

Lucht- en waterdichtheid bij historisch schrijnwerk

Victor Callebaut, Wout Rogge

Studentennummer: 02006739, 02010152

Promotor: prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche

Begeleider: ir.-arch. Bruno Vanderschelden

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van

Master of Science in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Academiejaar 2023-2024

Lucht- en waterdichtheid bij historisch schrijnwerk

Victor Callebaut, Wout Rogge

Studentennummer: 02006739, 02010152

Promotor: prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche

Begeleider: ir.-arch. Bruno Vanderschelden

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van

Master of Science in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Academiejaar 2023-2024

Woord vooraf

Lucht- en waterdichtheidstesten worden frequent uitgevoerd op buitenschrijnwerk. Iedere raamfabrikant is verplicht om dergelijke testen uit te voeren. De niche ‘historisch schrijnwerk’ wordt maar weinig onderworpen aan dit soort testen. Zowel in de literatuur als in de praktijk wordt opgemerkt dat dit deeldomein binnen de buitenschrijnwerksector nog in haar kinderschoenen staat. Tijdens deze masterproef wordt experimenteel op zoek gegaan naar verbeteringen om de lucht- en waterdichtheid van historisch schrijnwerk te optimaliseren. Het streven naar een optimale configuratie om de beste prestaties te leveren, werd onze drijfveer tijdens de totstandkoming van deze thesis. Zoals het bij elke masterproef wellicht het geval is, beleefden wij ook enkele onverwachte moeilijke momenten die zich voordeden en daardoor onze planning licht wijzigden. Niet tegen staande werd toch getracht een degelijk en waardevol eindresultaat af te leveren.

Deze thesis zou, zonder de hulp van enkele bijzondere personen, nooit tot stand kunnen gekomen zijn. Daarom willen wij, Victor Callebaut en Wout Rogge, dan ook graag onze oprechte bedanking uitspreken naar iedereen die ons op de ene of andere manier heeft gesteund om dit eindwerk naar een mooi slotakkoord van onze studies industrieel ingenieur bouwkunde te begeleiden.

Allereerst wensen we onze promotor, die tevens fungeert als begeleider, Dhr. prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche te bedanken. Hij schikte zijn thesisonderwerp naar onze interesse. Hierdoor werden wij meer gemotiveerd. We konden steeds bij hem terecht met vragen over het thesis-onderwerp. Hij kon ons steeds een klaar en duidelijk antwoord verschaffen. De positieve manier waarop hij studenten begeleidt, wordt geapprecieerd. Daarnaast willen wij ook de firma Denys nv, vertegenwoordigd door dhr. F. De Blauwer en dhr. B. De Sutter, bedanken voor de toelevering van de testelementen en andere testmaterialen. Ook dient nog een dankwoord te gaan naar het technisch personeel van het testcentrum Gevelementen van de Universiteit. Zij hielpen ons steeds bij de voorbereiding en opzetting van de testen. Verder willen we ook de personen bedanken die hun huis of kotgebouw openstelden waar wij in-situ testen konden uitvoeren.

Tot slot nog een dankwoord richting onze ouders, broers en vrienden. Zij stonden steeds paraat met een luisterend oor. Ze aanhoorden ons geklaag wanneer het even tegenzat tijdens deze masterproef, maar gaven ons tegelijk steeds de moed om verder te gaan.

Victor Callebaut en Wout Rogge geven de toelating om deze masterproef voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de masterproef te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de bepalingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze masterproef.

30 mei 2024

Toelichting i.v.m. het masterproefwerk en de mondelinge uiteenzetting

Deze masterproef vormt een onderdeel van een examen. Eventuele opmerkingen die door de beoordelingscommissie tijdens de mondelinge uiteenzetting van de masterproef werden geformuleerd, werden niet verwerkt in deze tekst.

Abstract met eventueel kernwoorden

Tijdens deze masterproef worden de lucht- en waterdichtheid van historisch schrijnwerk geëvalueerd. De metingen gebeuren op twee manieren. Enerzijds worden testen in-situ uitgevoerd met behulp van blowerdoortesten, anderzijds worden testen uitgevoerd in laboratoriumomstandigheden in het testcentrum gevelelementen van de Universiteit van Gent. De laatst beschreven testen worden uitgevoerd op testramen die geleverd worden door het bedrijf Denys nv.

Lucht- en waterdichtheidstesten worden uitgevoerd op die testramen. Verschillende aanpassingen worden uitgevoerd op het testraam om betere testresultaten te bekomen. Zo kan gevarieerd worden in de soort afdichtingen, het gebruik van een extra glaslat of de uitbreiding van het aantal afwateringskanalen in de onderregel van het raam.

Voor luchtdichtheidstesten wordt op zoek gegaan naar een zo klein mogelijk luchtlekdebiet bij een zo groot mogelijk drukverschil dat over het testraam geplaatst wordt. Met behulp van de testinstallatie kan een luchtdebiet [Pa] in diafragma's omgezet worden naar een luchtlekdebiet per vierkante meter doorheen de kieren en spleten van het raam. De periode waarin een testraam een bepaalde waterbelasting kan tegenhouden bij een bepaald drukverschil is doorslaggevend voor de waterdichtheidstesten. Vanaf het moment dat met het blote oog waterlekken doorheen het raamwerk opgemerkt worden, kan besloten worden dat het raam tot die bepaalde waterbelasting waterdicht is.

Sleutelwoorden: historisch schrijnwerk – luchtdichtheid – waterdichtheid

During this master's thesis, the air- and watertightness of historic joinery is measured. The measurements are done in two ways. On the one hand, in-situ tests are performed using a blower door, and on the other hand, tests are conducted under laboratory conditions at the façade elements testing centre of Ghent University. The last described tests are performed on test frames supplied by the company Denys nv.

Air- and watertightness tests are performed on test frames. Various adjustments are made to the test frame to obtain better test results. For example, variations can be made in the type of seals, the use of an additional glazing bead, or the addition of extra drain holes in the bottom rail of the window.

For airtightness tests, the aim is to achieve the smallest possible air leakage rate at the largest possible pressure difference placed across the test window. Using the test installation, an air flow rate [Pa] in diaphragms can be converted to an air leakage rate per square meter through the cracks and crevices of the window. The time that a test frame can hold back a water load at a certain pressure difference is decisive for the watertightness tests. Once water leaks through the frame are visibly observed, it can be concluded that the window is watertight up to that particular load.

Keywords: historic joinery – airtightness – watertightness

Air- and watertightness of historical joinery

Victor Callebaut, Wout Rogge

Supervisors: Nathan Van Den Bossche, Bruno Vanderschelden

Abstract This master's thesis investigates the air- and water tightness of historical joinery through in-situ blower door testing and laboratory testing at Ghent University. Test windows from Denys nv are modified with different seals, an extra glazing bead or extra drainage channels. Airtightness tests aim for a minimum air leakage flow rate at a maximum pressure difference. An air leakage rate per square metre of window area is obtained. Watertightness tests measure how long a window withstands water load; watertightness is determined by visible leaks.

Keywords Airtightness, historic joinery, watertightness

INTRODUCTION

This master thesis deals with the importance of the air- and water tightness of historic joinery. Testing is carried out in lab conditions as well as in-situ testing. Combinations of different parameters that can potentially positively influence air- and water tightness are tested. Based on the test results obtained, the best possible combination is recommended.

RESEARCH

In this master thesis, a detailed analysis was carried out on five in-situ windows with wooden exterior joinery and on three historical test windows supplied by construction company Denys nv. The first test window came from the former Museum Knight Smidt van Gelder in Antwerp [1]. This building was designed by Joseph Hertogs in 1905. This window is equipped with heat-reflective Stolker glass and a draught strip type S 0032. The second window is from the plateau building in Ghent. This window has no glass but a plate as a replacement and there is no seal. The third and last window is a replica of a window from the Gent Town Hall [2]. The original window comes from the former poor man's room built in the 18th century.

The five in-situ windows are subjected to airtightness tests using a blower door test.

The three test windows are subjected to both airtightness and watertightness tests at Ghent University's test centre. The test set-up uses an advanced test wall that can simulate variable

pressure and water loads, exposing the windows to conditions that simulate the effects of rain and wind. Valuable data can be extracted from these tests, which can later also be linked to the in-situ measurements.

To test the airtightness of exterior joinery, it is subjected to varying pressure climates with a fan creating lower or upper pressure depending on the direction of rotation. The measured air flow rate, which indicates the leakage flow rate through cracks and crevices, is calculated using the formula $V = C \cdot \Delta p^n$. [3] Where V is the leakage flow rate, C is the flow coefficient, Δp is the pressure difference, and n is the flow exponent (0.5 for turbulent and 1 for laminar flow). The flow regime is determined by the Reynolds number.

Turbulent flow (lower n value) results in a lower air flow rate. The flow coefficient C is influenced by the net passage area and the roughness of the orifice. Diaphragms with known flow coefficients are used in the test plant, specifically diaphragms 6 ($C=1.962$) and 14 ($C=12.533$). The air flow rate through an aperture is equated to the total leakage flow rate through the window. To compare windows, the air leakage rate is divided by the window area (m^3/m^2h), which provides insight into airtightness and helps improve window performance.

RESULTS

The test window of Ghent City Hall is subjected to various airtightness and watertightness tests. This is because the window could be tested with different seals and configurations, such as installation of an additional glazing lath or variation in drainage channels. This is done to optimise the performance of the window.

The airtightness measurements focus on the air leakage rate per square metre at a pressure difference of 50 Pa. With the blower door, this can be derived and with the lab tests it can be read directly. Using

these values, the class can be determined from figure 1 of standard EN 12207.

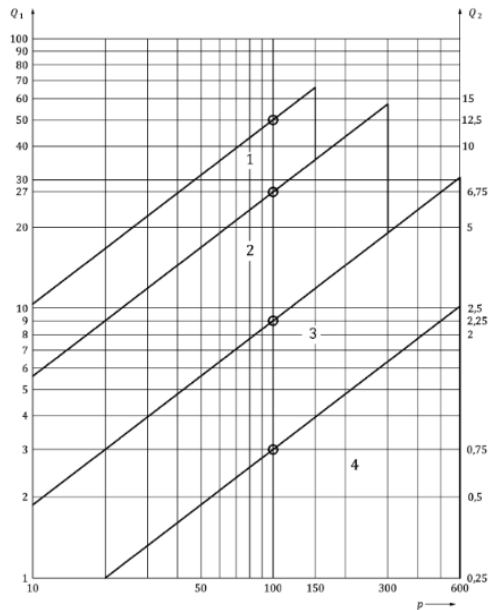


Figure 1: Airtightness classes [4]

Table 1: In-situ results

	n50-value without window cover	n50-value with window cover	n50-value window	Volume	V _∞	Surface Window	V _∞ /A	Class
	[h ⁻¹]	[h ⁻¹]	[h ⁻¹]	m ³	[m ³ /h]	m ²	[m ³ /h m ²]	[-]
R1	16,03	15,95	0,08	40,32	3,23	2,37	1,36	4
R2	70,23	69,63	0,60	17,02	10,21	3,08	3,32	3
R3	13,69	13,53	0,16	60,48	9,68	3,09	3,13	3
R4	11,92	11,54	0,38	20,98	7,97	1,02	7,82	2
R5	10,59	10,24	0,35	41,30	14,46	1,89	7,65	2

The first window was tested twice in total, once with seal and once without. Logically, the window with seal came out better values and was classified as class 3. The second window was a window without seal and was classified as class 1. The replica test window of Ghent City Hall was tested a total of eight times with different combinations. In the best case (Test 8), airtightness class 4 was obtained.

Table 2: Test combinations

TL1	No seals
TL2	SPV 12
TL3	S 0318 (white)
TL4	S 0318 (black)
TL5	S 1320
TL6	SPV 12 + S 0318 (white)
TL7	SPV 12 + S 0318 (black)
TL8	SPV 12 + S 1320

All these seals that contribute to improved airtightness are manufactured by the Dutch company Deventer. [5] Various configurations were obtained with the inner and outer seals obtained. The result of these different tests is shown in figure 2.

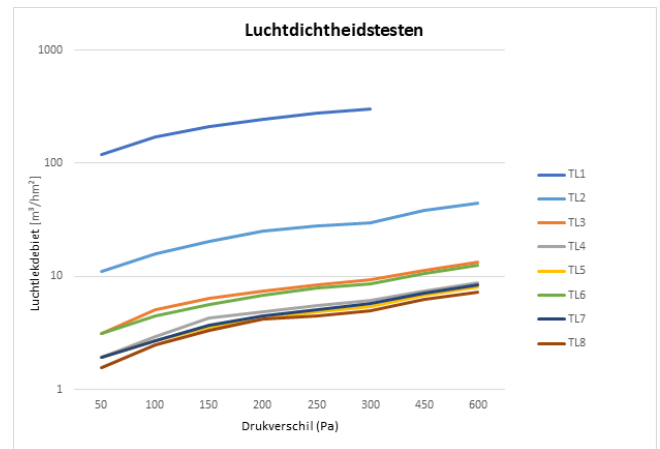


Figure 2: results airtightness tests

The waterproofing measurements are not performed on the in-situ windows, but on the test windows in the lab. In these measurements, no numerical values are obtained. It is examined how long a window can withstand water and under what pressure, without seeing a leak. When a leak is spotted, the test is stopped, and the window can be placed in a classification. The different classes are shown in table 3.

Table 3: Classification watertightness [6]

Test pressure	Classification		Specifications
P _{max} in Pa ^{a)}	Test method A	Test method B	
-	0	0	No requirement
0	1A	1B	Water spray for 15 min
50	2A	2B	As class 1 + 5 min
100	3A	3B	As class 2 + 5 min
150	4A	4B	As class 3 + 5 min
200	5A	5B	As class 4 + 5 min
250	6A	6B	As class 5 + 5 min
300	7A	7B	As class 6 + 5 min
450	8A	-	As class 7 + 5 min
600	9A	-	As class 8 + 5 min
> 600	Exxx	-	Above 600 Pa in steps of 150 Pa, the duration at each step shall be 5 min

NOTE : Method A is appropriate for product which are fully exposed
Method B is appropriate for product which are partially shielded

^{a)} After 15 min at zero pressure and 5 min at subsequent steps.

For the replica test frame, different combinations can be made by varying the seals, glazing bars, and dewatering channels. There are two different dewatering channels. Type A goes diagonally through the bottom rail and type B first goes down vertically and then drains horizontally under a slight slope. table 4 shows all combinations.

Table 4: combinations watertightness tests

	Inner seal SPV 12	Outer seal S 0318 (black)	Drain type A sealed	Drain type B sealed	Additional glazing bar
TW1			X	X	
TW2			X		
TW3				X	
TW4			X		
TW5					X
TW6	X			X	X
TW7	X				X
TW8	X	X			
TW9	X	X	X		X
TW10	X	X			X

In the next table, the observations for each test were determined and a class was assigned to the different combinations.

Table 5: Observations and assigned waterproofing classes per test combination

Test combinations	Note	Watertightness class according to EN 12207
TW1	After 30 seconds, water leaks are detected at a pressure difference of 0 Pa.	0
TW2	After 30 seconds, water leaks are detected at a pressure difference of 50 Pa.	1A
TW3	After 30 seconds, water leaks are detected at a pressure difference of 50 Pa.	1A
TW4	After 1 minute, water leaks are observed at a pressure difference of 50 Pa.	1A
TW5	After 3 minutes, water leaks are observed at a pressure difference of 50 Pa.	1A
TW6	After 5 minutes, water leaks are observed at a pressure difference of 50 Pa.	1A
TW7	After 30 seconds, water leaks are detected at a pressure difference of 100 Pa.	2A
TW8	After 30 seconds, water leaks are detected at a pressure difference of 100 Pa.	2A
TW9	After 5 minutes, water leaks are observed at a pressure difference of 150 Pa.	3A
TW10	After 10 seconds, water leaks are detected at a pressure difference of 200 Pa.	4A

CONCLUSION

In this master thesis, lab and in-situ tests were carried out to evaluate the air- and water tightness of historic exterior joinery, with the support of contractor Denys nv for the test equipment. The experiments conducted at the test centre aimed to obtain accurate and reliable measurement results to analyse the performance of exterior joinery and various sealing methods.

In-situ measurements using a blower penetration test on exterior joinery showed variable results. The results ranged from airtightness class 2 to 4. The laboratory tests on the three test windows highlight the importance of seals. Test frame 1 achieved class 3 with seals, test frame 2 remained in class 1 and test frame 3 achieved class 4 with the best seals.

Waterproofing tests in turn showed that seals and drainage channels are important. In the most optimal test, test frame 3 achieved waterproofing class 4. It turns out, then, that seals are essential for optimum air- and watertightness, with a preference for internal and external seals and the addition of drainage channels and additional glazing bars.

Laboratory tests provide accurate and controlled conditions for optimisation of joinery, while in-situ tests provide valuable but less accurate additional insights.

