

Eigen proef: Hoe luchtdicht zijn industriële gebouwen?

Opleiding Bachelor bouwkunde, Odisee campus Dirk Martens, Aalst.

Inleiding en omschrijving

De energieprestatieregelgeving wordt steeds strenger. Ook industriële en commerciële gebouwen die geklimatiseerd worden, vallen onder de EPB-wetgeving. Dat betekent dat dergelijke gebouwen bij nieuwbouw en bij renovatie moeten voldoen aan eisen inzake U-waarde, K-peil en ventilatie. Het warmteverlies wordt echter niet alleen bepaald door de U-waarden van de gebouwschil maar evenzeer door de aanwezigheid van bouwknoopen en ongecontroleerde in- en exfiltratie van lucht. Wat is immers het nut van een performante isolatie wanneer het gebouw heel wat kieren vertoont? Momenteel wordt met de uitvoering van bouwknoopen rekening gehouden bij de berekening van het K-peil. Over de luchtdichtheid worden geen gegevens opgenomen in het EPB-verslag. In de praktijk zijn er bijgevolg quasi geen gegevens beschikbaar over de luchtdichtheid van industriële gebouwen. Binnen deze beperkte studie wordt de luchtdichtheid van industriële gebouwen met een vloeroppervlakte van 250 tot 600m² gemeten met een pressuratie en depresuratie-test. Op basis van de resultaten kan men zich een idee vormen van de belangrijke luchtlekken, aandachtspunten bij de bouwwerkzaamheden en de te verwachten graad van luchtdichtheid. Vanaf 01 januari 2017 zullen commerciële gebouwen, opgetrokken met dezelfde, snelle bouwmethodes, wel aan een E-peileis voldoen. Indien de luchtdichtheid wordt gemeten en lager ligt dan de waarde bij ontstentenis, zal dat een positief effect hebben op het E-peil.

Relevante normen en wetgeving (EPB, normen)

Decreet houdende algemene bepalingen betreffende het energiebeleid, 08/05/2009.

In dit decreet (inclusief latere wijzigingen) wordt omschreven welke gebouwen en welke werken EPB-plichtig zijn. Dit decreet bevat eveneens de eisen die van toepassing zijn.

Specifiek voor industriële en commerciële gebouwen zijn onderstaande eisen van toepassing:

- nieuwbouw: thermische isolatie: K40 en maximale U-waarden
binnenklimaat: minimale ventilatievoorzieningen
- renovatie: thermische isolatie: maximale U-waarden voor de gerenoveerde delen
installaties: minimale eisen
binnenklimaat: minimale ventilatievoorzieningen

De belangrijkste maximale U-waarden waaraan de gebouwschilelementen moeten voldoen in 2016

- zijn:
- daken: $U \leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - vloeren: $U \leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - muren: $U \leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - deuren en poorten: $U \leq 2 \text{ W/m}^2\text{K}$

- transparante scheidingsconstructies zoals ramen: $U \leq 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{glas}} \leq 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$
- transparante scheidingsconstructies, andere dan glas: $U \leq 2 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{tp,max}} \leq 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$

Luchtdichtheidsmeting: NBN EN 13829:2001 en STS P 71-3 Luchtdichtheid van gebouwen

Een STS is een referentiedocument, met normatief en/of duidend karakter, dat een specifieke bijdrage levert voor de realisatie van bouwwerken volgens de regels der kunst en goed vakmanschap.

Deze STS-P heeft als onderwerp het uitvoeren van een in situ luchtdichtheidstest van de bouwschil van een gebouw of van bepaalde delen van een gebouw, door gebruik te maken van een methode om een over- of onderdruk te creëren met behulp van een ventilator. Deze STS bepaalt welke procedure voor opmeting dient gevolgd te worden opdat de resultaten mogen gebruikt worden in de EPB-aangifte. De STS refereert vaak naar de eisen geformuleerd in de Europese norm NBN EN 13829 : 2001.

Materiaal en methode

Materiaal:

Minneapolis Blower Door Model 4 inclusief DG-700. Het toestel bestaat uit een ventilator (fan), een demonteerbare montagekader, een luchtdicht zeil en een meetunit. De ventilator heeft een maximaal debiet van $7500 \text{ m}^3/\text{h}$. Het toestel werd geïjkt volgens de voorgeschreven procedure. De ventilator bevat verschillende ringen die kunnen weggenomen of bijgeplaatst worden. Hoe meer ringen worden geplaatst, hoe lager het debiet van de ventilator. Sturen van de unit en uitvoeren van de testprotocollen gebeurt via bijhorende software Tectite 3.6. Via deze software wordt een curve bekomen voor het lekdebiet in functie van het drukverschil. Dit programma genereert proefrapporten.

Rooktoestel. Met dit toestel wordt rook geproduceerd zodat luchtstromingen duidelijk worden.

