5	-47	-46	(398)
Nuvarande mätning	Inga tätningsåtgärder i 125	-51,5	-49,5	-27,5	-30	(407)
	Tejpade tröskel i 125	-54,0	-	-42,5	-	390
	Inga tätningsåtgärder i 125 (uppmätt efter att tejp avlägsnats)	-51,0	-	-29,5	-	407

Resultat lufttäthetsmätning

Tabell II. Sammanställning av resultat från täthetsmätning.

Mättillfälle	Omslutningsyta m ²	Luftflöde vid 50 Pa undertryck l/s	Luftflöde vid 50 Pa övertryck l/s	Luftflöde vid ± 50 Pa l/s	Lufttäthet vid ± 50 Pa l/sm ²
2019-10-02	2240	398	434	416	0,19
2020-02-14		407	435	421	0,19

Slutsats

Sett enbart till resultatet är skillnaden att det totala luftläckageflödet vid ± 50 Pa ökat från 416 l/s till 421 l/s vilket är enbart 1,2 % ökning och bedöms som sådant ligga inom mätosäkerheten. Dock vet vi att det också förekommer skillnader, framför allt i form av att tidigare läckage i en ytterdörr i idrottshall har tätats, läckage har tillkommit vid tröskel i Uteförråd 125 och de båda uteförråden blev heller inte fullt så trycksatta vid denna provning som vid föregående provning. Dessutom kan det finnas en skillnad i entrépartiets ytterdörr vid övertryck pga. att den var låst vid första provning och spärrad vid den nu utförda provningen.

Sammanställning lufttäthetsmätning idrottshall 2020-05-22.

Lufttäthetsmätning är utförd på samma sätt som tidigare utförd lufttäthetsmätning 2020-02-14, både avseende person, exakt den mätutrustning som använts, samt tillvägagångssätt. Det som möjligen ändå eventuellt kan innebära någon skillnad är följande:

- Precis som vid föregående mätning 2020-02-14 spärrades dörren i entrépartiet vid övertrycksmätning eftersom dörren var upplåst och därmed skulle öppna sig annars.

Spärrning av dörren utfördes exakt likadant vid båda dessa tillfällen men det är ändå omöjligt att avgöra huruvida dörren spändes exakt lika hårt in mot karm vid båda tillfällena. Det som möjligen skulle kunna tala för att dörren spändes något hårdare vid den sist utförda mätningen är att luftläckageflödet minskat med 20 l/s vid 50 Pa övertryck men enbart minskat med 6 l/s vid 50 Pa undertryck vid mätning 2020-05-22 jämfört med mätning 2020-02-14 (se tabell II) och att hårdare inspänning av denna dörr därmed skulle kunna vara delförklaring till den större förbättringen vid övertryck. Vår bedömning är dock att enbart en mindre del av de 20 l/s möjligen skulle kunna förklaras av olika grad av inspänning av dörren.

- Byte av mätning från A till B under övertrycksserie utfördes en punkt tidigare vid den nu utförda mätningen, vilket kan ha ytterst marginell betydelse, men att bytet utfördes en punkt tidigare berodde på att flödet var lägre vid denna mätning än vid föregående mätning och därmed uppstod behov av att byta ring tidigare.
- Vindpåverkan på byggnaden var marginellt större vid den nu utförda mätningen än vid tidigare mätningar, det var dock inte vindpåverkan som upplevdes störa mätningen på något sätt.
- Det skall observeras att tätning av ventilationsaggregatet vid samtliga mättillfällen enbart utförts genom att utelufts- och avluftsspjällen stängts, och vid samtliga mättillfällen förekom mindre läckage genom spjällen. Det är omöjligt att säga om dessa läckage var exakt lika stora vid samtliga mättillfällen.

Tryckskillnader över klimatskalet

Fläktrummet samt båda uteförråd är enbart invändigt förbundna med övrig byggnad genom ventilationskanalerna samt genom eventuella interna otätheter i de avskiljande konstruktionerna. För fläktrummet blev förbindelsen god genom att luckorna till aggregatet ställdes öppna, och fläktrummet föreföll bli minst lika trycksatt vid den nu utförda mätningen som vid mätningen 2020-02-14. Trycksättningsgraden i uteförråd 125 föreföll likvärdig vid den nu utförda som vid mätningen 2020-02-14 medan trycksättningsgraden i uteförråd 124 blev något bättre vid den nu utförda mätningen jämfört med 2020-02-14.

Vi kunde inte okulärt se några uppenbara skillnader avseende täthet vid tätningslister eller annat i uteförråd 124 vid den nu utförda mätningen jämfört med mätning 2020-02-14. Visserligen var vindpåverkan marginellt större 2020-05-22 jämfört mot tidigare vilket gör tryckmätningen över ytterdörr lite osäkrare vid detta tillfälle men för uteförråd 124 är vår uppfattning att det verkligen är skillnad, dvs. uteförråd 124 blev mer trycksatt vid den nu utförda mätningen.

I tabell III nedan redovisas uppmätta tryckskillnader (enbart undertryck) över klimatskal i olika utrymmen vid tidigare och nu utförda lufttäthetsmätning.

Tabell III. Uppmätta tryckskillnader över klimatskalet i olika utrymmen.

	Mätfall	Övrig byggnad	Fläktrum 126	Uteförråd 125	Uteförråd 124
Mätning 191002		ca -51	-49,5	-47	-46
Mätning 200214	Inga tätningsåtgärder i 125	-51,5	-49,5	-27,5	-30
	Tejpad tröskel i 125	-54,0	-	-42,5	-
	Inga tätningsåtgärder i 125 (uppmätt efter att tejp avlägsnats)	-51,0	-	-29,5	-
Mätning 200522		-50,7—-52,1	ca -51,5	ca -29,5	ca -35

Resultat lufttäthetsmätning

Tabell IV. Sammanställning av resultat från täthetsmätning.

Mättillfälle	Omslutningsyta m ²	Luftflöde vid 50 Pa undertryck l/s	Luftflöde vid 50 Pa övertryck l/s	Luftflöde vid ± 50 Pa l/s	Lufttäthet vid ± 50 Pa l/sm ²
2019-10-02	2240	398	434	416	0,19
2020-02-14		407	435	421	0,19
2020-05-22		401	415	408	0,18

Slutsats

Sett till uppmätta flöden är resultatet att det totala luftläckageflödet vid ± 50 Pa minskat från 421 l/s 2020-02-14 till 408 l/s 2020-05-22 vilket är minskning med 3,1 %. Med hänsyn till de eventuella skillnader som nämnts ovan som förekom mellan mätningarna och med hänsyn till övrig mätosäkerhet går det inte att säga att det egentligen är någon verklig skillnad i resultat mellan mätning 2020-02-14 och 2020-05-22. Vår subjektiva uppfattning är dock att resultatet är något bättre 2020-05-22.