REFERENCES

- [1] A. O. Erfgoed, "Museum Ridder Smidt van Gelder met tuin | Inventaris Onroerend Erfgoed." 2015. [Online]. Available: <https://inventaris.onroerenderfgoed.be/erfgoedobjecten/6488>
- [2] A. O. Erfgoed, "Stadhuis Gent | Inventaris Onroerend Erfgoed." 2009. [Online]. Available: <https://inventaris.onroerenderfgoed.be/erfgoedobjecten/24558>
- [3] K. Bouwfysica and I. R. Van Herpen, "Luchtstroming in openingen." 2007.
- [4] B. I. voor Normalisatie, "NBN EN 12207, Windows and doors - Air permeability - Classification." 2017.
- [5] "Dichtingen voor ramen / Producten | DEVENTER Profielen." [Online]. Available: <https://www.deventer-profielen.nl/producten/dichtingen-voor-ramen>
- [6] B. I. voor Normalisatie, "NBN EN 12208, Windows and doors - Watertightness - Classification." 2000.

Inhoudsopgave

Woord vooraf.....	I
Toelichting i.v.m. het masterproefwerk en de mondelinge uiteenzetting.....	II
Abstract met eventueel kernwoorden.....	III
Extended abstract.....	IV
Inhoudsopgave.....	VII
Lijst van figuren.....	XI
Lijst van tabellen	XIII
Lijst van grafieken	XIV
Lijst van afkortingen	XV
Lijst van bijlagen	XVI
Hoofdstuk 1: Inleiding	17
1.1 Belang van lucht- en waterdichtheid van historisch schrijnwerk.....	17
1.2 Over het overkoepelende EU-HerITACE project waarvan deze thesis deel uitmaakt	18
1.3 Afbakening van dit verslag.....	19
Hoofdstuk 2: Literatuurstudie.....	21
2.1 Historisch schrijnwerk.....	22
2.1.1 Definitie.....	22
2.1.2 Gebruikte constructiemethoden en – materialen.....	22
2.1.3 Oorzaken van schade en de gepaste remedies	23
2.1.3.1 Waterinfiltratie of -stagnatie.....	24
2.1.3.2 Mechanische verwerking	25
2.1.4 Restauratiepraktijken en -materialen.....	25
2.1.4.1 Plaatselijke herstelling, verschoeiingen, totale vervanging.....	25
2.1.4.2 Plaatsing van kierdichtingen	25
2.1.5 Duurzaamheidsaspect optimaliseren van luchtdichtheid.....	27
2.1.6 Energie-efficiëntie.....	27
2.1.7 Behoud van cultureel erfgoed.....	27

2.2	Luchtdichtheid	27
2.2.1	Definitie.....	27
2.2.2	Luchtstroming door openingen – luchtdebiet	28
2.2.3	Factoren die luchtdichtheid beïnvloeden.....	28
2.2.3.1	Wind	28
2.2.3.2	Ventilatie	29
2.2.3.3	Verwarming.....	30
2.2.4	Normering	31
2.2.4.1	EN 1026	31
2.2.4.2	EN 12207	31
2.2.5	Luchtdichtheid toegepast op historisch schrijnwerk	32
2.2.6	Luchtdichtheidsmetingen	32
2.2.6.1	In het labo	32
2.2.6.2	In-situ – blowerdoortest	32
2.2.7	Manieren om luchtdichtheid te optimaliseren	35
2.2.7.1	Het gebruik van tochtstrips (algemeen)	35
2.2.7.2	Gebruikelijke tochtstrips van gekende fabrikanten	38
2.3	Waterdichtheid.....	41
2.3.1	Definitie.....	41
2.3.2	Factoren die waterdichtheid beïnvloeden.....	41
2.3.3	Normering	41
2.3.3.1	EN 1027	41
2.3.3.2	EN 12208	42
2.3.4	Waterdichtheid toegepast op historisch schrijnwerk	43
2.3.5	Waterdichtheidsmetingen	43
2.3.6	Manieren om waterdichtheid te verbeteren	43
2.3.6.1	Plaatsen of verbeteren van de afdichtingen.....	43
2.3.6.2	Installatie van afwateringssystemen	44

2.3.6.3	Inspectie, onderhoud en reparatie van houtoppervlak	44
2.4	Klimaatbelastingen op buitenschrijnwerk	44
2.4.1	Winddistributie	45
2.4.1.1	Berekening winddruk.....	46
2.4.2	Slagregen.....	46
2.4.2.1	Berekening slagregen.....	47
2.4.3	Luchtdruk en slagregen in België	48
2.4.4	Voorbeeldberekening.....	49
2.5	Conclusie literatuurstudie	50
2.5.1	Probleemstelling	50
2.5.2	Doelstelling	51
Hoofdstuk 3:	Onderzoeksmethodologie.....	52
Hoofdstuk 4:	Labotesten	54
4.1	Testelement en -opstelling.....	54
4.1.1	Het testelement	54
4.1.1.1	Testraam 1	54
4.1.1.2	Testraam 2	55
4.1.1.3	Testraam 3	56
4.1.2	De testopstelling	57
4.1.2.1	De bediening	57
4.1.2.2	Luchttoevoersysteem	59
4.1.2.3	Watertoevoersysteem	61
Hoofdstuk 5:	Onderzoeksresultaten.....	62
5.1	Gegevensverwerking luchtdichtheid	63
5.1.1	Onderzoeksresultaten in-situ metingen	63
5.1.2	Onderzoeksresultaten laboratoriumtesten	65
5.1.2.1	Testraam 1	65
5.1.2.2	Testraam 2	65

5.1.2.3	Testraam 3	66
5.2	Gegevensverwerking waterdichtheid	69
5.2.1	Testraam 1	69
5.2.2	Testraam 2	70
5.2.3	Testraam 3	70
Hoofdstuk 6:	Discussie	75
Hoofdstuk 7:	Conclusie.....	77
Hoofdstuk 8:	Duurzaamheidsreflectie	79
Hoofdstuk 9:	Bibliografische referenties	81
Hoofdstuk 10:	Bijlagen.....	83

Lijst van figuren

Figuur 1: Kruisko zijnen (Monumentenwacht Vlaanderen, 2004)	23
Figuur 2: Kritieke plaatsen gevoelig voor waterinfiltraties	24
Figuur 3: Aangebrachte sponning op buitenzijde (1) (Frederik Mahieu, 2017)	26
Figuur 4: Aangebrachte sponning aan binnenzijde (2) (Frederik Mahieu, 2017)	26
Figuur 5: Invloed ventilatie op buitenschrijnwerk, verschillende situaties	30
Figuur 6: Digitaal resultatenschermblowerdoortest	33
Figuur 7: Visuele voorstelling blowerdoortest	34
Figuur 8: Uitvoering blowerdoortest	35
Figuur 9: Afgedeekt raam	35
Figuur 10: E-profiel	37
Figuur 11: D-profiel	37
Figuur 12: P-profiel	37
Figuur 13: O-profiel	37
Figuur 14: I-profiel	38
Figuur 15: Technische tekening S 0318-dichting	38
Figuur 16: Technische tekening S 1320-dichting	39
Figuur 17: Technische tekening SPV 12-dichting	39
Figuur 18: Opstelling waterdichtheidstesten volgens EN 1027 (Belgisch Instituut voor Normalisatie, 2016b)	42
Figuur 19: Optimalisatie waterdichtheid testraam	44
Figuur 20: Windturbulentie rond een gebouw (Adrian Verhoij sen, 2010)	45
Figuur 21: Testraam 1	55
Figuur 22: Technische tekening S 0032-dichting	55
Figuur 23: Testraam 2	56
Figuur 24: Testraam 3	57
Figuur 25: Opening in testwand	58
Figuur 26: Bedieningspaneel	58

Figuur 27: Resultatenschermen meettoestellen	59
Figuur 28: Overzicht testcombinaties luchtdichtheidstesten	66
Figuur 29: Ontwateringskanalen: Links - type A, Rechts - type B	71
Figuur 30: Overzicht testcombinaties waterdichtheid - boomstructuur	73
Figuur 31: Afvoergoot onderregel	74
Figuur 32: The global goals – duurzaamheidsreflectie (United Nations, n.d.)	79

Lijst van tabellen

Tabel 1: Luchtdichtheidsklassen volgens EN 12207	32
Tabel 2: Omgevingsklassen.....	46
Tabel 3: Luchtdruk en slagregen op een gebouw in België.....	49
Tabel 4: Waarden berekening winddruk.....	50
Tabel 5: Resultaten in-situ luchtdichtheidsmetingen	64
Tabel 6: Luchtdoorlatendheid testraam 1	65
Tabel 7: Resultaten luchtdichtheidstesten testraam 2.....	65
Tabel 8: Overzicht luchtlekdebieten bij 50 Pa drukverschil per testcombinatie	68
Tabel 9: Classificatie waterdichtheid buitenschrijnwerk (Belgisch Instituut voor Normalisatie, 2000) ..	70
Tabel 10: Naamgeving combinaties afwateringskanalen	71
Tabel 11: Overzicht combinaties waterdichtheidstesten	72
Tabel 12: Waarnemingen en toegewezen waterdichtheidsklassen per testcombinatie.....	72

Lijst van grafieken

Grafiek 1: Neerslaghoeveelheid ten opzichte van de windsnelheid (Nathan Van Den Bossche, 2013).	47
Grafiek 2: Indeling luchtdichtheidsklassen (Belgisch Instituut voor Normalisatie, 2017)	64
Grafiek 3: Resultaten luchtdichtheidstesten: luchtlekdebiet i.f.v. drukverschil.....	67

Lijst van afkortingen

WDR	= Wind Driven Rain
RAF	= Rain Admittance Factor
DRF	= Driving Rain Factor
SDG	= Sustainability Development Goals

Lijst van bijlagen

Bijlage 1: Technische tekeningen testraam 3.....	83
--	----

HOOFDSTUK 1: INLEIDING

1.1 Belang van lucht- en waterdichtheid van historisch schrijnwerk

De impact van klimaatsveranderingen en natuurrampen ten gevolge van de soms kwistige levensmanier van de mens, gaf gedurende de laatste decennia een aanzet tot nadenken over oplossingen om de globale wereldopwarming te reduceren. Zo werden ook restricties gelegd op het onberekend en roekeloos gebruik van delfstoffen zoals stookolie en aardgas. Een binnenruimte van een aangename comforttemperatuur voorzien, met een ongelimiteerd gebruik van stookolie of aardgas bij buitenschrijnwerk die zo lek als een zeef blijkt te zijn, is heel eenvoudig. Anderzijds moet het gebruik van fossiele brandstoffen zo laag mogelijk gehouden worden met het oog op de gestelde milieueisen die beslist werden op de klimaatop in Dubai 2023. Lage stookhoeveelheden kunnen verwezenlijkt worden door een juiste dimensionering van de ventilatie in combinatie met isolatie, maar ook door een lucht- en waterdicht geheel. Warme binnenlucht heeft een hogere drukwaarde dan koude buitenlucht, bijgevolg zal de warme lucht naar koudere oorden (buiten) willen fungeren via luchtlekken in bijvoorbeeld het raamgeheel. Indien dat gebeurt, moet veel meer gestookt worden om de ruimte op een aangename comforttemperatuur te houden. (2023: COP28 - Dubai, n.d.)

Een behoorlijke luchtdichtheid wordt in de eerste plaats gerealiseerd door het juiste vakmanschap en het nodige oog voor detail. Anderzijds hebben factoren zoals de tand des tijds, het klimaat waarin de woning zich bevindt en de windrichting naar waar het raam uitgeeft, een grote invloed op de luchtdichtheidsprestaties. Omdat er minder verwarmd en gestookt moet worden, heeft een correct uitgevoerde luchtdichte schil een positieve invloed op de CO₂-uitstoot. Anderzijds vermindert het ook de kans op schade aan het gebouw. Een matig luchtdichte schil vergroot de kans op inwendige condensatie die op zijn beurt kan leiden tot houtrot, schimmelvorming en vorstschade. (Frederik Mahieu, 2017)

Naast luchtdichtheid is ook waterdichtheid van cruciaal belang om het historisch schrijnwerk te behouden en te beschermen tegen waterschade, houtrot en andere vormen van degradatie veroorzaakt door vochtindringing. Huidige ontwerp levensduren worden veel hoger geschat dan vroeger. Het is dan ook mooi meegenomen als door de gepaste restauratie de levensduur van historisch schrijnwerk omhoog gaat. De waterdichtheid van ramen is essentieel om te voorkomen dat water door scheuren, kieren en onjuiste afdichtingen dringt. Met een gepaste waterdichtheid wordt de levensduur van historisch schrijnwerk vergroot en blijft hun erfgoedwaarde behouden. (Frederik Mahieu, 2017)

Historisch schrijnwerk bepaalt mee de karakteristieke charme van een gebouw. Het aandeel is groter dan velen vermoeden. Stel dat de kleur van het buitenschrijnwerk op campus Plateaustraat zou veranderen van donkergroen naar rood, dan zou dat direct opgemerkt worden. Het uitzicht en het karakter van het gebouw zou ingrijpend veranderen. De gevelcompositie wordt grotendeels bepaald door

het aanwezige soort vensterglas. Per raam varieert de vorm, de onderverdelingen, de profilering, de kleur van het schrijnwerk en heel belangrijk, het soort vensterglas. Bijgevolg ziet ook elke gevel er anders uit. De grootte van het raam en het soort glas bepalen voor een groot stuk ook de sfeer van de ruimte waarmee het raam verbonden is. (Frederik Mahieu, 2017)

Het is duidelijk dat historisch schrijnwerk niet zomaar vervangen kan worden door nieuw glas of volledig nieuwe ramen, alhoewel dit tegenwoordig wel vaker gebeurt. Aangezien de energetische parameters van oud schrijnwerk niet zo goed scoren, mede als gevolg van opgelegde klimaateisen zoals het behalen van lagere U-waarden en het dempen van stookkosten. De vervanging van het historische schrijnwerk gebeurt door eigenaars van historische panden veelal om aan de gevraagde comforteisen te voldoen en om de hoge verwarmingskosten te dempen. Desalniettemin kan een verwijdering van het historische raamwerk, een raamwerk met een hoge culturele erfgoedfactor, niet de oplossing zijn. Tijdens deze masterproef wordt op zoek gegaan naar oplossingen zodat zowel de erfgoed- als de energetische comforteis worden beantwoord.

1.2 Over het overkoepelende EU-HerITACE project waarvan deze thesis deel uitmaakt

Het HeriTACE-project is een Europees project dat handelt over energetisch optimaliseren van erfgoedgebouwen. Tijdens dit project worden vier varianten van historisch schrijnwerk in oude herenhuizen bestudeerd. De staat van de ramen wordt bestudeerd, en dan vooral de “airtightness” ofwel luchtdichtheid ervan wordt grondig bekeken. Elk type herenhuis bevindt zich in een verschillend Europees land. Zo zullen er woningen in België, Estland, Noorwegen en Italië onderzocht worden. Deze verschillende locaties zijn niet willekeurig gekozen. Er wordt rekening gehouden met de drie grote klimaatzones. Het soort klimaat heeft een grote impact op de al dan niet veroudering van het schrijnwerk. (FUTURE-PROOFING HERITAGE TOWNHOUSES BY OPTIMISING COMFORT AND ENERGY IN TIME AND SPACE HERITACE, 2023)

De beschrijving van het onderzoek in de laatst genoemde drie landen, wordt in dit verslag buiten beschouwing gelaten. Dit verslag focust zich op het HeriTACE-project in Gent. Rijhuizen uit metselwerkerfgoed uit de periode 1800-1918 omvatten tussen de 1,8% en 11% van alle gebouwen in Gent. Iets minder dan 2% van deze gebouwen staat onder officiële bescherming als erfgoedgebouwen. Het hele HeriTACE-project is opgedeeld in deelprojecten, waaronder taak 2.5. Deze taak houdt de verbetering in van de energie-efficiëntie van historisch buitenschrijnwerk. De samenwerkende partijen voor dit project betreffen de UGent, TALTECH en Denys. Deze opdracht heeft drie specifieke doelstellingen:

1. Kwantificering van typische luchtdichtheidsniveaus van historische ramen.
2. Onderzoek naar technische oplossingen om de luchtdichtheid van erfgoedramen te verbeteren.

3. Ontwikkeling van een methode die het mogelijk maakt om door middel van pulstestmetingen een beoordeling van het buitenschrijnwerk te geven.

Een samenspel tussen pakkingen, beslag en algehele raamontwerp zal de haalbare prestatieniveaus volgens EN 12207 bepalen. In België zullen verschillende prototypes van ramen worden gebouwd door het bouwbedrijf Denys nv. De prototype ramen zullen onderworpen worden aan een heleboel testen die uitgevoerd worden in het testcentrum Gevelementen in de Universiteit van Gent. De luchtdichtheid van de testramen zal worden geëvalueerd volgens norm EN 1026 en gekwantificeerd volgens norm EN 12207. De prestaties zullen worden geoptimaliseerd door tochtstrips, hang- en sluitwerk en het algemene ontwerp aan te passen. (FUTURE-PROOFING HERITAGE TOWNHOUSES BY OPTIMISING COMFORT AND ENERGY IN TIME AND SPACE HERITAGE, 2023)

Er dient opgemerkt te worden dat niet alle doelstellingen die beschreven staan in het HeriTACE-project zullen nagestreefd worden doorheen deze thesis. Anderzijds worden andere te onderzoeken onderwerpen op de testelementen toegevoegd aan het uiteindelijke masterproefthema.