Infraroodcamera FLIR. Dit toestel laat toe om koudere en warmere zones te visualiseren. Belangrijk voor het gebruik van de FLIR bij het opsporen van luchtlekken is de aanwezigheid van een voldoende groot temperatuurverschil.

Methode

De meting van de luchtdichtheid gebeurt volgens de standaardmethode, zoals weergegeven in STS-P 71-3. Het doel van deze metingen is zowel het identificeren van luchtlekken als het bepalen van de lekdebiet bij een drukverschil van 50 Pa (v_{50} -waarde) en het infiltratievoud (n). Hieronder wordt een verkort stappenplan weergegeven op basis van de STS en de gebruikshandleiding van de Minneapolis Blower Door.

De gevolgde stappen zijn:

1. bepalen van de op te meten zone

De gemeten gebouwen waren telkens units die behoorden tot een groter geheel. De vloeroppervlakte bedroeg 250 tot 600 m^2 . De volledige unit, inclusief kantoor indien aanwezig, werd opgemeten.

2. verzamelen van kwantitatieve gegevens zoals oppervlakte en volume van de op te meten zone

De bepaling van de testoppervlakte A_{test} (m^2) van de gebouwschil gebeurt op dezelfde manier als voor de bepaling van de warmteverliesoppervlakte. Dit betekent dat enkel gebouwschildelen worden opgeteld die in contact met de buitenomgeving staan. Er werden geen vrijstaande units getest, enkel halfopen of gesloten gebouwen.

Het binnenvolume van de opgemeten zone, aangeduid door V_{int} , wordt gedefinieerd in de norm NBN EN 13829:2001. Dit volume wordt berekend op basis van de globale binnenafmetingen. Geen enkele mindering mag doorgevoerd worden voor het volume van de binnenmuren of binnenvloeren. Men houdt evenmin rekening met het volume van de openingen in de buitenwanden voor deuren en ramen. Dit kan door de netto-oppervlakte van de vloer te vermenigvuldigen met de gemiddelde netto-plafondhoogte.

De binnen- en buitentemperatuur worden eveneens genoteerd.

3. Voorbereiden van het gebouw in overeenstemming met het doel van de proef

Er wordt gekozen voor de standaardmethode. Dit betekent dat getest wordt volgens proefmethode A. Alle systemen die lucht toevoeren naar de te meten zone of die lucht afvoeren naar de buitenlucht, behalve de systemen die eventueel betrokken zijn bij het meten van de luchtdichtheid, worden stilgelegd worden alvorens de proef uit te voeren. Voorbeelden hiervan zijn airconditioning en ventilatietoestellen. Hoe moet worden omgegaan met openingen binnen de te meten zone en in de schil, wordt in onderstaande tabel weergegeven (tabel1).

Tabel1. Overzicht van open te laten en af te sluiten openingen volgens proefmethode.

Bestanddelen	Toestand	
	Proefmethode A	Proefmethode B
Openingen binnen de te meten zone (zie §5.7.3.3)		
> Deuren, vensters, luiken en andere bewuste openingen (behalve de afwijkingen, zie §5.7.3.3) – bv.:	Open	Open
• deuren naar een technische ruimte, stookruimte, enz...	Open	Open
• luiken groter dan 1 m ² , luik naar een toegankelijke ruimte voor het onderhoud van installaties	Open	Open
Openingen in de schil van de te meten zone		
> Mechanische ventilatieopeningen (9)	Afgedicht (zie §5.7.3.4)	Afgedicht (zie §5.7.3.4)
> Regelbare natuurlijke ventilatieopeningen (voor toevoer en afvoer) met sluitvoorziening (1) (9)	Sluiting verplicht - afdichting toegestaan (10)	Afgedicht
> Andere regelbare ventilatieopeningen met sluitvoorziening (bv. intensief nachtventilatiesysteem) (2)	Gesloten	Afgedicht
> Andere openingen met sluitvoorziening – bv.: (3)		
• buitendeuren en -vensters	Gesloten	Gesloten
• deuren en luiken naar een binnenvolume buiten de te meten zone: naar een kelder, garage, zolder, verluchte ruimte, niet-bewoonbare zolder, enz...	Gesloten	Gesloten
• brievenbussen, toegangsluiken voor huisdieren (kattenluik)	Gesloten (4)	Gesloten (4)
• grijswaterafvoeren	Gesloten (5)	Gesloten (5)
• luchtafvoerroosters met sluiting, voor een droogkast, een afzuigkap	Gesloten (4) (6)	Afgedicht
• schoorstenen met sluiting (open haard, stookketel, kachel, enz.)	Gesloten (6) (7)	Afgedicht (7) (8)
• brandafsluitingen	Gesloten (zie §5.7.3.5)	Gesloten (zie §5.7.3.5)
> Andere openingen zonder sluitvoorziening, bijvoorbeeld: (6)		
• niet-sluitbare verluchtingsroosters (bijvoorbeeld luchtinlaat van een toestel met open verbranding, enz.)	Open (niet afgedicht)	Afgedicht