1.3 Afbakening van dit verslag

De initiële doelstelling van dit verslag betreft de huidige toestand van historisch schrijnwerk in kaart te brengen. Op basis van deze analyse worden de redenen van mogelijke lucht- en/of waterlekken opgesomd. Uiteindelijk wordt verwacht dat een gepaste aanbeveling kan gegeven worden voor restauratie en verbetering van de dichtheid. Steeds dient rekening gehouden te worden met het feit dat geen afbreuk mag gedaan worden aan de historische waarde.

Nadat een verkennende literatuurstudie uitgevoerd is, wordt de probleemstelling duidelijker. Op basis van deze probleemstelling kan de doelstelling verder beschreven worden.

Afbakening

1. *Geografische scope*

Het onderzoek dat gevoerd wordt in deze thesis richt zich uitsluitend op historisch schrijnwerk in Gent, België. Specifieke ramen uit Gentse panden worden onderzocht. Bij gebrek aan genoeg panden, wordt soms uitgeweken naar panden buiten de Gentse grenzen.

2. *Tijdperk*

De geteste ramen die aan bod komen in dit verslag, omvatten buitenschrijnwerk dat dateert van de 17e tot en met de 19e eeuw. De keuze voor deze periode wordt opgelegd door het overkoepelende Heri-TACE project waarvan deze thesis deel uit maakt.

3. *Type schrijnwerk*

De focus ligt op houten ramen, inclusief kozijnen, luiken en omlijstingen. Moderne toevoegingen of aanpassingen worden niet meegenomen tenzij ze van belang zijn voor de historische context.

4. *Methoden van onderzoek*

Het verslag gebruikt een combinatie van literatuuronderzoek, veldonderzoek onder de vorm van labo en in-situ testen en technische evaluaties. Technieken zoals blowerdoortesten en metingen op de testwanden zullen worden toegepast.

5. *Beperking tot optimalisatietechnieken*

Alle soorten optimalisatietechnieken, die mogelijk een verbeterde lucht- en waterdichtheid kunnen veroorzaken, worden aangewend. De keuze of een moderne aangewende techniek al dan niet past in het erfgoedplaatje, valt buiten het bestek van dit verslag. In dit verslag worden de heikele punten van historisch schrijnwerk bloot gelegd en wordt op zoek gegaan naar een optimale configuratie om de lucht- en waterinfiltraties te beperken.

6. *Betrokken disciplines*

Deze thesis sluit de vier jaar durende masteropleiding van twee studenten industrieel ingenieur bouwkunde af. Het is vanzelfsprekend dat verscheidene onderwerpen die de afgelopen vier jaar bestudeerd zijn door de studenten aan bod en samen komen in dit verslag. Verbanden dienen gelegd te worden tussen twee of meerdere disciplines. Zo omvat deze studie inzichten uit de bouwkunde, geschiedenis, conservatie en materiaalkunde. Samenwerking met lokale erfgoedinstanties en restaurateurs is essentieel voor een correct beeld op het geheel.

7. *Resultaatverwachtingen*

Het verslag zal resulteren in een reeks aanbevelingen en richtlijnen voor restaurateurs en eigenaren van historische panden. Deze omvatten onderhoudspraktijken, restauratietechnieken en materiaalkeuze voor het verbeteren van de lucht- en waterdichtheid van historisch schrijnwerk.

Uitsluitingen

- *Moderne schrijnwerk*

- Elementen die na de 19e eeuw zijn toegevoegd of volledig zijn vervangen door moderne constructies worden niet in dit onderzoek meegenomen. Met andere woorden, aluminium- en PVC-buitenschrijnwerk komt niet aan bod in dit verslag.

- *Interne schrijnwerk*

- Dit verslag beperkt zich tot externe schrijnwerkelementen en neemt geen binnenhuisconstructies zoals trappen of lambrisering in beschouwing.

Deze afbakening stelt duidelijke grenzen aan het verslag. De gemaakte grenzen vergemakkelijken het richten op de meest belangrijke aspecten van de lucht- en waterdichtheid van historisch schrijnwerk. Uiteindelijk kan het doel omschreven worden als volgt: “Het bieden van historisch verantwoorde én praktische oplossingen voor de restauratie van deze belangrijke culturele erfgoedelementen.

HOOFDSTUK 2: LITERATUURSTUDIE

Een literatuurstudie heeft een verkennend doel, zijnde een grondige kennis over het onderwerp trachten te verwerven. Kennis over dit onderwerp is vereist om de case, waarover deze masterproef gaat, te kunnen begrijpen en bijgevolg constructieve gepaste voorstellen en oplossingen aan te wenden. Deze verkenning in een, voor de schrijvers van deze verkennende literatuurstudie, relatief onbekende niche van de bouwwereld heldert veel op. Door de literatuurstudie verwerft de schrijver inzicht, kan de onderzoeksvraag scherper gesteld worden, kan een methodologie bepaald worden en kan inspiratie opgedaan worden. Hieronder worden enkele mogelijkheden beschreven om efficiënt tot (historisch) correcte informatie te komen.

- **Identificeer relevante trefwoorden:**

Luchtdichtheid - Waterdichtheid - Historisch schrijnwerk – Bouwhistorie – Restauratie – Houtbewerking - Traditionele bouwtechnieken – Bouwfysica – Erfgoedbehoud - Thermische isolatie – Luchtinfiltratie – Waterinfiltratie - Historische gebouwen - Authentieke materialen – Duurzaamheid – Condensatie – Renovatie – Meetmethoden – Bouwmaterialen – Restauratietechnieken – Ventilatie - Normen en voorschriften - Kierdichting

- **Doorzoek wetenschappelijke databases:**

Er kan gebruik gemaakt worden van wetenschappelijke databases en gerenommeerde bronnen om toepasselijke wetenschappelijke artikelen, onderzoeken en publicaties te vinden. De promotor van deze masterproef, dhr. N. Van Den Bossche, schrijft al meer dan een decennia lang over lucht- en waterdichtheid. Het lezen van zijn oeuvre kan positief bijdragen tot de verworven kennis over het thesisonderwerp.

- **Bekijk vakliteratuur:**

Indien dit mogelijk is, kunnen vakbladen en tijdschriften geraadpleegd worden op het gebied van restauratie, erfgoedbehoud en bouwkunde. Deze bronnen kunnen inzicht bieden in de nieuwste ontwikkelingen en technieken.

Uiteindelijk kan vastgesteld worden dat lucht- en waterdichtheid op buitenschrijnwerk reeds veel onderzocht en besproken werd. De term buitenschrijnwerk omvat een heel breed spectrum aan ramen en deuren uit verschillende materialen. Er gebeurde dus reeds veel onderzoek naar de lucht- en waterdichtheid van PVC- en aluminium buitenschrijnwerk maar nauwelijks naar historisch houten schijnwerk. Het onderwerp van deze masterproef betreft dus een zeer beperkte niche binnen de bouwsector waarvan nog maar heel weinig geweten is. Nog veel materie te ontdekken dus.

2.1 Historisch schrijnwerk

2.1.1 Definitie

Historisch schrijnwerk heeft betrekking tot de architecturale elementen in een gebouw die een belangrijk onderdeel vormen van het historische erfgoed van een bepaalde periode of stijl. Voorbeelden van historisch schrijnwerk zijn deuren, ramen, kozijnen, luiken, trappen, panelen en ornamenten. Dit soort buitenschrijnwerk onderscheidt zich van modern schrijnwerk door vakmanschap, unieke details en de gebruikte materialen (Frederik Mahieu, 2017)

2.1.2 Gebruikte constructiemethoden en – materialen

Het historische schrijnwerk dat bestudeerd wordt in dit onderzoek, betreft veelal handgemaakt schrijnwerk. Het ligt voor de hand dat vakkennis, perfectionisme en zin tot afwerking de sleutel zijn tot een geheel dat goed presteert wanneer het onderworpen wordt aan lucht- en waterdichtheidstesten. Huidige houten, PVC- of aluminium ramen worden veelal machinaal gefabriceerd, waardoor een grotere perfectie verkregen wordt. Om beter inzicht te verwerven over een historisch houten raam, worden de constructiemethoden doorheen de eeuwen bekeken.

Veel verschillende houtsoorten kunnen dienst doen als productiemateriaal. Aanvankelijk was eik de meest gebruikte houtsoort voor buitenschrijnwerk. Rond de 16^{de} en 17^{de} eeuw wordt eik meer gebruikt in de scheepsbouw en minder voor buitenschrijnwerk. Eik blijft nog tot de 20^{ste} eeuw terug te vinden in huizen van de rijkere burgerij. Voor het gewone buitenschrijnwerk wordt van de 17^{de} eeuw meer gebruik gemaakt van fijndradige, goedkopere grenen en vurenhout. Dit wordt wel soms gecombineerd met eik. Vanaf de 20^{ste} eeuw wordt gebruik gemaakt van uitheemse tropische houtsoorten zoals meranti, afzelia, merbau, etc. Het hout wordt nooit vers gebruikt. Een proces dat tientallen jaren duurt, zorgt ervoor dat het hout wordt gewaterd om alle overbodige stoffen eruit te logen. Daarna volgt een ruime periode van drogen. (Monumentenwacht Vlaanderen, 2004)

In de 13^{de} eeuw worden de eerste kruiskozijnen uit hout ontwikkeld, te zien op Figuur 1. Dit zijn ramen met een horizontale regel en een verticale stijl, met de hoeveelheid horizontale regels en verticale stijlen kan gevarieerd worden. Zo wordt het raam opgesplitst in meerdere kleine ramen. Enkele varianten op het kruiskozijn betreffen het bolkozijn en het kloosterkozijn. Bij het bolkozijn wordt het raam gesplitst door één of meerdere verticale stijlen. Bij het kloosterkozijn wordt het raam gesplitst door één of meerdere horizontale regels. (Monumentenwacht Vlaanderen, 2004)



Figuur 1: Kruiskozen (Monumentenwacht Vlaanderen, 2004)

Vanaf de 17^{de} eeuw komt de industriële glasproductie op gang. Vanaf dat moment komen grotere glaspertijen ter beschikking. Het grotere vensterglas bracht enkele problemen met zich mee, zo kon het niet meer probleemloos in de loden strips geplaatst worden. Bijgevolg werden de loden strips vervangen door stevigere roeden. Pas tegen het einde van de 17^{de} eeuw komen twee nieuwe soorten raamtypes op de markt. Het Engelse schuifraam (het Guillotineraraam) en het Franse raam met twee tegen elkaar sluitende vleugels. (Monumentenwacht Vlaanderen, 2004)

Sinds de 19^{de} eeuw wordt het steeds makkelijker en goedkoper om grotere ramen te produceren. Deze evolutie zorgde ervoor dat de kleinere ramen minder en minder geproduceerd werden. (Monumentenwacht Vlaanderen, 2004)

2.1.3 Oorzaken van schade en de gepaste remedies

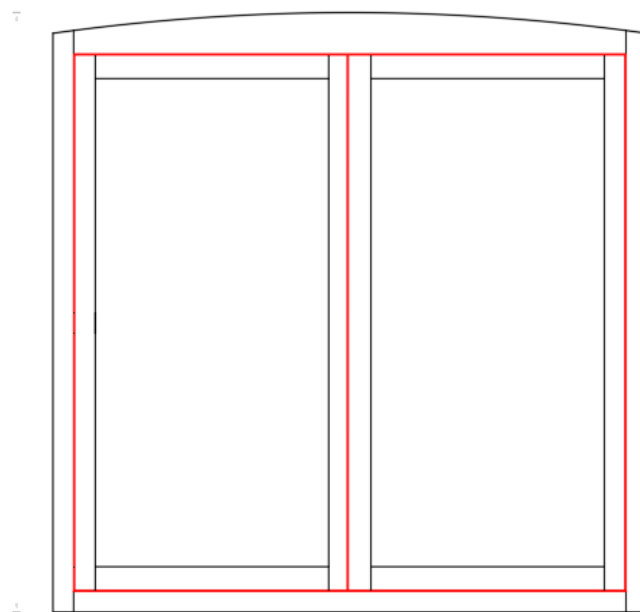
Een raam kan opgedeeld worden in drie afzonderlijke zones. Enerzijds de materiaaloppervlakken, zijnde het glasoppervlak en het houtoppervlak, anderzijds de zones van aansluiting. Hiermee worden de aansluitingen tussen het glas en het hout bedoeld of de zones van aansluiting tussen de vleugel en het kozijn. Zolang het glas niet breekt is het lucht- en waterdicht. Min of meer geldt hetzelfde voor hout, tenzij schade opduikt ten gevolge van de oorzaken beschreven in de volgende twee paragrafen. De zones van aansluiting zijn uiteraard het meest gevoelig voor een matige lucht- en waterdichtheid. De grootste vijand van buitenschrijnwerk betreft vocht die in het hout dringt. Toch zet de mate van gebruik (open- en dicht doen van een raam) ook zijn stempel op de lucht- en waterdichtheidsprestaties. (Monumentenwacht Vlaanderen, 2004)

2.1.3.1 Waterinfiltratie of -stagnatie

Waterinfiltratie, en in een extreem geval waterstagnatie, kan veroorzaakt worden door een slechte profilering zoals de aansluiting met de dagkanten of verstopte condensgoten. De knowhow en vakkennis van de schrijnwerklieden bepalen dus een groot deel van de prestaties van het buitenschrijnwerk. (Monumentenwacht Vlaanderen, 2004)

Condensgoten en ontwateringskanalen zorgen ervoor dat overtollig water zich een weg naar buiten kan banen. Dit water betreft veelal condenswater. Water moet altijd een uitweg vinden. In het geval dat dit niet mogelijk is, bestaat kans op schimmel, houtrot en schade bij vorst. Condensatiegootjes zitten vaak verstopt of worden, soms door onwetendheid, dicht geschilderd. Hierdoor blijft water in het raam staan. (Monumentenwacht Vlaanderen, 2004)

Water kan eveneens in de structuur dringen door lekken tussen de vaste en de bewegende onderdelen, in de aansluitingen met de dagkanten van de ramen of ter hoogte van de houtverbindingen. Het staat dus vast dat een goede plaatsing met oog voor detail geen overbodige luxe is. (Monumentenwacht Vlaanderen, 2004)



Figuur 2: Kritieke plaatsen gevoelig voor waterinfiltraties

Bovenstaande afbeelding toont de kritieke plaatsen waar waterinfiltratie- of waterstagnatie zich kan voordoen. Deze kritieke plaatsen betreffen de kieren tussen de raamvleugels en het raamkader en wordt in een rode kleur aangeduid.

2.1.3.2 Mechanische verwerking

Een faling van de verbinding tussen een raamvleugel en het raamkader kan ontstaan door enerzijds de natuurlijke werking van het hout, door onvoldoende sterke verbindingen (ondergedimensioneerd bevestigingsmateriaal) of door een combinatie van beide. Bij openstaande verbindingen kunnen lucht en water eenvoudig de constructie binnendringen. Op die manier kunnen opnieuw luchtdichtheidsproblemen, houtrot en -verwerking opduiken. (Monumentenwacht Vlaanderen, 2004)

De zwaartekracht en de vele periodieke belastingen op een raamgeheel (afwisselend open- en dichtdraaien) kunnen zware ramen laten afzakken. Dit resulteert in een luchtspleet bovenaan, een haperend slot en een afslijtende onderregel. Wind en vooral de door de wind meegesleurde deeltjes zoals zand en zout eroderen de afwerklagen. (Monumentenwacht Vlaanderen, 2004)

Bij slechte afwerklagen kunnen ook windscheuren in het hout ontstaan, waarlangs water gemakkelijker in het hout kan dringen. Bij slecht geprofileerde ramen en deuren of verkeerd gedetailleerde herstellingen kan de wind het (regen)water tot diep in de profileringen of in het hout blazen. Vorstschade is een vrij secundair fenomeen. In gezond hout is het vochtgehalte zo klein, dat het 'water' niet kan bevriezen. Het vorstprobleem duikt meestal op ter hoogte van de aansluitingen tussen glasplaat en kader. Tussen de glasplaten en de stopverfaansluitingen blijft water staan dat befrist, en zo stukjes stopverf doet afspringen. (Monumentenwacht Vlaanderen, 2004)

2.1.4 Restauratiepraktijken en -materialen

2.1.4.1 Plaatselijke herstelling, verschoeiingen, totale vervanging

De mogelijkheid tot plaatsen van kierdichtingen, beschreven in de paragraaf hieronder, hangt natuurlijk af van de algemene staat van het raam. Het spreekt voor zich dat wanneer het hout van het buitenschrijnwerk dermate aangetast is, het moeilijk wordt om kierdichtingen toe te passen. Vooraf dient dus een grondige inspectie gedaan te worden van de te optimaliseren ramen. Bij schade kan de oplossing gaan van een kleine herstelling tot een volledige vervanging van het raam.