• ventilatie van de grijswaterafvoeren	Open (niet afgedicht)	Afgedicht
• deursloten, gaten voor riemen van rolluik	Open (niet afgedicht)	Open (niet afgedicht)
• luchtafvoerroosters zonder sluiting (bijvoorbeeld haardroger, afzuigkap, enz.) en schoorsteen zonder sluiting (open haard, stookketel, kachel, enz.)	Open (niet-afgedicht) (6) (7)	Afgedicht (7) (8)
• openingen tijdens of in afwachting van werken (behoudens afwijking - zie §5.7.3.6)	Open (niet afgedicht)	Afgedicht

4. Installeren van de apparatuur

Bij de uitvoering van een standaardtest wordt de apparatuur in een buitenopening (deur of venster) aangebracht die in principe de beste luchtdichtheid vertoont. Het is bijgevolg meer aangewezen om de apparatuur in een deur dan in een poort te plaatsen. De positie van de apparatuur moet gepreciseerd worden in het proefverslag. Belangrijk is dat de luchtdichtheid tussen de overdrukapparatuur en het gebouw verzekerd is. Dit wordt gerealiseerd door goede plaatsing van de Minneapolis Blower Door.

Het montagekader wordt klaargemaakt en in elkaar geklikt op ongeveer de juiste afmetingen van de deur. Het zeil wordt rond het kader geplaatst en met velcro bevestigd. Het geheel wordt in de deuropening geplaatst en het montagekader wordt aangepast aan de afmetingen van de deuropening. Om voldoende luchtdichtheid te garanderen, wordt het geheel extra opgespannen met specifieke hendels. Nadien wordt de ventilator in de opening gemonteerd (afbeelding 1). De bedieningsbakjes worden opgehangen waarna alle slangen correct worden aangesloten (afbeelding 2).



Afbeelding 1. Ventilator geplaatst in deuropening



Afbeelding 2. Bedieningsbakjes

Het doorschijnend slangetje met T-stuk wordt buiten gelegd en aangesloten op het zeil. Langs de binnenzijde wordt hierop het groene buisje aangesloten. Dit wordt aangesloten op het A-kanaal van het witte bedieningsbakje; op deze manier wordt de gebouwdruk gemeten tegenover de buitendruk. De rode slang wordt aangesloten op de ventilator en de input van kanaal B. Deze meet de ventilatordruk en het debiet. Beide bedieningsbakjes worden aan elkaar gekoppeld via een meegeleverde kabel en via een poort verbonden aan de computer. Het programma kan worden opgestart en alle gegevens zoals de testmethode, het gebouwvolume, vloeroppervlakte, verliesoppervlakte, windsterkte en temperatuur worden ingegeven. Daarnaast moet worden gekozen tussen het aanbrengen van onderdruk (depressurize) of overdruk (pressurize).

5. Aanbrengen van een drukverschil

Vooraleer een volledige meting met bepaling van de over/onderdrukcurve uit te voeren, wordt gestart met een "cruise"-test. Bij deze test zal de ventilator streven naar een drukverschil van 50Pa en dit behouden. Indien het debiet te hoog of te laag is, moeten ringen worden verwijderd of toegevoegd.

6. Identificatie van luchtlekken

Tijdens de "cruise"-test, kunnen makkelijk luchtlekken worden opgespoord met behulp van rookstaafjes, een rooktoestel of infraroodcamera. De ventilator blijft immers een constant drukverschil van 50 Pa nastreven. Op deze manier worden lekken opgespoord en gevisualiseerd. Luchtlekken komen vaak voor ter hoogte van aansluitingen en overgangen tussen materialen.

Voorbeelden zijn spleten onder deuren en ter hoogte van scharnieren, de aansluiting van een sectionaalpoort aan de wand, lekken langs stopcontacten en schakelaars.

7. Overgaan tot het opmeten van het lekdebiet bij over- en onderdruk

Het opmeten van het lekdebiet vereist 5 metingen bij een verschillend drukverschil, bij een maximale windsnelheid van 6m/sec. Op basis van deze resultaten kan een curve gegeneerd worden waarbij het lekdebiet wordt uitgezet in functie van het drukverschil. Een dergelijke curve wordt opgesteld voor zowel over- als onderdruk.

Het aanwezige natuurlijke drukverschil tussen binnen en buiten, het nuldebiet, veroorzaakt door wind en het verschil tussen binnen-en buitentemperatuur moet voldoen aan eisen omschreven in de norm NBN EN 13829:2001.

Het toestel doorloopt de testmodule automatisch en voert een nulmeting uit voor en na de testprocedure. Wanneer het gewenste drukverschil wordt bereikt, meet het toestel 100 waarden vooraleer naar een lager drukverschil over te gaan.

8. Proefverslag

De grootheden die de prestatie van de luchtdichtheid van een gebouw beschrijven, worden uitgedrukt voor een referentiedrukverschil. In België is dit referentiedrukverschil gelijk aan 50Pa.

Lekdebiet bij het referentiedrukverschil - V₅₀

Dit is het luchtdebiet dat door de schil van de opgemeten zone passeert bij het referentiedrukverschil van 50 Pa, oftewel V₅₀ (m³/h). Het luchtlekdebiet voor metingen met overdruk wordt aangeduid met behulp van V₅₀₊, terwijl voor metingen met onderdruk V₅₀₋ gebruikt wordt.

Luchtdoorlatendheid bij het referentiedrukverschil

Dit is het debiet van de luchtlekken bij het referentiedrukverschil ten opzichte van de testoppervlakte van de opgemeten zone. De testoppervlakte A_{test} werd reeds eerder bepaald. De luchtdoorlatendheid v₅₀ (m³/h m²) is dan:

$$v_{50} = \dot{V}_{50} / A_{test}$$

Deze waarde wordt gebruikt bij de EPB-regelgeving.

Ventilatievoud bij het referentiedrukverschil

Het ventilatievoud wordt bepaald op basis van het binnenvolume van de opgemeten zone, weergegeven als n₅₀ (1/h) en gedefinieerd als hoeveel keer het totale interne gebouwvolume per uur via infiltratie wordt vernieuwd.

$$n_{50} = \dot{V}_{50} / V_{int}$$

Deze resultaten worden opgenomen in het proefverslag.

De testresultaten, gegeneerd door het programma Loctite, kunnen toegevoegd worden aan het proefverslag.

Resultaten en bespreking

In totaal werden negen gebouwen getest. Per gebouw wordt omschreven wat de eigenschappen zijn. De resultaten van de opmeting worden besproken en een overzicht van mogelijke en geïdentificeerde luchtlekken wordt weergegeven. De meetrapporten worden in bijlage per gebouw toegevoegd.

De luchtdichtheid kan worden beoordeeld op basis van de v_{50} ($\text{m}^3/\text{h m}^2$) conform de EPB-regelgeving waarbij: $v_{50}= 6-12$: normaal, $v_{50}= 2-6$: goed dankzij een gericht ontwerp en $v_{50}<2$: zeer goed dankzij nauwgezette uitvoering van detaillering en aandacht aan luchtdichtheid.

Passiefgebouwen moeten voldoen aan een ventilatievoud $n_{50} < 0,6/\text{h}$.

Om de luchtdichtheid van gebouwen onderling te vergelijken, is het beter het ventilatievoud of het lekdebiet te gebruiken. De luchtdoorlatendheid wordt immers berekend op basis van de A_{test} , welke varieert indien het gebouw halfopen of gesloten is opgetrokken. Een rij-unit zal hierdoor een slechtere waarde hebben dan een hoek of vrijstaande unit.

De infraroodcamera kon niet gebruikt worden om luchtlekken op te sporen aangezien het temperatuurverschil tussen binnen- en buitenomgeving te klein was (2 tot 5°C).

Gebouw 1.

Omschrijving: KMO-unit nummer 18 behorende tot een bedrijfsverzamelgebouw met in totaal 11 units, volledig gesloten en nog niet in gebruik. De betonnen plint is opgetrokken in sandwichpanelen tot een hoogte van 1,5m. Daarboven werden geïsoleerde metalen sandwichpanelen geplaatst. De binnenwanden zijn opgetrokken in betonpanelen (brandwanden). Het dak is uitgevoerd met steeldeck, isolatie en een dakafdichting (afbeelding 3). Het type dakafdichting en de plaatsingswijze zijn onbekend.

Vloeroppervlakte: 264m^2

$V_{\text{int}}=1784\text{m}^3$

$A_{\text{test}} = 711\text{m}^2$



Afbeelding 3. KMO-unit te Melsele.

Meetresultaten en bespreking: een drukverschil aanleggen van 70Pa was niet mogelijk door het beperkte debiet van de ventilator. Bijgevolg werd een curve bekomen voor een maximaal drukverschil van 60Pa. Hieronder worden de waarden voor de luchtdichtheid weergegeven (Tabel2).

Tabel2. Meetresultaten gebouw 1.