2.1.4.2 Plaatsing van kierdichtingen

Wanneer het te optimaliseren raam nog van degelijke kwaliteit is, kan de plaatsing van kierdichtingen een enorme stijging geven op vlak van lucht- en waterdichtheidseisen. Het is een zeer eenvoudige en goedkope optimalisatie. De ingreep heeft een positief effect op de mate van thermische en akoestische isolatie, en dus ook op de lucht- en waterdichtheid prestaties. Bovendien verandert het niets aan het uitzicht van buitenaf. Het historische karakter leeft dus ongestoord verder. (Frederik Mahieu, 2017)

Bij dubbel opendraaiende ramen wordt de kierdichting gerealiseerd door de plaatsing van tochtstrips of raamrubbers op de aansluitingen van de vleugels op het kozijn. Afdichtingen in soepel materiaal, zoals

rubber, worden aangebracht in sponningen die speciaal voorzien worden. Het bijstellen van de spanjoletten kan ook nuttig zijn om de luchtdichtheid te verbeteren. (Frederik Mahieu, 2017)

In het geval van schuiframen is een kierdichting complexer. Niettemin bestaan profielen of rubbers die bij sluiting van het raam tegen elkaar worden gekneld. Net zoals bij opendraaiende ramen worden die dichtingen ingebracht in sponningen (in stijlen en wisseldorpel) die hiervoor in het bestaande schrijnwerk zijn gefreesd. Er bestaan ook tochtborstels, speciaal ontwikkeld voor schuiframen. Onder de deur kan je een tochtborstel aanbrengen. (Frederik Mahieu, 2017)



Figuur 3: Aangebrachte sponning op buitenzijde (1)
(Frederik Mahieu, 2017)



Figuur 4: Aangebrachte sponning aan binnenzijde (2)
(Frederik Mahieu, 2017)

Tal van mogelijkheden van tochtstrips zijn voor handen. De rubberen dichtingen worden steeds geplaatst tussen de raamvleugel en het raamkozijn.

De rubbers zijn vervaardigd van hoogwaardig TPE (Thermo Plastisch Elastomeer). Ze worden uitgevoerd met een rug van hard compact materiaal en een voetconstructie Vario-voet van hard en zacht materiaal voor een probleemloze en soepele montage. Fabrikanten ontwikkelen deze raamrubbers speciaal voor het bereiken van optimale dichtings- en isolatiewaarden (luchtdichtheidsklasse 4). De rubbers zijn voorzien van een anti-rek bescherming voor een perfecte stabiele hoekverbinding bij verstek geknipte hoeken. Er wordt verder ingegaan op het gamma en het gebruik van rubberen afdichtingen in 2.2.7. Daar wordt gesproken over de manieren om luchtdichtheid te verbeteren. (*Dichtingen Voor Ramen / Producten | DEVENTER Profielen, n.d.*)

2.1.5 Duurzaamheidsaspect optimaliseren van luchtdichtheid

Duurzaamheid kan met één allesomvattende slagzin gedefinieerd worden als volgt: “een systeem dat voor onbepaald tijd divers en productief blijft”. Optimaliseren van de lucht- en waterdichtheid van historisch schrijnwerk blijkt op langere termijn de gemeenschap ten goede te komen. Hierna worden enkele punten opgesomd die leiden tot een voordeel ten aanzien van duurzaamheid dat gehaald wordt uit de optimalisatie van historisch schrijnwerk: beperking van afval, behoud van materialen, energiebesparing, verlengde levensduur, behoud van cultureel erfgoed, lagere CO₂-uitstoot en circulair bouwen.

2.1.6 Energie-efficiëntie

Door de lucht- en waterdichtheid van historisch schrijnwerk te optimaliseren, kan het warmteverlies dat verloren gaat via ramen in een gebouw drastisch gereduceerd worden. Minder warmteverlies betekent minder stoken en bijgevolg lagere energiekosten voor verwarming (en koeling). In tijden van bewust omgaan met het milieu en ecologische voetafdrukken resulteert dit in een verbeterde energie-efficiëntie. Wat iedereen ten goede komt.

2.1.7 Behoud van cultureel erfgoed

Doordat de luchtdichtheid lokaal wordt verbeterd (bijvoorbeeld door het aanbrengen van kierdichtingen), blijft het historische karakter van het pand behouden. Door de luchtdichtheid te verbeteren in plaats van het historische schrijnwerk te vervangen, kunnen waardevolle historische elementen worden behouden, wat bijdraagt aan het behoud van cultureel erfgoed.

Het behoud van historisch schrijnwerk vermindert de behoefte en noodzaak aan nieuwe materialen. Doordat minder nieuw materiaal nodig is, wordt er ook minder bouwafval geproduceerd. Bijgevolg worden de milieueffecten van de bouw- en renovatie-industrie gereduceerd.

2.2 Luchtdichtheid

2.2.1 Definitie

De luchtdichtheid van een gebouw kan omschreven worden als vermogen om de luchtstromingen van buiten naar binnen toe - maar ook omgekeerd - binnen de perken te houden. Deze eigenschap wordt gekwantificeerd door het luchtlekdebiet doorheen de gebouwschil, of in dit geval een raamoppervlak, bij een gegeven drukverschil tussen de binnen- en de buitenomgeving. In België wordt de luchtdichtheid uitgedrukt bij een drukverschil van 50 Pa. Hoe groter het luchtlekdebiet door het gebouw of door het raamoppervlak, hoe minder luchtdicht het geheel. (Buildwise, 2015)

2.2.2 Luchtstroming door openingen – luchtdebiet

Luchtdichtheid op zich is geen grootte en heeft dus ook geen eenheid. Wel kan de mate van luchtdichtheid bepaald worden door de grootte van de luchtstroom. Hoe kleiner de luchtstroom door een raamoppervlak (luchtlekdebiet), uitgedrukt in een volume per tijdseenheid, hoe luchtdichter het raam geheel. De mate van luchtdichtheid varieert ook van plaats tot plaats in een raam. Er moet aandacht besteed worden aan het gehele raam. Zo zal de luchtdichtheid van het glas op zich een goede prestatie leveren, maar de aansluiting van de glasplaat aan het houtwerk rondom of de aansluiting van de raamkader met de raamvleugel kan heel slecht presteren tijdens een test volgens norm EN 1026.

Het luchtlekdebiet is afhankelijk van verschillende factoren zoals de grootte van de kieren en spleten in het raam, de winddruk, de temperatuur binnen en buiten, etc. Om een rekenwaarde voor het luchtlekdebiet te vinden, kan gebruik gemaakt worden van een empirische machtswet vergelijking.

$$V = C \cdot \Delta P^n$$

Met:

- V: Luchtlekdebiet – volumestroom door openingen - [m³/h]
- ΔP : Drukverschil over de opening - [Pa]
- C: Debietcoëfficiënt – volumestroomcapaciteit van de opening - [m³h Pa⁻ⁿ]
- n: Stromingsexponent [-]

Deze formule vormt de basis van luchtdichtheidstesten. Daarom wordt de formule nu reeds aangehaald. In 4.1.2.2, wanneer de testopstelling uit de doeken wordt gedaan, wordt meer uitleg verschaft over bovenstaande formule. (Bouwfysica & Ruud Van Herpen, 2007)

2.2.3 Factoren die luchtdichtheid beïnvloeden

Luchtdichtheid van een raam of deur gaat gepaard met de aanwezige luchtdruk, of beter gezegd het verschil in luchtdruk over het raam tussen de binnen- en buitenruimte. De manier waarop de heersende luchtdruk zich verhoudt met de atmosferische luchtdruk (in onder- of overdruk) bepaalt mee de mate van luchtdichtheid. Er zijn drie grote factoren die een verschil in luchtdruk tussen binnen- en buitenomgeving mogelijk kunnen maken, nl. wind, ventilatie en verwarming.

2.2.3.1 Wind

Bij de dimensionering van een gebouw wordt rekening gehouden met de windbelasting. Er wordt een combinatie gemaakt van verschillende mogelijkheden. In elke mogelijkheid wordt verondersteld dat de wind uit één bepaalde richting komt. In het geval van een huis met vier gevels wil dit concreet zeggen dat er per geval steeds één gevel in overdruk zal staan, de drie andere gevels staan in onderdruk. Meer

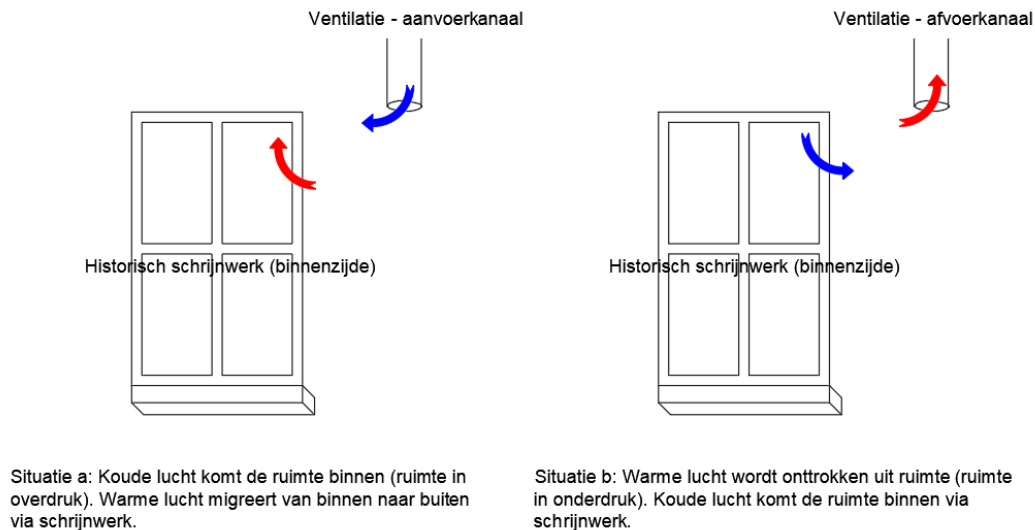
informatie over dit fenomeen kan teruggevonden worden in 2.4.1. Deze paragraaf handelt over winddistributie.

De wind kan drukverschillen tussen de binnen- en buitenomgeving teweeg brengen. Deze drukverschillen kunnen op hun beurt luchtlekken in het gebouw veroorzaken. Ter plaatse waar het buitenschrijnwerk in de gevels belast wordt op overdruk, zal aan de buitenzijde van het buitenschrijnwerk dus een hogere druk heersen dan aan de binnenzijde van het buitenschrijnwerk. Daar waar de ramen belast worden op onderdruk, is het juist andersom. Veelal vinden de luchtlekken, afkomstig door wind, plaats in de buurt van raam- of deuraansluitingen of ventilatieopeningen. Het is duidelijk dat een goede luchtdichte raamafdichting geen overbodige luxe is. (FUTURE-PROOFING HERITAGE TOWNHOUSES BY OPTIMISING COMFORT AND ENERGY IN TIME AND SPACE HERITACE, 2023)

2.2.3.2 Ventilatie

Wanneer lucht in een woning of een residentieel gebouw geblazen wordt (situatie a op onderstaande figuur) door een luchtaanvoersysteem (systeem D) of via raamroosters (systeem C), komt dat gebouw in overdruk te staan. Dit wil zeggen dat de luchtdruk binnen hoger is dan de standaard atmosferische luchtdruk, zijnde 1,013 bar. Wanneer een matige luchtdichtheid van de ramen zich voordoet, zal de vers ingeblazen lucht zich via de spleten en kieren in het schrijnwerk een weg naar buiten (lagere druk) zoeken. De warme binnenlucht migreert naar de buitenomgeving, zodoende moet opnieuw gestookt worden aangezien de binnentemperatuur mogelijks gezakt is tot onder de comforttemperatuur. (EPB-PEDIA, n.d.)

In het omgekeerde geval (situatie b op onderstaande figuur), wanneer lucht afgezogen wordt uit een ruimte, treedt een onderdruk op in de ruimte. De waarde van de onderdruk ligt beduidend lager dan de atmosferische druk. Nu zal er koude buitenlucht via de spleten en kieren in het schrijnwerk naar binnen migreren. Dit wil zeggen dat de binnentemperatuur zakt. In het geval de binnentemperatuur zodanig ver zakt tot onder de comforttemperatuur, wordt het aanwezige verwarmingselement aangesproken. Deze gebeurtenis wordt als nefast beschouwd, aangezien er nu stookkosten van toepassing zijn. (EPB-PEDIA, n.d.)



Figuur 5: Invloed ventilatie op buitenschrijnwerk, verschillende situaties

Ook hier is het dus duidelijk dat een goed uitgevoerde luchtdichtheid van groot belang is. In dit geval dient de ventilatie-unit correct gedimensioneerd te worden.

2.2.3.3 Verwarming

Een verwarmingselement zoals een traditionele radiator, een vloerverwarmingssysteem, convectoren of een klimaatplafond, heeft als doel de temperatuur te verhogen tot aan de comforttemperatuur. Een rechtstreeks gevolg van de ideale gaswet leert dat er een rechtstreeks verband is tussen de luchtdruk en de temperatuur. De vorige alinea betreffende ventilatie legt de invloed van een over- of onderdruk uit en diens invloed op de luchtdichtheid van een gebouw. Dezelfde redenering kan aangehouden worden.

$$PV = nRT$$

De relatie tussen de luchtdruk (P), het volume (V) en de temperatuur (T) van een ideaal gas wordt beschreven door bovenstaande formule. R en n betreffen respectievelijk de gasconstante en het aantal mol. Bij een constant volume geldt dat een toename in temperatuur leidt tot een toename in luchtdruk.

Vertaald naar de praktijk wil dit dus zeggen dat wanneer men de verwarming aanzet, de temperatuur van de aanwezige lucht in de ruimte zal stijgen. Met de conclusie uit de ideale gaswet kan gesteld worden dat de luchtdruk op dat moment eveneens zal stijgen aangezien het volume constant blijft. Verder kan dezelfde redenering gevolgd worden als in 2.2.3.2 bij de ventilatie. Het inschakelen van de verwarming zal voor een drukverhoging binnen in de ruimte zorgen, zo zal er lucht naar de buitenomgeving doorheen het raamwerk migreren.

2.2.4 Normering

De onderstaande normen kunnen geraadpleegd worden op de website van het Bureau voor Normalisatie (NBN). De hoofdgedachte van elke norm wordt hieronder telkens toegelicht. De eerste aangehaalde norm beschrijft de methode om een gestandaardiseerde test uit te voeren, de tweede norm bevat een classificatie voor de resultaten bekomen met de test.

2.2.4.1 EN 1026

De norm EN 1026 beschrijft de methode die gevolgd dient te worden voor het bepalen van de luchtdoorlatendheid van deuren en ramen, ongeacht welk materiaal. Het te testen raam of deur wordt geïnstalleerd in een testopstelling die representatief is voor de werkelijke installatie in een gebouw. Het frame, gemaakt uit betonplex, moet stevig worden bevestigd om ongewenste luchtlekken te voorkomen. Speciale meetapparatuur wordt geïnstalleerd om de luchtdichtheid te meten. Dit omvat meestal drukverschilmeters die het drukverschil tussen de binnen- en buitenomgeving kunnen bepalen. Alle openingen rondom het raam of de deur worden afgedicht om ervoor te zorgen dat alle luchtlekken zich concentreren op het specimen zelf. De luchtlekkage naast het raam, kan door deze test niet bepaald worden. De test begint met het creëren van een drukverschil tussen de binnen- en buitenomgeving. Dit kan worden gedaan door een ventilator te gebruiken om lucht in het gebouw te blazen (positieve druktest) of door lucht uit het gebouw te zuigen (negatieve druktest). Terwijl het drukverschil wordt gehandhaafd, wordt de hoeveelheid lucht die door de luchtlekken stroomt geregistreerd. Dit wordt meestal uitgedrukt als de hoeveelheid lucht die door de lekken stroomt bij een bepaald drukverschil, uitgedrukt in kubieke meters per uur per vierkante meter ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$). De testprocedure moet worden herhaald om de consistentie van de resultaten te verifiëren. Ook moet ervoor worden gezorgd dat de gebruikte meetapparatuur nauwkeurig is gekalibreerd. Na voltooiing van de test worden de resultaten gerapporteerd, inclusief de gemeten luchtlekken bij verschillende drukverschillen. De drukverschillen tussen binnen- en buitenruimte van het specimen waarop gemeten wordt, betreffen de volgende reeks: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 450, 600 Pa. (Belgisch Instituut voor Normalisatie, 2016a)

2.2.4.2 EN 12207

De norm EN 12207 definieert de classificatie van testresultaten voor ramen, binnen- en buitendeuren die volledig gemonteerd zijn en beproefd worden volgens EN 1026. Voor dit onderzoek zijn enkel de paragrafen in de norm betreffende ramen van belang. De mate van de luchtdichtheid kan op twee manieren beoordeeld worden. Enerzijds volgens de totale oppervlakte van het raam, anderzijds volgens de lengte van de opening van de kieren. De opening van de kieren betreft dan bij een enkel raam de omtrek. De norm wijst een klasse toe aan een getest raam. Er bestaan vier klassen. Klasse 1 bevat ramen met een hoge luchtdoorlaatbaarheid. Klasse 4 bevat zeer luchtdichte ramen. (Belgisch Instituut voor Normalisatie, 2017)

Tabel 1: Luchtdichtheidsklassen volgens EN 12207

Klasse	Referentie luchtdoorlaatbaarheid bij 100 Pa [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]	Maximum testdruk
1	50	150
2	27	300
3	9	600
4	3	600

2.2.5 Luchtdichtheid toegepast op historisch schrijnwerk

De luchtdichtheid van historisch schrijnwerk wordt waargenomen aan de hand van de test beschreven in norm EN 1026 of met behulp van een blowerdoortest die beschreven staat in 2.2.6.2. Het blijft een cruciale factor in de energie-efficiëntie en het comfort van gebouwen. Hoe luchtdichter het buitenschrijnwerk, hoe minder warmteverlies.

In het algemeen kan gesteld worden dat drie groepen eisen bestaan die aan buitenschrijnwerk gesteld worden. De eerste eis betreft het warmtecomfort en is tevens de belangrijkste eis voor dit onderzoek. Verder wordt ook nog een geluidscomforteis en een veiligheidseis gesteld aan het buitenschrijnwerk. Tegenwoordig zijn de eisen aan buitenschrijnwerk heel streng, historisch buitenschrijnwerk kan zich in sommige gevallen ontdoen van deze strenge voorwaarden.

Toch kan er intuïtief aangevoeld worden dat een meer luchtdicht historisch raam boven een minder luchtdicht historisch raam zal verkozen worden. Op dit moment zijn nog geen wetgevingen over verplichte luchtdichtheidsklassen bij historische gebouwen zoals dat wel het geval is bij nieuwbouw of renovatie.

2.2.6 Luchtdichtheidsmetingen

2.2.6.1 In het labo

De luchtdichtheidsmetingen in het labo gebeuren volgens de normen beschreven in 2.2.4. De volledige testprocedure wordt uitgelegd in 4.1.2.

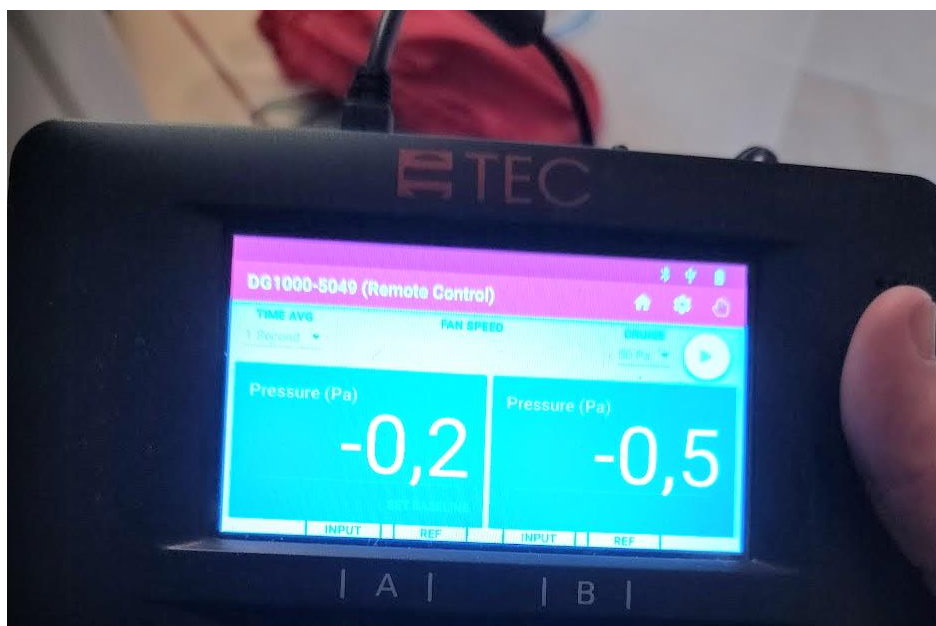
2.2.6.2 In-situ – blowerdoortest

Een in-situ-luchtdichtheidsmeting kan gebeuren wanneer het niet mogelijk is om het raamgeheel te demonteren en op de testbank te plaatsen. Zo'n raam betreft bijvoorbeeld het buitenschrijnwerk in een gebouw dat niet vervangen dient te worden maar waarvan men wel de mate van luchtdichtheid wil weten. Zo'n in-situ meting is vooral gebruikelijk om de gepaste EPB-certificaten te verkrijgen en voor de algemene luchtdichtheid van een gebouw aan te tonen. Er dient een luchtdichtheidstest uitgevoerd te worden in dat gebouw. Zo'n luchtdichtheidstest gebeurt aan de hand van een blowerdoortest met als

doel een resultaat te bekomen betreffende de hoeveelheid ongewenste luchtinfiltratie of – exfiltratie die plaatsvindt door naden, kieren en andere openingen in een gebouw.

Bij blowerdoortesten die het doel hebben de algemene luchtdichtheid van het gebouw te meten, zal de n-50 waarde een representatie geven van de mate van de luchtdichtheid van dat gebouw. Deze n-50 waarde wordt uitgedrukt in h^{-1} . De nogal vreemd uitziende eenheid wil niets meer zeggen dan ‘per uur’. Stel dat een n-50-waarde van $2 h^{-1}$ bekomen wordt, dan wil dat zeggen dat het volume lucht dat zich in de woning bevindt, twee maal per uur ververscht wordt bij een constant drukverschil van 50 Pa.

In het geval van een blowerdoortest om de algemene luchtdichtheid te bekomen, wordt de test voorbereid door een krachtige ventilator, bekend als de blowerdoor, in een deuropening te plaatsen. De deuropening wordt volledig afgedekt met behulp van een veelal rood luchtdicht doek, zoals te zien in Figuur 8. De ventilator, die in het rode doek geplaatst wordt, beschikt over een meetinstrument (te zien op Figuur 6) die verbonden is met drie verschillende buisjes. Hierdoor kan de luchtdruk binnen en buiten het gebouw gemeten worden. De ventilator wordt ingeschakeld, zo wordt een constante en gecontroleerde luchtstroom gecreëerd doorheen het gebouw. Het meetinstrument registreert de drukverschillen tussen binnen- en buitenomgeving en meet ook de luchtsnelheid die door de ventilator wordt gegenereerd. De meetgegevens worden geanalyseerd en een energie-efficiëntie van het gebouw wordt bepaald. (The Energy Conservatory, 2012)



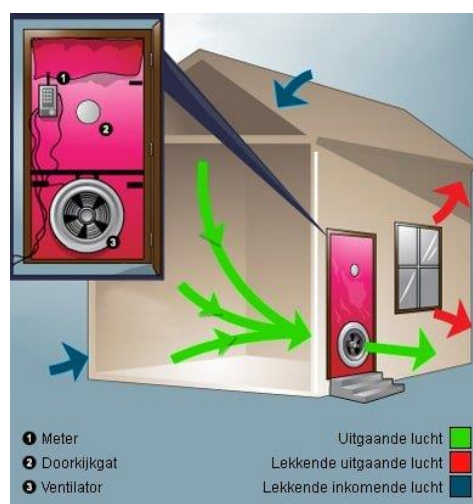
Figuur 6: Digitaal resultatscherm blowerdoortest

Het doel van deze masterproef betreft het meten van de luchtdichtheid van een enkel raam, en dus niet van een volledige kamer of woning. De luchtdichtheid van een enkel raam kan eveneens bepaald worden door de blowerdoortest. De werkwijze gaat dan als volgt. Een eerste maal wordt de test uitgevoerd zoals hierboven beschreven. Vervolgens wordt dezelfde test herhaald, met dat verschil dat een PE-folie, of

een andere luchtdichte folie, gespannen wordt over het te testen raam. De folie wordt aan de zijanten zorgvuldig afgeplakt met een luchtdichte kleefband. Het lekdebiet moet logischerwijs kleiner zijn bij de tweede test (test met afgedekt raam) dan bij de eerste test. Uiteindelijk wordt het verschil bepaald tussen de twee metingen. Deze verschilwaarde geeft een indicatie over de luchtdichtheid van het raam.

Uiteraard kan intuïtief aangevoeld worden dat de nauwkeurigheid op de bovenstaande beschreven methode veel lager ligt dan wanneer een raam getest wordt op de testbank in laboratoriumomstandigheden. Het doel dat gepaard gaat met het uitvoeren van blowerdoortesten tijdens deze masterproef betreft voornamelijk een algemeen inzicht te krijgen op de luchtdichtheidswaarden die bekomen worden.

De blowerdoortest voor een gehele woning wordt uitgedrukt in h^{-1} . Om de luchtdichtheid van een raam uit te drukken, heeft deze eenheid maar weinig relevantie. De mate van luchtdichtheid van een raam wordt uitgedrukt in $[m^3/m^2h]$. Deze eenheid luidt als volgt: 'het debiet per vierkante meter raamoppervlak'. Laatstgenoemde eenheid wordt bekomen door de n-50 waarde te vermenigvuldigen met het volume van het lokaal waarin het geteste raam zich bevindt en vervolgens te delen door de oppervlakte van het geteste raam.

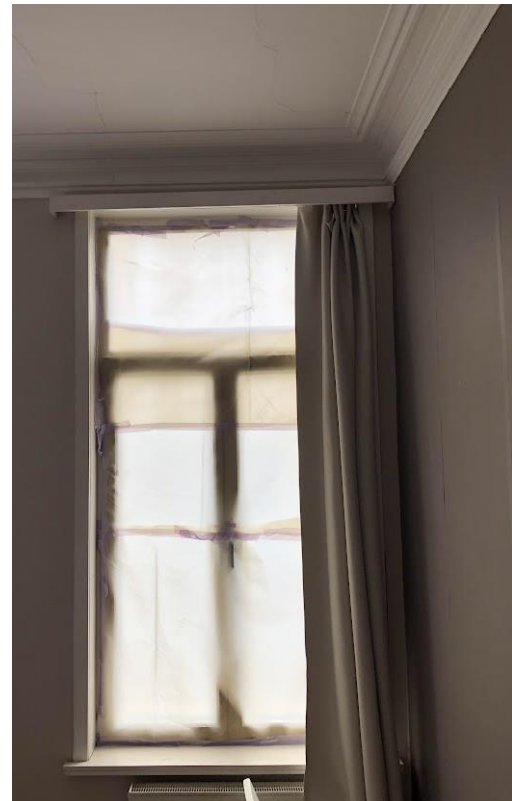


Figuur 7: Visuele voorstelling blowerdoortest

Onderstaande figuren geven enkele beelden weer van een werkelijke meting met een blowerdoortest. Op de linkse figuur wordt de luchtdichtheid van het gehele lokaal gemeten. De rechtse figuur geeft het afgedekte raam weer.



Figuur 8: Uitvoering blowerdoortest



Figuur 9: Afgedekt raam

2.2.7 Manieren om luchtdichtheid te optimaliseren

Er zijn heel wat manieren om de luchtdichtheid, en dus het wooncomfort te verbeteren. Zo kan het raamkader op zichzelf onder handen genomen worden door bijvoorbeeld tochtstrips aan te brengen in de kieren. Dit is een duurzame manier waarbij het bestaande raam behouden blijft, doch worden de prestaties ervan verbeterd. Een andere methode om de luchtdichtheid omhoog te krikken bestaat eruit om (deels) een nieuw raam te voorzien. Zo zijn er mogelijkheden als voor- of achterzetramen, oplegbeglazing, verschillende soorten folies op het glas aanbrengen of het vervangen van het bestaande glas naar nieuw glas. Van de laatste methode is op voorhand geweten dat de luchtdichtheid van de nieuwe materialen hoog is, het heeft dan ook weinig relevantie tot deze masterproef om al deze methoden uitgebreid te behandelen. (Frederik Mahieu, 2017)

2.2.7.1 Het gebruik van tochtstrips (algemeen)

De focus om de luchtdichtheid te verbeteren ligt bij het aanbrengen van tochtstrips en dergelijke. Tochtstrips worden ter plaatse van kieren geplaatst en zorgen daar lokaal voor de kierafdichting. Enerzijds wordt de thermische en akoestische isolatiewaarde verhoogt, anderzijds biedt het ook een buffer tegen vuil- en stofindringing naar binnen toe.

Afdichtingen worden geplaatst op een aansluiting van de raamvleugels op het kozijn. De tochtstrip of tochtband wordt aangebracht in een voorziene sponning. Er zijn enkele verschillen op te merken tussen een tochtstrip en een tochtband.

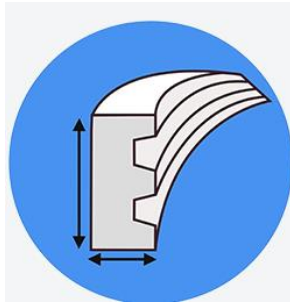
Een tochtstrip betreft een profiel die uit hard materiaal bestaat zoals kunststof of aluminium. Het is vaak een redelijk smalle strook die op specifieke plaatsen wordt aangebracht om openingen af te dichten zoals de randen van ramen. Het wordt vaak gebruikt om kleine kieren te dichten en een strakkere afdichting te creëren.

Een tochtband is gemaakt van een flexibel en zachter materiaal en is vaak zelfklevend. Het wordt langs de omtrek van het raamkozijn geplaatst terwijl het raam open is. Hierdoor ontstaat een afdichting tussen het bewegende deel en het kozijn. Tochtbanden zijn in het algemeen iets breder en bieden een meer alomvattende afdichting. Er zijn veel verschillende soorten tochtbanden met elk hun eigen voor- en nadelen. (*Tochtstrips*, 2024)

Een eerste reeks profielen die zeer gekend zijn, zijn de profielen in een lettervorm. Deze profielen kunnen bestaan uit de vorm van een E, D, P, O of I. Een eerste maatstaf bij het kiezen van het juiste profiel is het kiezen voor wel of geen aanwezigheid van een luchtkamer in het tochtprofiel. Profielen met een luchtkamer zijn bijvoorbeeld profielen in de vorm van een D, P of O. Deze profielen hebben allemaal een luchtkamer waardoor ze minder weerstand ervaren dan andere modellen, hierdoor kunnen ze goed samengedrukt worden. De grootte van de holte is ook van groot belang voor het herstellvermogen. Hoe groter de luchtholte, hoe groter het herstellvermogen en de terugverende kracht. (*Tochtstrips*, 2024)

De profielen zonder een luchtkamer kunnen de vorm van de letter E of I hebben. Deze profielen hebben een vastere structuur en geven iets meer weerstand bij het sluiten van het raam. De profielen zonder luchtkamer zijn ideaal voor kleine groefjes. (*Tochtstrips*, 2024)

Hieronder wordt een klein overzicht gegeven van enkele verschillende tochtbanden met hun specifieke voordelen en toepassingen.



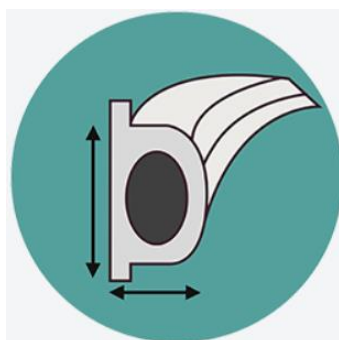
Figuur 10: E-profiel



Figuur 11: D-profiel



Figuur 12: P-profiel



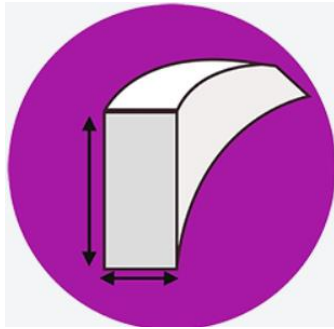
Figuur 13: O-profiel

Figuur 10 **Error! Reference source not found.** is een E-profiel of ook wel een kroonband te zien. Een E-profiel is een goede optie om kleine regelmatige groeven te vullen. Dit komt vaak voor bij houten raamkozijnen. De verschillende contactpunten zorgen voor een luchtdichte en waterdichte afsluiting. (Tochtstrips, 2024)

Op Figuur 11 is een D-profiel te zien. Op de figuur is duidelijk te zien dat er een luchtkamer aanwezig is bij dit profiel. Deze luchtkamer is samendrukbaar en is ideaal voor grotere kieren. De luchtkamer kan ook oneffenheden compenseren tussen het kozijn en het raam. Door zijn sterk herstellvermogen veert het snel terug naar zijn oorspronkelijke vorm. (Tochtstrips, 2024)

Op Figuur 12 is een P-profiel te zien. P-profielen dienen om holtes op te vullen met daarlangs een dunne kier. Op de figuur is ook te zien dat het profiel een ronde luchtkamer heeft, deze past zich gemakkelijk aan bij oneffenheden. (Tochtstrips, 2024)

Op Figuur 13 wordt een O-profiel weergegeven. Dit profiel wordt soms ook wel omega-profiel genoemd. Het heeft een ronde luchtkamer en is het best indrukbaar van alle profielen. De weerstand bij het sluiten van het raam is dus ook zeer laag, hierdoor wordt het O-profiel vaak gebruikt bij ramen met onregelmatige kieren. (Tochtstrips, 2024)



Figuur 14: I-profiel

Als laatste profiel in de vorm van een letter is het een I-profiel. Dit profiel kan zowel een smal als breed formaat zijn. De dunne profielen worden meestal gebruikt voor het opvullen van de middelgrote kieren, de brede profielen worden dan weer gebruikt voor de grote ruimtes. Deze profielen kunnen bevestigd worden naar eigen voorkeur zoals met lijm of nietjes. (Tochtstrips, 2024)

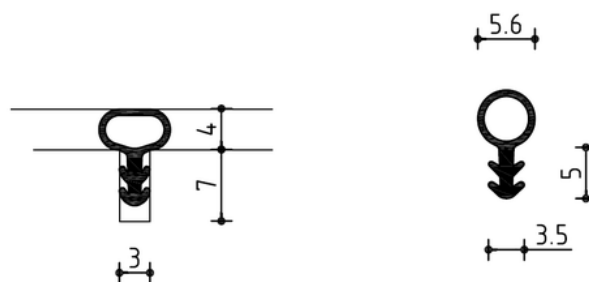
2.2.7.2 Gebruikelijke tochtstrips van gekende fabrikanten

Naast deze standaard gekende profielen, heeft elke fabrikant zijn eigen ontwikkelde producten met bijhorende naamgeving. Verschillende fabrikanten en merken van luchtdichtheidstrips zijn de volgende: Deventer, Trelleborg, Ellen, Hautau, etc. Aangezien Denys nv steeds materialen van Deventer gebruikt, worden hieronder enkele verschillende strips van dat merk beschreven.