	Onderdruk	Overdruk	Gemiddelde
Lekdebiet (m ³ /h)	6601	6630	6615
n50 (1/h)	3,7	3,71	3,7
v50 (m ³ /h m ²)	9,28	9,32	9,30

Opgespoorde luchtlekken: een groot luchtlek was aanwezig ter hoogte van de sectionaalpoort. Aangezien het gebouw nog niet in gebruik is, kan de poort enkel manueel worden gesloten. Hierdoor raken de rubbers onderaan de poort de grond onvoldoende. Je kon de luchtstroming duidelijk voelen. Ter hoogte van de poort was een spleet aanwezig waardoor licht naar binnen kwam (Afbeelding 4). Aan andere aansluitingen of doorvoeren van elektriciteit of water was geen luchtstroming voelbaar of visualiseerbaar. Er was wel een lichtstraat en apart RWA (rookluik) aanwezig. Deze waren echter niet bereikbaar. Het is eveneens mogelijk dat er een luchtlek is ter hoogte van de aansluiting van de dakafdichting aan de opstand indien de dakafdichting enkel mechanisch werd bevestigd. Het was onmogelijk om dit te controleren. PVC dakdichting!



Afbeelding 4. Linkeronderhoek poort.

Gebouw 2.

Omschrijving: KMO-unit nummer 16 behorende tot een bedrijfsverzamelgebouw met in totaal 11 units, volledig gesloten en nog niet in gebruik. De betonnen plint is opgetrokken in sandwichpanelen tot een hoogte van 1,5m. Daarboven werden geïsoleerde metalen sandwichpanelen geplaatst. De binnenwanden zijn opgetrokken in betonpanelen (brandwanden). Het dak is uitgevoerd met steeldeck, isolatie en een dakafdichting. Het type dakafdichting en de plaatsingswijze zijn onbekend.

Vloeroppervlakte: 265m²

$V_{int} = 1790\text{m}^3$

$A_{test} = 712\text{m}^2$

Meetresultaten en bespreking: dit gebouw is zeer gelijkaardig aan het voorgaande en behoort tot hetzelfde verzamelgebouw. Het is dan ook te verwachten dat de resultaten gelijkaardig zijn. Een drukverschil aanleggen van 70Pa was niet mogelijk door het beperkte debiet van de ventilator. Bijgevolg werd een curve bekomen voor een maximaal drukverschil van 60Pa. Hieronder worden de waarden voor de luchtdichtheid weergegeven (Tabel3).

Tabel3. Meetresultaten gebouw 2.

	Onderdruk	Overdruk	Gemiddelde
Lekdebiet (m ³ /h)	5907	6102	6005
n_{50} (1/h)	3,3	3,41	3,35
v_{50} (m ³ /h m ²)	8,3	8,57	8,43

Zoals verwacht liggen het lekdebiët en ventilatievoud in dezelfde lijn als het vorige gebouw, het verschil bedraagt ongeveer 10%.

Opgespoorde luchtlekken: de sectionaalpoort was de enige plaats waar een duidelijke luchtstroming aanwezig was.

Gebouw 3.

Omschrijving: KMO-gebouw opgebouwd uit verschillende delen. Bij aankomst bleek dat slechts één ruimte van het gebouw kon worden gemeten, aangezien de poorten van de andere lokalen nog niet geplaatst waren. Dit lokaal bevindt zich op de eerste verdieping, boven de toekomstige showroom (afbeelding 5). Dit deel van het gebouw is opgetrokken met horizontaal geplaatste geïsoleerde staalsandwichpanelen. Het dak is uitgevoerd met steeldeck, isolatie en een dakafdichting (afbeelding 6). Het type dakafdichting en de plaatsingswijze zijn onbekend.

Vloeroppervlakte: 240m²

$V_{int} = 840\text{m}^3$

$A_{test} = 352\text{m}^2$



Afbeelding 5. Buitenaanzicht voorbouw.



Afbeelding 6. Ruimte boven showroom.

Meetresultaten en bespreking: bij inspectie van het gebouw bleek dat de steeledek tussen verschillende ruimtes doorloopt (afbeelding 7). Hierdoor was reeds duidelijk dat het bekomen van een meetresultaat zeer moeilijk zou worden.



Afbeelding 7. Steeledek loopt door naar aangrenzende loods.

Bij het maximale debiet van de ventilator kon slechts een drukverschil van maximaal 9Pa worden bekomen. Toch werd getracht nog andere luchtlekken op te sporen. De ramen waren zeer goed aangesloten op de sandwichpanelen met behulp van EPDM, waardoor daar geen lekken vindbaar waren (afbeelding 8).



Afbeelding 8. Aansluiting van raam op sandwichpaneel en metaalstructuur.

Ter hoogte van één verticale voeg tussen de sandwichpanelen begon de slab te flapperen bij onderdruk wat erop wijst dat deze niet zo goed was uitgevoerd dan de andere voegen. Ook ter hoogte van stopcontacten was een luchtstroming voelbaar. De gebruikte sandwichpanelen waren in de aansluiting voorzien van een mousse. Het is echter zeer belangrijk dat de platen voldoende contact hebben via deze mousse. Zoniet zal de luchtdichtheid dalen (afbeeldingen 9 en 10).



Afbeelding 9. Beperkt contact tussen sandwichpanelen.



Afbeelding 10. Plaatsing volgens de regels van de kunst.

Gebouw 4.