Deventer is een Nederlands bedrijf, afkomstig uit Breda, dat gespecialiseerd is in het wind-, water en geluiddicht maken van raam- en deursystemen. Deventer heeft een ruim assortiment met standaard profielen, eveneens kunnen zij op maat gemaakt profielen leveren. In hun assortiment kunnen dichtingen voor verschillende doeleinden teruggevonden worden. Met verschillende doeleinden wordt dan vooral de specifieke plaats in een raam bedoeld. Onderstaande figuren geven een beeld weer van de verschillende aanwezige dichtingstrips in een houten raam. (DEVENTER Profielen, n.d.)

In de meeste gevallen zullen twee verschillende dichtingen aanwezig zijn. Eerst worden de verschillende alternatieven voor de buitenste dichting besproken, vervolgens worden alternatieven voor de binnenste dichting besproken.

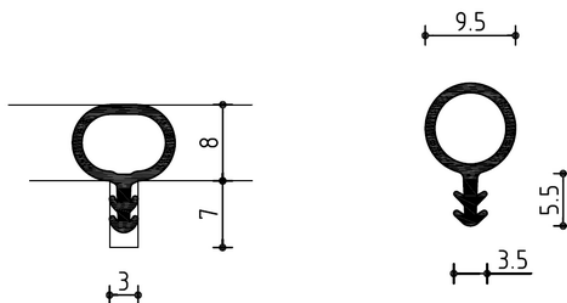
- S 0318



Figuur 15: Technische tekening S 0318-dichting

Deze dichting wordt vooral gebruikt in de renovatiesector. Het kraalprofiel wordt vervaardigd uit hoogwaardig TPE (Thermo Plastisch Elastomeer). Deze dichting is ideaal voor het bereiken van optimale dichtings- en isolatiewaarden. Het heeft een diameter van 5,6 mm. Er bestaan twee varianten van dit profiel: de witte en zwarte variant. Het verschil tussen deze twee varianten betreft de dikte van het thermo plastisch elastomeer. Bij de zwarte variant is de thermo plastische elastomeer iets dikker. (*S 0318 / Overzicht Dichtingen / Producten | DEVENTER Profielen, n.d.*)

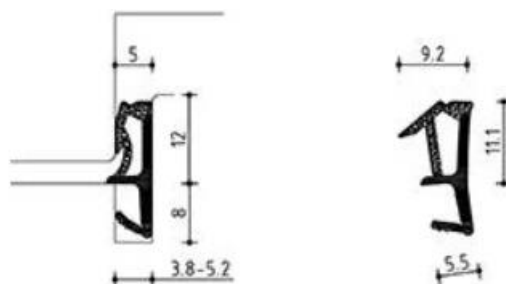
- **S 1320**



Figuur 16: Technische tekening S 1320-dichting

Deze dichting heeft dezelfde vorm van de S 0318. Het kraalprofiel wordt ook vervaardigd uit hoogwaardig TPE. S 1320 heeft een diameter van 9.5mm, S 0318 maar een diameter van 5.6mm. Hierdoor is S 1320 een stuk groter dan de S 0318-dichting waardoor de kier beter afgedicht wordt. (*S 1320 / Overzicht Dichtingen / Producten | DEVENTER Profielen, n.d.*)

- **SPV 12**



Figuur 17: Technische tekening SPV 12-dichting

Een SPV 12 profiel is vervaardigd uit hoogwaardige thermo plastische elastomeer. Het functionele gedeelte is gemaakt van een gesloten cel micro-schuim, te vergelijken met de luchtkamer in de profielen in de vorm van een letter. De profielen hebben ook een anti-rek bescherming, hiermee zijn ze uitstekend geschikt voor een stabiele hoekverbinding bij verstek geknipte hoeken. (*SPV 12 (F) / Overzicht Dichtingen / Producten | DEVENTER Profielen, n.d.*)

Uiteraard zijn het aantal verschillende profielen niet op twee handen te tellen. Bovendien blijven nieuwe profielen ontwikkeld en geproduceerd worden.

Bij ramen die voorzien zijn van spanjoletten als sluitingssysteem, kan het nuttig zijn om deze spanjoletten bij te stellen met het oog op een betere luchtdichtheid.

In het geval van schuiframen bestaat de oplossing van kierdichting veelal uit het plaatsen van tochtborstels. Aangezien een gewone tochtstrip in dit geval een zeer complexe uitvoering verlangt, is het gebruik van tochtborstels rechtvaardig. Aangezien de geteste historische ramen enkel draairamen zullen betreffen, worden tochtborstels voor deze masterproef als niet relevant beschouwd.

2.3 Waterdichtheid

2.3.1 Definitie

De term waterdichtheid doelt op een materiaaleigenschap van een constructieonderdeel om water buiten te houden en/of te voorkomen dat het binnendringt. Het is een cruciale eigenschap. In geval van matige tot slechte waterdichtheid, duikt de kans op vorstschade, houtrot en schimmel op. Dit kan leiden tot het falen van volledige structuren. De mate van waterdichtheid hangt af van verschillende factoren zoals de poreusheid van het materiaal, de kwaliteit van de afdichtingen en voegen, de constructiemethode en de blootstelling aan weersomstandigheden zoals regen, sneeuw en vochtigheid.

2.3.2 Factoren die waterdichtheid beïnvloeden

Alle factoren die de luchtdichtheid beïnvloeden, zullen eveneens de waterdichtheid beïnvloeden. Meer informatie hierover staat te lezen in 2.2.3.

2.3.3 Normering

De onderstaande normen kunnen geraadpleegd worden op de website van NBN. De hoofdgedachte van elke norm wordt hieronder telkens toegelicht. De eerste norm beschrijft de methode om een gestandaardiseerde test uit te voeren, de tweede norm bevat een classificatie van de resultaten bekomen met de test.

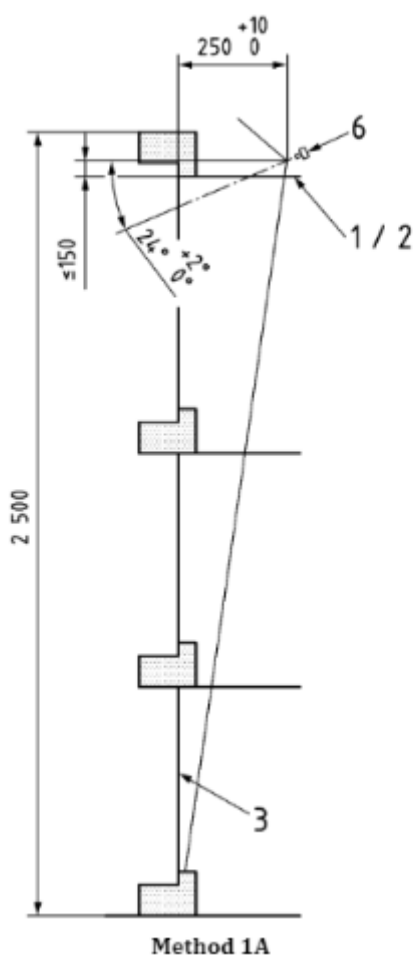
2.3.3.1 EN 1027

De volledige naam van deze norm luidt als volgt: “NBN EN 1027: Ramen en deuren- Waterdichtheid – Beproevingsmethode”. Samen met de norm die beschreven staat in de volgende paragraaf, vormen ze één geheel. Deze norm geeft de Europese standaard testmethode om de waterdichtheid van raamgehelen te determineren. De methode bootst de werkelijke situatie, alsof het raam geplaatst zou zijn in een gebouw, zo goed als mogelijk na. (Belgisch Instituut voor Normalisatie, 2016b)

Het raam dat wordt getest, wordt geïnstalleerd in een testopstelling die representatief is voor de werkelijke installatie in een gebouw. Dit omvat het correct plaatsen en bevestigen van het raam of de deur in een betonplex frame. Alle openingen rondom het raam worden afgedicht om ervoor te zorgen dat eventuele lekken zich concentreren op het testraam. De test is dus niet geschikt voor het bepalen van de waterdichtheid van de verbinding tussen het raam en de muur. De test begint door een positief drukverschil aan te brengen en nadien het water te laten sproeien over het raamoppervlak. Er dient opgemerkt te worden dat de aangebrachte druk steeds een overdruk moet zijn (en dus nooit een onderdruk). Dit komt doordat een werkelijke situatie waar een raam zowel door water (regen) besproeid wordt en een onderdruk van buitenaf ondervindt, in realiteit niet mogelijk is. Het besproeien gebeurt

met behulp van een tuinslang. Het water wordt geleidelijk verhoogd tot een bepaald niveau, volgens de specificaties van de norm. De norm schrijft een debiet van 2 l/min/m² voor. Tijdens het aanbrengen van de waterbesproeiing wordt visueel gecontroleerd of er waterlekage optreedt aan de binnenkant van het raam. Eventuele lekkages worden opgemerkt en geregistreerd. De testresultaten worden vastgelegd, alsook de druk waarbij lekkage optreedt en de locaties van eventuele lekken. De testprocedure moet worden herhaald om de consistentie van de resultaten te verifiëren. Ook moet ervoor worden gezorgd dat de gebruikte apparatuur nauwkeurig is gekalibreerd. Na voltooiing van de test worden de resultaten gerapporteerd, inclusief de waargenomen lekken en eventuele andere relevante informatie. (Belgisch Instituut voor Normalisatie, 2016b)

Onderstaande afbeelding geeft een beeld weer van een waterdichtheidstestopstelling.



Figuur 18: Opstelling waterdichtheidstesten volgens EN 1027 (Belgisch Instituut voor Normalisatie, 2016b)

2.3.3.2 EN 12208

In deze norm wordt een classificatie beschreven van de testresultaten die bekomen werden uit de test volgens norm EN 1027. De norm specificeert prestatiecriteria voor waterdichtheid onder verschillende drukkiveaus. Deze criteria worden vaak uitgedrukt als klasse-indelingen, zoals Klasse 1 tot Klasse 9, waarbij Klasse 9 de hoogste waterdichtheid vertegenwoordigt. Op basis van de testresultaten wordt het

raam of de deur geclassificeerd volgens de prestatieklasse die overeenkomt met de mate van waterdichtheid die het vertoont tijdens de testen. (Belgisch Instituut voor Normalisatie, 2000)

2.3.4 Waterdichtheid toegepast op historisch schrijnwerk

De waterdichtheid van historisch schrijnwerk wordt waargenomen aan de hand van de test beschreven in norm EN 1027, dit staat beschreven in 2.3.3.1. De mate van waterdichtheid blijft een zeer belangrijke factor in de buitenschrijnwerksector. Hoe meer waterdicht het buitenschrijnwerk is, hoe minder kans op materiaaldegradatie en op wateroverlast in een binnenruimte.

Mogelijke gevolgen van een weinig waterdicht geheel worden hierna opgesomd. Houtrot en structurele schade, esthetische degradatie, verlies van thermisch comfort en dus zo en lagere energie-efficiëntie en in een verder stadium kan het leiden tot vocht gerelateerde gezondheidsproblemen. Om dit soort problemen te vermijden, dient een gepaste waterdichting aangewend te worden.

2.3.5 Waterdichtheidsmetingen

Waterdichtheidsmetingen gebeuren enkel in laboratoriumomstandigheden. De reden hiertoe ligt voor de hand. Het is praktisch onmogelijk om in-situ metingen watersproeiers uit te voeren wegens het gevolg dat alles nat zou zijn. De waterdichtheidstesten dienen te gebeuren volgens de testprocedure beschreven in norm EN 1027, meer info hieromtrent wordt beschreven in 2.3.3.1.

Er dient opgemerkt te worden dat zo'n waterdichtheidstest een simulatie betreft van de werkelijkheid, maar dan wel in een veel extremere vorm. Zo zal er in werkelijkheid zo goed als nooit een debiet van 2 l/min/m² op buitenschrijnwerk aangrijpen. Als het in werkelijkheid regent, kunnen lijnen afkomstig van druppels opgemerkt worden op het glasoppervlak. Het glasoppervlak bij de waterdichtheidstesten is volledig bezet met een aflopende waterfilm. Zo'n extreme regenval (eventueel in combinatie met windbelasting) doet zich in werkelijkheid nauwelijks voor. Wanneer bijvoorbeeld een meting uitgevoerd wordt, nog zonder een opgelegd drukverschil, zal misschien reeds water naar binnen stromen na pakweg één minuut. Dit gegeven is niet altijd zo representatief voor de werkelijkheid, het zijn dan ook testnormen.

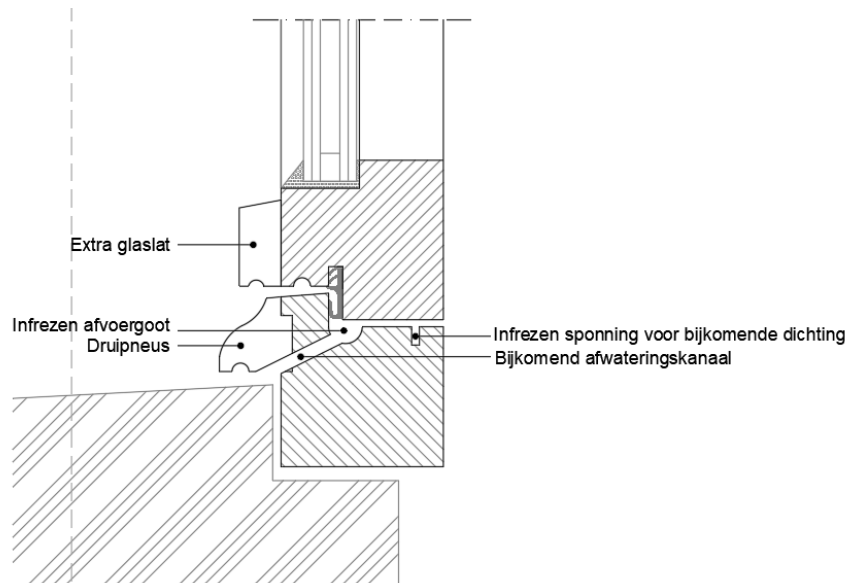
2.3.6 Manieren om waterdichtheid te verbeteren

2.3.6.1 Plaatsen of verbeteren van de afdichtingen

De rubberen afdichtingen die reeds beschreven werden in hoofdstuk 2.2.7 omtrent luchtdichtheid, zullen ook een positieve bijdrage leveren op vlak van de waterdichtheid. Waar het raam aan het houten raamkader verbonden wordt, dient een flexibele waterafstotende kit aangebracht te worden.

2.3.6.2 Installatie van afwateringssystemen

Om een geheel te vormen dat genoeg weerstand biedt tegen waterinfiltraties, kunnen verschillende zaken aangebracht of aangepast worden. Zo wordt een druipneus geplaatst, een afvoergoot wordt in de onderregel ingefreesd met meerdere ontwateringskanalen en een extra glaslat kan bevestigd worden op de onderregel van de raamvleugel.



Figuur 19: Optimalisatie waterdichtheid testraam

2.3.6.3 Inspectie, onderhoud en reparatie van houtoppervlak

Wanneer de waterlekken niet afkomstig zijn van de kieren of de aansluitingen tussen het glas en hout of tussen het hout en hout, kan het zijn dat het hout dusdanig aangetast is zodat waterlekken op die manier mogelijk worden. In een extreem geval dient het beschadigde hout vervangen te worden. Bij minder ver gevorderde gevallen kan een behandeling van het houtoppervlak al volstaan. Met verf of een vernislaag wordt het houtoppervlak beschermd. Hout blijft, in tegenstelling tot PVC of aluminium, een levend materiaal, een regelmatige inspectie en een eventueel onderhoud vormt dus geen overbodige luxe.