Omschrijving: Vrijstaande KMO-unit die later zal worden opgenomen in bedrijfsverzamelgebouw. De betonnen plint is opgetrokken in sandwichpanelen tot een hoogte van 1,5m. Daarboven werden geïsoleerde metalen sandwichpanelen geplaatst. De toekomstige brandwanden die momenteel dienst doen als buitenwand, zijn opgetrokken in Hebelpanelen (celbeton). De achtergevel bestaat ook uit gestapelde hebel-panelen (afbeelding 11). Het dak is uitgevoerd met steeldeck, isolatie en een dakafdichting. Het type dakafdichting en de plaatsingswijze zijn onbekend.



Afbeelding 11. KMO-unit opgebouwd met Hebel-panelen.

Vloeroppervlakte: 242m²

$V_{int} = 1815\text{m}^3$

$A_{test} = 964\text{m}^2$

Meetresultaten en bespreking: het gebouw kon enkel gemeten worden in onderdruk. Door windvlagen kon het toestel geen stabiel drukverschil van 70Pa handhaven. Hierdoor gaf het toestel een foutmelding. In de "cruise"-modus werd wel een overdruktest gedaan bij een drukverschil van 50Pa en deze waarde wordt gebruikt in onderstaande tabel

Tabel 4. Meetresultaten gebouw 4.

	Onderdruk	Overdruk	Gemiddelde
Lekdebiet (m ³ /h)	1316	1362	1339
n_{50} (1/h)	0,73	0,75	0,74
v_{50} (m ³ /h m ²)	1,36	1,41	1,39

Op basis van de meetresultaten kan worden geconcludeerd dat dit gebouw zeer luchtdicht is en bijna voldoet aan de eisen voor een passiefgebouw. Dit kan deels worden verklaard door de afwezigheid van rookluiken in het dak en door plaatsing van de Hebelwand volgens de regels van de kunst (afbeelding 12).



Afbeelding 12. Dubbele mousseband gebruikt bij plaatsing van Hebelpanelen.

Er kon nog één luchtlek worden vastgesteld ter hoogte van de deur naast de sectionaalpoort. Onderaan deze deur was een spleet zicht- en voelbaar.

Gebouw 5.

Omschrijving: Gerenoveerde KMO-unit behorende tot een bedrijfsverzamelgebouw. Een oude hal werd ingedeeld en gerenoveerd. Er is een betonplint aanwezig tot 30cm boven de grond. Daarop werden binnendozen geplaatst, gevuld met isolatie en langs buiten afgewerkt met een geprofileerde staalplaat (afbeelding 13). Ook de binnenwanden zijn op deze manier opgetrokken. Het dak is uitgevoerd met steeldeck, isolatie en een dakafdichting. Het type dakafdichting en de plaatsingswijze zijn onbekend.



Afbeelding 13. Buitenaanzicht KMO-verzamelgebouw.

Vloeroppervlakte: 432m²

$V_{int} = 2592\text{m}^3$

$A_{test} = 972\text{m}^2$

Meetresultaten en bespreking: de meetresultaten voor dit gebouw waren niet goed. Bij maximaal debiet (7872m³/h) kon enkel een drukverschil van 33 Pa gerealiseerd worden. Dit was zowel voor onder- als overdruk het geval. Op basis daarvan kan het lekdebiet bij 50Pa ruwweg op 10.000m³ worden geschat (Tabel3).

Tabel5. Geschatte debieten voor gebouw 5.

	Onderdruk	Overdruk	Gemiddelde
Lekdebiet (m ³ /h)	10.000	10.000	10.000
n_{50} (1/h)	3,85	3,85	3,85
v_{50} (m ³ /h m ²)	10,2	10,2	10,2

Door het grotere volume van deze unit, was het debiet van de ventilator ontoereikend. Herhalen van de meting met meerdere ventilatoren is aangewezen.

Opgespoorde luchtlekken: Onderaan de sectionaalpoort was luchtstroming voelbaar. De andere plaatsen waar duidelijk luchtlekken waarneembaar zijn, is ter hoogte van de aansluiting van de binnendozen op de gevelplint (afbeelding 14). Tussen de binnendozen onderling was geen luchtlek opspoorbaar.



Afbeelding 14. Luchtlek ter hoogte van de aansluiting tussen de betonplint en binnendoos.

De ramen van het bureel waren niet vervangen tijdens de renovatie en ook daar waren duidelijk luchtlekken aanwezig (afbeelding 15).



Afbeelding 15. Luchtlek ter hoogte van onderkant raamaanluiting .

Gebouw 6.