2.4 Klimaatbelastingen op buitenschrijnwerk

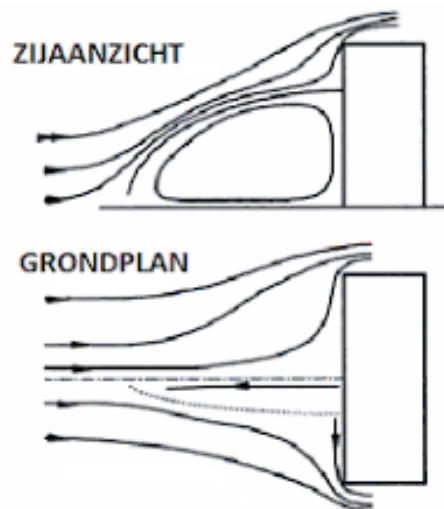
Dit deel van de verkennende literatuurstudie handelt over de klimaatfactoren die zich voordoen bij gebouwen en bij uitbereiding op het buitenschrijnwerk van die gebouwen. Deze factoren bepalen de belasting op het buitenschrijnwerk. Het is handig om te weten met welke mate optredende luchtdrukken en windsnelheden buitenschrijnwerk belasten. Zo kan de werkelijkheid, later in dit verslag, afgetoetst worden aan de geldende normeringen. Hieronder wordt het waterdebiet dat afkomstig is van slagregen bepaald. (Adrian Verhoijssen, 2010)

Om dit vraagstuk te onderzoeken blijkt niet enkel de regen van belang, maar ook in belangrijke mate de wind. Aangezien ramen zich veelal iets achter het verticale niveau van de gevel bevinden, zal het raam nooit nat worden door regen zelf maar wel door slagregen, ook wel ‘Wind Driven Rain’ (WDR) genoemd. Slagregen betreft een combinatie van wind en regen. Beide componenten moeten bestudeerd worden om een inschatting te maken van het waterdebiet dat terecht komt op het raamwerk. (Adrian Verhoijssen, 2010)

2.4.1 Winddistributie

De windkracht ter plaatse van een raam hangt van heel wat verschillende factoren op verschillende schalen af. Ten eerste wordt de windkracht bepaald per streek of klimaatzone. Vervolgens wordt gekeken naar de nabije omgeving van het gebouw. Zo zal de windkracht in een open gebied veel groter blijken dan de windkracht in een dichtbebouwde stadskern. Ook de geometrie van het gebouw bepaalt in zekere zin de grootte van de windkracht. (Adrian Verhoijssen, 2010)

Om de windsnelheid op een raam in een gebouw te kennen, kunnen dus niet simpelweg de meetwaarden bekomen in weerstations gebruikt worden. Meetwaarden uit weerstations worden gemeten in een open veld en zullen dus bijgevolg afwijken van de waarde voor de windkracht ter plaatse van een raam.



Figuur 20: Windturbulentie rond een gebouw (Adrian Verhoijssen, 2010)

Om de plaatselijke windsnelheden te kennen ter plaatse van de ramen dienen al deze bovenstaande factoren op verschillende schalen in rekening gebracht te worden. Met behulp van een windtunnel-test en een maquette van het gebouw kunnen de plaatselijke windsnelheden bekomen worden. Een andere manier om tot dezelfde resultaten te komen, bestaat er in om computerberekeningen te laten uitvoeren. Deze berekeningen worden uitgevoerd door ‘computational fluid dynamics’(CFD)-computerprogramma’s. Deze programma’s bootsen de luchtstroming na op een digitaal model. (Adrian Verhoijssen, 2010)

De twee bovenstaande methodes zijn erg duur en arbeidsintensief. In de praktijk wordt eerder met bouwcodes, zoals de Eurocodes, gewerkt. Deze codes geven een waarde van de winddruk afhankelijk van de categorie van de omgeving en het gebouw. Hieronder volgt een beschrijving van het gebruik van zo'n eurocode. (Adrian Verhoijzen, 2010)

2.4.1.1 Berekening winddruk

Uit de berekening volgens de eurocode kan onderstaande formule gehaald worden. De formule houdt rekening met de plaatselijke turbulentie ter plaatse van het gebouw. Met behulp van deze formule kan de luchtdruk bepaald worden bij een gemeten gemiddelde windsnelheid op een bepaalde hoogte bij een bepaalde ruwheidsklasse van de omgeving. (Adrian Verhoijzen, 2010) (Nathan Van Den Bossche, 2013)

$$q_p = 0,625 \cdot [c_{pe} + 0,3] \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot (1,42 + 0,3013 \cdot (\ln(\frac{600}{t}) - 4))}{\ln(\frac{z}{z_0})} \right] \cdot \left[0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{0,05}\right)^{0,07} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right]^2 \cdot v_b^2$$

Met: q_p = Winddruk, op hoogte z , voor duur t [Pa]

c_{pe} = Drukcoëfficiënt, afhankelijk van de plaats van het gebouw. Aan de loefzijde van het gebouw is deze gelijk aan 1. Dit is de slechtst mogelijke waarde voor regeninfiltraties.

t = Duur waarvoor men de drukstoot wil kennen [s]

z = Hoogte waarop men de luchtdruk wil kennen [m]

v_b = Windsnelheid, in het vrije veld, gemiddeld voor 10 minuten [m/s]

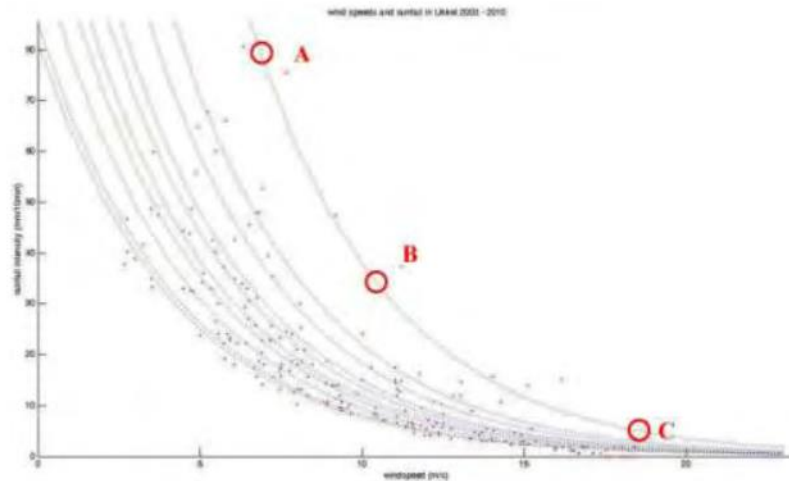
z_0 = Referentie-hoogte, afhankelijk van de terreincategorie [m]. De waarden van deze parameter worden in onderstaande tabel weergegeven

Tabel 2: Omgevingsklassen

Klasse		z_0 [m]
0	Zee of kuststreek	0,01
I	Meren of zones met te verwaarlozen vegetatie	0,01
II	Landelijk gebied met alleenstaande gebouwen en bomen	0,05
III	Verstedelijkt gebied of bosgebied	0,3
IV	Steden (minstens 25% van de opp. bedekt met gebouwen hoger dan 10 m)	1

2.4.2 Slagregen

Uit studie van de gegevens van klimaatmetingen heeft men kunnen afleiden dat de meeste hoeveelheid neerslag valt tijdens periodes wanneer het niet zo hard waait en andersom dat het minder hard regent bij hardere wind. De meetpunten liggen in feite volgens een Pareto-front. (Nathan Van Den Bossche, 2013)



Grafiek 1: Neerslaghoeveelheid ten opzichte van de windsnelheid (Nathan Van Den Bossche, 2013)

Om de hoeveelheid slagregen te berekenen worden drie zones onderscheiden op het Pareto-front. In zone A komt veel neerslag voor, maar is de luchtsnelheid laag. In zone B is de neerslaghoeveelheid en de windsnelheid gemiddeld. Tenslotte in zone C waait het hard maar valt niet zo veel regen. (Nathan Van Den Bossche, 2013)

Over het algemeen blijkt, uit onderzoek van klimaatmetingen, dat de windsnelheid tijdens de buien gemiddeld lager is dan de algemene gemiddelde windsnelheid. Voor de berekening van de slagregen in volgende paragraaf moet men uit alle windsnelheden dus alleen de waarden selecteren die voorkomen tijdens regen. (Nathan Van Den Bossche, 2013)

2.4.2.1 Berekening slagregen

Wanneer metingen op de weersomstandigheden uitgevoerd worden, registreert men enkel de windsnelheden en -richtingen en de neerslaghoeveelheden. Men meet dus enkel de neerslag die terecht komt op een horizontaal vlak. Om de neerslaghoeveelheid op een raam te bekomen, dienen dus enkele omrekeningen te gebeuren. Eerst en vooral moet de geregistreerde neerslaghoeveelheid, die gemeten wordt met een bepaalde frequentie (bijvoorbeeld om die 10 minuten), omgerekend worden naar bijvoorbeeld 1 minuut of drie seconden. (Adrian Verhoijssen, 2010)

$$r_h(t) = \left(\frac{t_0}{t}\right)^{0,55} \cdot r_h(t_0)$$

Met: $r_h(t)$ = Gemiddelde neerslaghoeveelheid gedurende periode t [l/min]

t_0 = Periode van de metingen (vb. 10 minuten) [min]

t = Gezochte periode [min]

$r_h(t_0)$ = Gemeten neerslaghoeveelheid gedurende periode t_0 [l/min]

De hoeveelheid slagregen kan berekend worden met behulp van onderstaande formule.

$$WDR = RAF \cdot DRF(r_h) \cdot \cos(\theta) \cdot V(h) \cdot r_h$$

Met: WDR = Hoeveelheid slagregen (Wind Driven Rain) [l/min/m²]

RAF = Rain Admittance Factor. Deze factor houdt rekening met het feit dat de wind rond een gebouw anders zal bewegen dan in het vrije veld. De factor is afhankelijk van de geometrie van het gebouw. Bij hoge gebouwen zal deze factor een hogere waarde aannemen.

DRF = Driving Rain Factor. Met deze factor kan de hoeveelheid water dat op een verticaal oppervlak terecht komt berekend worden op basis van de gekende hoeveelheid die terecht komt op een horizontaal oppervlak.

θ = Hoek die de wind maakt met een loodrechte lijn op de muur [°]

$V(h)$ = Windsnelheid op de gewenste hoogte h [m/s]. Dit is de windsnelheid die optreedt tijdens neerslag (zie de vorige paragraaf).

r_h = Regenintensiteit op een horizontaal oppervlak gedurende periode t [mm/min]

De Driving Rain Factor (DRF) wordt bepaald door de grootte van regendruppels tijdens de bui. Met onderstaande formule kan deze factor berekend worden.

$$DRF = \frac{1}{V_t(\emptyset)} = \frac{1}{-0,16603 + 4,91884 \cdot \emptyset - 0,888016 \cdot \emptyset^2 + 0,054888 \cdot \emptyset^3}$$

Met $V_t(\emptyset)$ = Eindsnelheid van de regendruppel [m/s]. Deze wordt berekend voor regendruppels met diameter $\emptyset$, die het meeste volume aan water vertegenwoordigen tijdens de bui.

$\emptyset$ = Sferische diameter van de regendruppel [mm]. Deze kan berekend worden uit de hoeveelheid neerslag.

$$\emptyset = 1,3 \cdot r_h \cdot \left(\frac{2,25 - 1}{2,25} \right)^{\frac{1}{2,25}}$$

2.4.3 Luchtdruk en slagregen in België

Met behulp van de formules uit voorgaande paragrafen, kan nu per raam de optredende luchtdruk en het slagregendebeet berekend worden. Deze berekeningen werden eerder reeds bestudeerd in de scriptie van Simon Duyck: “Experimenteel onderzoek naar de relatie tussen wind- en waterdichtheid van raamaansluitingen, op basis van metingen van het KMI”. Het KMI verschaftte voor dit onderzoek hun

waargenomen meetresultaten van neerslag en de windsnelheid op 10 meter hoogte, geregistreerd in het vrije veld, per 10 minuten, over een periode van 10 jaar. Met behulp van deze gegevens berekende dhr. S. Duyck de luchtdruk en slagregen op 30 m hoogte, bij een gebouw aan de kust. Deze resultaten van deze berekeningen kunnen teruggevonden worden in onderstaande tabel. (De waarden hebben dus een terugkeerperiode van 10 jaar.) (Adrian Verhoijssen, 2010)

Tabel 3: Luchtdruk en slagregen op een gebouw in België

Pareto-Zone	Duur	p [Pa]	WDR [l/min/m ²]
Zone A (lage druk – veel neerslag)	10 min	64	1,09
	1 min	74	3,49
	3 sec	88	3,49
Zone B (gemiddelde druk – gemiddelde neerslag)	10 min	199	0,97
	1 min	231	3,01
	3 sec	274	3,01
Zone C (hoge druk – weinig neerslag)	10 min	534	0,13
	1 min	622	0,36
	3 sec	737	0,36

De berekende waarden vertegenwoordigen een ‘worst case scenario’ voor ramen in België. Een gebouw aan de kust zal immers het zwaarst belast worden. De ramen uit de case van S. Duyck blijken minder toepasselijk op de ramen die in deze thesis aan bod komen. Hieronder wordt een simulatieberekening uitgevoerd die meer toepasselijk is voor ramen uit dit onderzoek. (Adrian Verhoijssen, 2010)

2.4.4 Voorbeeldberekening

Er wordt een simulatieberekening uitgevoerd voor een raam dat zich in een Gents pand op de tweede verdieping bevindt ($z = 10\text{m}$). De Gentse binnenstad kan gezien worden als een verstedelijkt gebied (klasse IV). De fundamentele windsnelheid op deze plaats bedraagt 26 m/s.

Met de gegevens uit Tabel 4 wordt de formule uit 2.4.1.1 ingevuld. De waarden uit Tabel 4 worden bekomen door de windberekeningstool Wind Interactive: WInt van Buildwise. Hiermee wordt een uiteindelijke winddruk van 457,43 Pa bekomen. Deze waarde wordt later vergeleken met de drukwaarden uit de geldende normering waaraan de testramen worden onderworpen. (Buildwise, 2022)

Er dient opgemerkt te worden dat de parameters voor deze berekening een worst-case-scenario voorstellen.

Tabel 4: Waarden berekening winddruk

Parameter	Waarde
C_{pe}	1 [-]
t	1 [s]
z	10 [m]
V_b	26 [m/s]
z_0	1 [m]
q_p	457,73 [Pa]

Een berekening van de slagregen wordt niet uitgevoerd aangezien dit zich buiten het bestek van deze masterproef bevindt.

2.5 Conclusie literatuurstudie

Na deze grondige literatuurstudie uitgevoerd te hebben, kan een concrete probleemstelling geformuleerd worden. Op basis van deze probleemstelling wordt de doelstelling van deze thesis gefinaliseerd.

2.5.1 Probleemstelling

Er worden heel wat normeringen en eisen opgelegd aan buitenschrijnwerk. De belangrijkste hiervan betreffen de normeringen op de lucht- en waterdichtheid van de ramen. Beide eisen zijn nauw verwant aan elkaar en de oplossingen liggen soms verweven ineen.

Een algemene probleemstelling ontstaat uit een samenraapsel van verschillende probleemaspecten, ze kan omschreven worden als volgt: “Het ontbreken van effectieve lucht- en waterdichtheid kan leiden tot diverse problemen, zoals thermisch energieverlies, vochtindringing, houtrot, schimmelvorming en een verslechtering van het binnenklimaat. Bovendien kunnen de historische materialen en constructies bij pogingen tot modernisering of restauratie beschadigd raken als er niet zorgvuldig wordt omgegaan met de originele technieken en esthetiek.”

De uitdaging bestaat erin een balans te vinden tussen enerzijds het behoud van de historisch waardevolle integriteit en anderzijds het verbeteren van de functionaliteit én de duurzaamheid van het schrijnwerk. Om zo’n uitdaging met succes te kunnen afronden, wordt een diepgaande kennis en kunde van zowel traditionele bouwmethoden als moderne conserveringstechnieken vereist.

Al snel wordt duidelijk dat kernwoorden zoals duurzaamheid, functionele integriteit en vakmanschap de steunpilaren vormen bij een correcte restauratie van historisch schrijnwerk. De manier waarmee nieuwe afdichtingsmaterialen geïntegreerd worden in oude constructies met behulp van oude en/of nieuwe technieken, dient nauwkeurig onderzocht te worden. Er dient gestreefd te worden naar een historisch oud uitziend raam met de eigenschappen van een hedendaags nieuw raam. Laatst genoemde zin betreft uiteraard een situatie in een ideale wereld.

2.5.2 Doelstelling

Naast de doelstellingen van het Heri-TACE project, beschreven in 1.2, kan de hoofddoelstelling van deze masterproef omschreven worden als volgt: “Het onderzoeken en vervolgens optimaliseren van de lucht- en waterdichtheid van historisch schrijnwerk om zo de energie-efficiëntie, duurzaamheid en het wooncomfort van historische gebouwen te verbeteren. Dit terwijl het behoud van hun culturele en esthetische waarde gewaarborgd blijft.

Deze hoofddoelstelling kan onderverdeeld worden in verschillende subdoelstellingen. Zo dienen de meest frequent voorkomende problemen geïdentificeerd te kunnen worden. Vervolgens kan een passende oplossing aangeboden worden.

Aan deze masterproef zijn er ook enkele persoonlijke doelstellingen verbonden voor de thesisstudenten. Eerst en vooral heeft de masterproef voor de student zelf als doel een bijdrage aan de kennis te leveren. De studenten zouden na het afwerken van de masterproef moeten beschikken over ruime onderzoek vaardigheden, een probleemoplossend vermogen, academische schrijfvaardigheden, zelfstandigheid en een kritisch denkbeeld. Anderzijds moeten de studenten karakter en doorzettingsvermogen kunnen tonen wanneer de uitwerking van de masterproef even niet gesmeerd loopt.

HOOFDSTUK 3: ONDERZOEKSMETHODOLOGIE

Het is van groot belang dat de juiste informatie gevonden wordt om een zo correct mogelijk onderzoek te voeren. Hieronder wordt de methode beschreven die wij als thesisstudenten gevolgd hebben om van dit masterproefthema een gestructureerd geheel te maken.

De aanpak van het onderzoek heeft één enkel doel. Dat doel richt zich op de benadering om de lucht- en waterdichtheid van historisch schrijnwerk te evalueren en te verbeteren. De aanpak omvat een combinatie van een verkennende literatuurstudie waarmee kennis over het thema verworven wordt, laboratorium- en in-situproeven, een grondige materiaal- en constructieanalyse en een conclusie op basis van de drie voorgenoemde stappen.