Omschrijving: Gerenoveerde KMO-unit behorende tot een bedrijfsverzamelgebouw. Een oude hal werd ingedeeld en gerenoveerd. Er is een betonplint aanwezig tot 30cm boven de grond. Daarop werden binnendozen geplaatst, gevuld met isolatie en langs buiten afgewerkt met een geprofileerde staalplaat (afbeelding 13). De binnenwanden naar een andere unit werd opgetrokken met geïsoleerde staalsandwichpanelen. Het dak is uitgevoerd met steeldeck, isolatie en een dakafdichting. Het type dakafdichting en de plaatsingswijze zijn onbekend. Deze unit behoorde tot een gelijkaardig bedrijfsgebouw als het voorgaande en was gerenoveerd door dezelfde uitvoerder.

Vloeroppervlakte: 648m²

$V_{int} = 3888\text{m}^3$

$A_{test} = 1692\text{m}^2$

Meetresultaten en bespreking: dit gebouw is zeer gelijkaardig aan het voorgaande. Het is dan ook te verwachten dat de resultaten gelijkaardig zijn. Doordat dit gebouw echter nog groter was dan het voorgaande, kon geen voldoende groot drukverschil gerealiseerd worden.

Opgespoorde luchtlekken: Het gebouw had 2 sectionaalpoorten, waarvan er één onderaan duidelijk niet aansloot op de vloerplaat (spleet zichtbaar). Het was duidelijk dat aan de afwerking en detaillering onvoldoende aandacht was besteed. De sandwichpanelen die deze unit van de andere scheiden, waren niet afgedicht ter hoogte van de aansluiting op de geprofileerde staalplaat van de buitenwanden (afbeelding 16). Dit alleen zorgt voor een groot luchtlek.



Afbeelding 16. Onvoldoende afdichting tussen scheidingswand en buitenmuur.

Gebouw 7.

Omschrijving: Generoveerde KMO-unit behorende tot een bedrijfsverzamelgebouw. Een oude hal werd ingedeeld en gerenoveerd. Er is een betonplint aanwezig tot 30cm boven de grond. Daarop werden binnendozen geplaatst, gevuld met isolatie en langs buiten afgewerkt met een geprofileerde staalplaat (afbeelding 13). De binnenwanden naar een andere unit werd opgetrokken met binnendozen. Het dak is uitgevoerd met steeldeck, isolatie en een dakafdichting. Het type dakafdichting en de plaatsingswijze zijn onbekend. Deze unit behoorde tot hetzelfde bedrijfsgebouw als het gebouw 5.

Vloeroppervlakte: 432m²

$V_{int} = 2592\text{m}^3$

$A_{test} = 972\text{m}^2$

Meetresultaten en bespreking: dit gebouw is zeer gelijkaardig aan gebouw nummer 5 en behoort tot hetzelfde verzamelgebouw. Het is dan ook te verwachten dat de resultaten gelijkaardig zijn. Het maximale drukverschil dat gerealiseerd on worden bij over- en onderdruk was 20Pa. Dit gebouw is bijgevolg minder luchtdicht dan het gebouw aan de achterzijde.

Opgespoorde luchtlekken: er was ter hoogte van de aansluitingen tussen de betonplint en de binnendozen luchtstroming voelbaar. Daarenboven waren ventilatiebuizen in de unit geplaatst die steeds natuurlijke ventilatie toelaten (afbeelding 17).



Afbeelding 17. Open ventilatiekanalen

Er waren ook verscheidene gaten in de binnendozen gemaakt met een diameter van ongeveer 15cm. Zo was de bardageplaat zichtbaar. Deze fungeren als een schoorsteen. Dit is dan ook een mogelijke verklaring voor het verschil in luchtdichtheid tussen dit gebouw en gebouw 5.

Gebouw 8.

Omschrijving: KMO-unit behorende tot een bedrijfsverzamelgebouw met in totaal 9 units, volledig gesloten en in gebruik. De betonnen plint is opgetrokken in sandwichpanelen tot een hoogte van 0,3m. Daarboven werden geïsoleerde metalen sandwichpanelen geplaatst (afbeelding 18). De binnenwanden zijn opgetrokken in hebelpanelen en betonpanelen (brandwanden). Het dak is uitgevoerd met steeldeck, isolatie en een dakafdichting. De dakafdichting bestaat uit PVC-banen die mechanisch bevestigd zijn.



Afbeelding 18. Eén unit van het verzamelgebouw.

Vloeroppervlakte: 240m²

$V_{int} = 1440\text{m}^3$

$A_{test} = 660\text{m}^2$

Meetresultaten en bespreking: hoewel het om een nieuwbouw gaat, was het onmogelijk een drukverschil aan te leggen van 70Pa door het beperkte debiet van de ventilator. Bij het maximale debiet kon in de overdrukmodus slechts een drukverschil van 38Pa gerealiseerd worden. Bij het plaatsen van het gebouw in onderdruk kon een drukverschil van 50Pa behaald worden bij een debiet van 7400m³/h. Voor deze situatie worden enkel de waarden bij onderdruk manueel berekend (tabel 6).

Tabel 6. Berekende resultaten voor gebouw 8.

	Onderdruk	Overdruk	Gemiddelde
Lekdebiet (m ³ /h)	7400		
n_{50} (1/h)	5,1		
v_{50} (m ³ /h m ²)	11,21		

Opgespoorde luchtlekken: de luchtdichtheid van dit gebouw is gezien zijn recente constructiedatum helemaal niet goed. Sommige gerenoveerde gebouwen doen het zelfs beter. Ter plaatse konden verschillende luchtlekken geïdentificeerd worden:

- ter hoogte van poort: hoewel de luchtlekken onderaan de poort meevielen door de aanwezigheid van een rubber, was er heel veel infiltratie langs de zijkant. Er is geen dichtingsmiddel gebruikt tussen de bevestigingsrail van de poort en het staalprofiel van het gebouw waaraan de poort is bevestigd. Der was zelfs duidelijk een spleet aanwezig waarlangs licht binnen trad (afbeelding 19).



Afbeelding 19. luchtlek langs de zijdelingse aansluiting van de poort.

- ter hoogte van de dakranden: er was duidelijk luchtbeveging merkbaar ter hoogte van het plafond (bewegende stofwebben). Dit kan verklaard worden door het gebruik van mechanisch bevestigde PVC-dakafdichting. Vaak wordt deze afdichting niet verlijmd langs de opstanden waardoor het geheel helemaal niet luchtdicht is.

Ter hoogte van de ramen en langs de binnenwanden waren geen lekken merkbaar.

Gebouw 9.

Omschrijving: KMO-unit behorende tot een bedrijfsverzamelgebouw met in totaal 3 units, hoekunit. De uit is volledig opgetrokken in beton. De wanden bestaan uit betonsandwichpanelen, de

brandwanden uit enkelvoudige sandwichpanelen (afbeelding 20). Het dak bestaat uit TT-liggers, isolatie en roofing.



Afbeelding 20. Gebouw opgetrokken in beton sandwichpanelen.

Vloeroppervlakte: 240m²

$V_{int} = 1620\text{m}^3$

$A_{test} = 837\text{m}^2$

Meetresultaten en bespreking: dit was zeer makkelijk meetbaar en de luchtverliezen zijn beperkt. De meetresultaten worden weergegeven in onderstaande tabel (Tabel 7). Beton sandwichpanelen waarvan de voegen volgens de regels van de kunst zijn uitgevoerd, zijn luchtdicht. In het gebouw was bovendien geen rookluik aanwezig, enkel een lichtstraat.

Tabel 7. Meetresultaten gebouw 9.

	Onderdruk	Overdruk	Gemiddelde
Lekdebiet (m ³ /h)	1915	2103	2009
n_{50} (1/h)	1,18	1,3	1,24
v_{50} (m ³ /h m ²)	2,29	2,51	2,4

Opgespoorde luchtlekken: aan de sectionaalpoort, was een normaal luchtlek aanwezig, onderaan aan de zijkant van de poort. Enkel ter hoogte van de deuren werden andere luchtlekken geïdentificeerd, zoals aan de onderzijde (enkel tochtborstel, spleet zichtbaar) maar evenzeer ter hoogte van de profilering van de deurpanelen (afbeelding 21).

HAO-1

Academiejaar 2015 2016



Afbeelding 21. Detail van profilering deurpaneel met aanduiding luchtlek

Besluit

Hoewel de variatie zeer groot was en er te weinig data aanwezig is voor statische analyse, levert dit onderzoek een aantal interessante conclusies op. Een eerste vaststelling is dat het bekomen van een zeer goede luchtdichtheid geen utopie is, zelfs zonder dat de bouwheer er expliciet om vraagt. Wel beschikken deze gebouwen niet over een rookluik. Een tweede vaststelling is dat een nieuwbouw gebouw niet automatisch meer luchtdicht is dan een gerenoveerd gebouw. Tenslotte kunnen er nog een aantal tips worden gegeven om de luchtdichtheid te verbeteren:

- gebruik een zwelband bij de plaatsing van poorten en kies voor poorten die onderaan over een rubber beschikken
- gebruik een dubbele zwelband bij de plaatsing Hebel-panelen, zoals door de fabrikant voorgeschreven
- plaats stalen sandwichpanelen goed aansluitend
- bevestig dakafdichting niet enkel mechanisch aangezien dit tot ernstige luchtverliezen leidt
- laat steeldeckplaten niet doorlopen naar andere units of voorzie cannelurevulling en een afscheidingsplaat
- schenk voldoende aandacht aan aansluitingen zoals de overgang van een betonplint naar een sandwichpaneel of binnendoos en maak gebruik van bijvoorbeeld EPDM-stroken.

Bijkomend onderzoek op grotere schaal en in functie van de ouderdom van het gebouw en de bouwmethode zijn aangewezen. Op basis daarvan kunnen good practices worden ontwikkeld.