Hieronder worden de genoemde stappen kort beschreven.

Stap 1: Verkennende literatuurstudie

Een eerste inleidende stap van deze masterproef betreft een verkennende literatuurstudie. Omdat de studenten maar een beperkte kennis hebben over het toegewezen thesisonderwerp, dient informatie opgezocht en doorgenomen worden. Dergelijke literatuur kan teruggevonden worden in technische brochures en wetenschappelijke papers over het gekozen onderwerp. Enerzijds dient een inventarisatie van de traditionele schrijnwerktechnieken en materialen gemaakt te worden. Anderzijds, om op de hoogte te zijn van de huidige methoden, dient een studie over de moderne conserveringstechnieken en hun toepassing op historisch schrijnwerk uitgevoerd te worden.

Stap 2: Laboratorium- en in-situproeven

Wanneer een duidelijk en compleet beeld gevormd kan worden over het onderwerp, kunnen testen uitgevoerd worden. De resultaten van deze onderzoektesten zullen in een volgende stap in deze thesis dienen om verbeteringen op vlak van lucht- en waterdichtheid voor te schrijven. Gedurende deze testen worden de meest voorkomende problemen bekeken en bestudeerd. Het is dan ook het plan om zoveel mogelijk diverse testen te doen. Testen kunnen gebeuren in laboratoriumomstandigheden, maar eveneens kunnen testen in-situ plaatsvinden.

Stap 3: Materiaal- en constructieanalyse

In een eerste stap worden constructieplannen geanalyseerd en materiaalmonsters bekeken. Voor onduidelijkheden of vragen wordt contact opgenomen met constructiebedrijven of fabrikanten van de betreffende materialen. In samenspraak met de promotor worden verschillende materialen gekozen die kunnen dienst doen als dichting met een verbetering op vlak van lucht- en waterdichtheid in vergelijking met de vorige dichting. Opnieuw worden testen uitgevoerd met die mogelijke verbetering.

Stap 4: Conclusie

Uiteindelijk is het de bedoeling een conclusie te trekken uit de testresultaten. Alle onderzoeksresultaten worden grondig bestudeerd en geanalyseerd. Onduidelijkheden worden ter discussie gesteld. Zekerheden worden geconcludeerd en mogelijks geadviseerd aan het bedrijfsleven.

Door deze aanpak te volgen, voorziet het onderzoek zowel theoretische inzichten als praktische adviezen ten aanzien van de optimalisatie van de lucht- en waterdichtheid van historisch schrijnwerk, steeds met respect voor de historische en culturele erfgoedwaarde én de duurzaamheid van het buitenschrijnwerk.

HOOFDSTUK 4: LABOTESTEN

4.1 Testelement en -opstelling

4.1.1 Het testelement

Om deze masterproef te kunnen uitvoeren werd, zoals eerder vermeld, een samenwerking op poten gezet tussen het Gentse bouwbedrijf Denys nv en de Universiteit van Gent. Het bouwbedrijf levert de te testen elementen, de universiteit beschikt over degelijk testmateriaal zoals een testwand.

Doorheen de tijdspanne waarover deze thesis zich uitstrekte, passeerden drie testramen langs de testinstallatie. Doordat soms weinig informatie beschikbaar is over historisch schrijnwerk, is niet elk oud historisch raam even relevant om testen op uit te voeren. Hoe meer achtergrondinformatie over het testelement teruggevonden kan worden, hoe gunstiger voor het onderzoek.

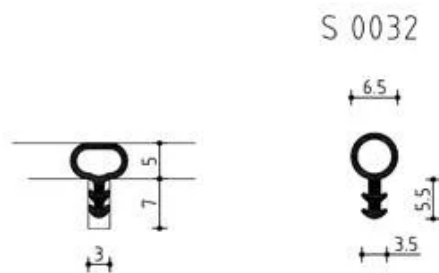
4.1.1.1 Testraam 1

Het eerste raam dat geleverd werd door Denys nv, betreft een raam van het voormalige museum Ridder Smidt van Gelder te Antwerpen. Het museum vond onderdak in een belle-époque-woning in de beaux-artsstijl. Het werd in 1905 ontworpen door de bekende architect Joseph Hertogs. Het museum huisveste de privécollectie van Pieter Smidt van Gelder. Het glas dat voor dit buitenschrijnwerk gebruikt werd, betreft stolker glas. Dit soort glas is warmte-reflecterend isolerend dubbelglas. Voor de restauratie van het buitenschrijnwerk van dit project, plaatste Denys nv als uitvoerder één dichting in het houten raam. In dit geval betreft de dichting het volgende type: S 0032. Deze tochtstrip wordt geproduceerd door fabrikant Deventer en heeft een diameter van 6.5mm. (Agentschap Onroerend Erfgoed, 2015)

Figuur 21 geeft een beeld weer van het raam. Figuur 22 geeft een beeld weer van de aanwezige dichting.



Figuur 21: Testraam 1



Figuur 22: Technische tekening S 0032-dichting

4.1.1.2 Testraam 2

Het tweede raam dat geleverd werd, betreft een raam van werf Rozier. Het raam komt van het Plateaugebouw te Gent. Dit gebouw werd in 1890 opgetrokken in neoclassicistische stijl. Het raam dat getest wordt, betreft een raam waar het glas niet meer aanwezig is. Het glas wordt vervangen door tijdelijke betonplex plaatmateriaal. In de kieren is geen dichting aanwezig. (Agentschap Onroerend Erfgoed, 2009a)



Figuur 23: Testraam 2

4.1.1.3 Testraam 3

Gedurende de laatste maanden van de thesisperiode startte Denys een project op, betreffende de restauratie van het stadhuis van Gent. Het stadhuis van Gent bestaat uit een vierzijdig complex. De bouw van het volledige stadhuis heeft een lange tijd geduurd, het oudste gedeelte dateert reeds van 1482. Het deel van het stadhuis waarvan een replica raam op het aanwezige buitenschrijnwerk gemaakt is voor dit project, betreft het deel gebouwd tijdens de laatste fase van de optrekking van het Gentse stadhuis. De ruimte vanwaar het raam vandaan komt was de voormalige armenkamer. Een onderdeel van deze restauratie betreft de vervanging van het buitenschrijnwerk. De ramen en deuren dienen in kaart gebracht te worden. De technische tekeningen van dit raam zijn te zien in de bijlage. In de nieuwe ramen is het de bedoeling om 18^{de} -eeuws glas te plaatsen. (Agentschap Onroerend Erfgoed, 2009b)

In samenspraak met de promotor, de thesisstudenten en de schrijnwerkdienst, werd een replica van die ramen geproduceerd. Op dit testraam kunnen de studenten naar believen testen uitvoeren in het testcentrum.

4.1.2 De testopstelling

Voor het uitvoeren van de testen die gebeuren in laboratoriumomstandigheden, wordt gebruik gemaakt van het testcentrum gevelementen van de Universiteit van Gent. Deze testinstallatie wordt aan de gebruikerszijde afgeschermd door een vlakke wand die voorzien is van een opening op persoonshoogte. De opening vormt de doorsteek naar de testinstallatie die zich achter de vlakke wand bevindt. De testwand kan zowel gebruikt worden voor luchtdichtheid- als waterdichtheidsproeven. Bijgevolg is de installatie enerzijds in staat om een variërend drukklimaat te realiseren om luchtdichtheidsproeven uit te voeren. Anderzijds kan de installatie ook een hoeveelheid water met een regelbaar debiet aanvoeren om de nodige waterdichtheidstesten te beproeven. Een combinatie van beide kan ook plaatsvinden. Een voldoende afgesloten testelement, in dit geval een raam, dat voor de opening in de testwand geplaatst wordt, kan dus onderworpen worden aan een variërende druk en met water besproeid worden. Laatst genoemde situatie simuleert de belasting van een regenbui bij windering weer.

Op onderstaande figuur is een afbeelding zichtbaar van de testmuur met een raam in.



Figuur 24: Testraam 3

4.1.2.1 De bediening

De opening in de testwand is in close-up zichtbaar op Figuur 25. Hierbij is de opening linksboven de opening waar de lucht uitkomt. De twee openingen daaronder zijn voorzien om water te laten sproeien. Op deze figuur is de sproeier aangesloten op de onderste opening. De grote cirkel in het midden is de stormklep, hiermee kan er een storm nagebootst worden.



Figuur 25: Opening in testwand

Naast de testwand is er ook een bedieningspaneel nodig om de testinstallatie aan te sturen. Het linkse gedeelte dient om de testwand te activeren. Er zijn namelijk twee testwanden die zich naast elkaar bevinden. Hier wordt gekozen of de eerste of tweede testwand wordt gebruikt tijdens de test. Het middelste gedeelte van het bedieningspaneel wordt gebruikt om de waterdichtheidstesten uit te voeren, de pomp wordt hier opgestart. Het rechter gedeelte van het bedieningspaneel is nuttig om de luchtdichtheidstesten uit te voeren. Via de startknop kan de toevoer van lucht starten, met behulp van een aparte draaiknop kan het debiet bepaald worden. Verder kan er ook bepaald worden of de testwand over- of onderdruk wil creëren. Als het diafragma niet gepast blijkt om het gevraagde debiet te realiseren, kan met de draaiknop overgeschakeld worden naar een ander diafragma.



Figuur 26: Bedieningspaneel

De meettoestellen die zich in de gehele testinstallatie bevinden, voldoen aan de voorwaarden die beschreven staan in de normen die reeds vermeld werden in dit verslag. Ze dienen op geregelde

tijdstippen gekalibreerd te worden. Op onderstaande figuur zijn de meettoestellen zichtbaar. Op het linkse scherm is het luchtdebiet (Pa) zichtbaar die over het diafragma staat. Op het rechtse scherm wordt het drukverschil weergegeven tussen de lucht binnen het testraam en de lucht daarbuiten.



Figuur 27: Resultatschermen meettoestellen

4.1.2.2 Luchttoevoersysteem

Om het buitenschrijnwerk ten volle te kunnen testen, wordt het onderworpen aan verschillende drukklimateen. Deze variërende drukklimateen worden gerealiseerd door een externe ventilator die aangesloten is op de testwand. De draairichting van de ventilator bepaalt of de belasting op het raam een onder- of bovendruk betreft. Het luchtdebiet dat nodig is om het testraam onder een bepaalde onder- of bovendruk te plaatsen wordt gemeten. Dit luchtdebiet is een maat voor het lekdebiet dat doorheen de kieren en spleten door het raamwerk gaat. Onderstaande formule stelt de berekening van het lekdebiet voor. Een goede kennis en een juiste interpretatie van de formule en de meetgegevens zijn noodzakelijk om het begrip luchtdichtheid onder de knie te hebben. (Bouwfysica & Ruud Van Herpen, 2007)

$$V = C \cdot \Delta p^n$$

Met: V = Het lekdebiet [m^3/s]

C = De stromingscoëfficiënt [$\text{Pa}^{-n}\text{m}^3/\text{s}$] (verder meer uitleg)

Δp = Het luchtdebiet dat nodig is om een drukverschil tot stand te brengen [Pa^n]

n = De stromingsexponent [-] (verder meer uitleg)

De stromingsexponent heeft betrekking tot het stromingsregime van het beschouwde medium. Bij een volledig turbulente stroming geldt $n = 0,5$. Bij een volledig laminaire stroming geldt $n = 1$. In een laminaire stroming zijn de stroomlijnen evenwijdig aan elkaar en glijden als het ware langs elkaar heen. Door de viscositeit van het stromingsmedium (in dit geval lucht) blijft de laminaire stroming in stand. Vandaar dat laminaire stroming ook wel viskeuze stroming genoemd wordt. In een turbulente stroming

laten de stroomlijnen elkaar los. Dit levert een veel onrustiger beeld op. De viscositeit van het stromingsmedium speelt nu geen rol meer. (Bouwfysica & Ruud Van Herpen, 2007)

Deze stromingsexponent wordt dus bepaald door de aard van de stroming, nl. laminair of turbulent. Het Reynoldsgetal is hiervoor bepalend:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\eta} [-]$$

Met: v = Luchtsnelheid in de opening [m/s]

ρ = Dichtheid van de lucht in de opening [kg/m³]

D = Hydraulische diameter [m]

η = Dynamische viscositeit van de lucht in de opening [Pas]

De volgende factoren beïnvloeden het stromingsregime en zo ook het luchtdebiet:

- Hoe meer turbulent de luchtstroming is (hoe lager de n -waarde), hoe lager het luchtdebiet.
- Hoe groter het drukverschil over de opening of spleet, hoe groter het debiet.
- De waarde van de debietcoëfficiënt wordt bepaald door de mate van ruwheid van de opening (afgrond, gehoekt,...). Hoe groter de netto-oppervlakte is, hoe groter het luchtdebiet. De waarde voor C is steeds het product van de netto-oppervlakte en de contractie-coëfficiënt en vormt de aero-oppervlakte.
- Het stromingsregime doorheen de buizenstelsels wordt als turbulent beschouwd. Hierdoor bedraagt de stromingsexponent steeds 0,5.

De stromingscoëfficiënt of de volumestroomcapaciteit van de opening wordt bepaald door de netto doorlaat en de weerstand die door de randen van de netto doorlaat wordt geïntroduceerd. Deze weerstand wordt de contractiecoëfficiënt of de Bernouilli-coëfficiënt genoemd. Deze is het grootst bij scherpe randen. In een formulevorm geldt voor de stromingscoëfficiënt, bij een stromingsexponent van $n = 0,5$ (volledig turbulente stroming):

$$C = C_d \cdot A \cdot \left(\frac{2}{\rho}\right)^n [Pa^{-n}m^3/s]$$

Met: A = Netto doorlaatoppervlakte van de opening [m²]

C_d = Contractie- of Bernouilli-coëfficiënt van de opening [-]

ρ = Dichtheid van de lucht in de opening [kg/m³]

De berekeningen van zowel de stromingsexponent als -coëfficiënt vallen buiten het bestek van deze masterproef. Het wordt toegevoegd voor de volledigheid en om een beter beeld te verwerven over het geheel. (Bouwfysica & Ruud Van Herpen, 2007)

De testopstelling in het testcentrum van de Universiteit is voorzien van vier verschillende diafragma's. Elke opening heeft een verschillende stromingscoëfficiënt. Hieronder worden deze verschillende stromingscoëfficiënten weergegeven. De kleinste twee diafragma's van de testinstallatie worden niet gebruikt aangezien het onmogelijk is om de luchtdrukdebieten die nodig zijn voor de gewenste drukverschillen te bekomen. De grootste twee diafragma's (6 en 14) worden wel gebruikt. Hieronder worden de respectievelijke stromingscoëfficiënten van diafragma 6 en 14 weergegeven. (Bouwfysica & Ruud Van Herpen, 2007)

$$C_6 = 1,962$$

$$C_{14} = 12,533$$

In het geval een drukverschil over een testraam gerealiseerd wordt, geeft de testinstallatie het luchtdebiet [Pa] weer dat nodig is om dat luchtdrukverschil te realiseren. De testmethode laat dus toe om een debiet te bepalen doorheen een opening (diafragma) met gekende karakteristieken, uit een gerealiseerd drukverschil over deze opening. Volgens het beginsel van behoud van massa, mag het debiet doorheen het gekende diafragma gelijkgesteld worden aan de gesommeerde luchtlekdebieten doorheen alle openingen die zich in het testraam bevinden. (Bouwfysica & Ruud Van Herpen, 2007)

Om ramen en hun luchtdichtheid met elkaar te vergelijken, wordt het bekomen luchtlekdebiet veelal gedeeld door de oppervlakte van het gehele raam. Op die manier wordt een meer vergelijkbare eenheid bekomen, nl. m³/m²h. (Bouwfysica & Ruud Van Herpen, 2007)

4.1.2.3 Watertoevoersysteem

De testinstallatie is voorzien van een buizenstel waardoor water stroomt dat aangesloten is aan een waterpomp. Deze waterpomp kan water, met een variërend debiet, op het testraam sproeien. De sproeiers zijn opgenomen in de omkasting uit betonplex van het testraam.

HOOFDSTUK 5: ONDERZOEKSRESULTATEN

Om bruikbare onderzoeksresultaten te bekomen, worden zowel labotesten als in-situ testen uitgevoerd. Het aannemerijbedrijf waar deze masterproef mee in directe samenwerking staat, levert te testen buitenschrijnwerk. Het is dan ook logisch dat niet elke dag getest kan worden op testramen in het labo. In het geval dat de aannemer niet direct een raam ter beschikking had waar testen konden op uitgevoerd worden, werd door de studenten overgeschakeld naar in-situ testen. Deze in-situ testen worden uitgevoerd op historisch buitenschrijnwerk in privé woningen in de buurt van Gent. De resultaten van de testen die ter plaatse uitgevoerd werden, worden later in dit verslag besproken. Het is logisch dat resultaten bekomen uit een laboratoriumproef nauwkeuriger zullen zijn dan resultaten van in-situ metingen. De resultaten van de in-situ testen kunnen gebruikt worden om de resultaten verkregen uit de labo-testen te begrijpen en eraan te vergelijken.

Firma Denys nv levert een testraam met alle gevraagde aanpassingen door de studenten in samenspraak met de promotor. Dit testraam betreft een mock-up voor de renovatie van het stadhuis van Gent. Op dit voorbeeld kon er naar believen getest worden. Verschillende dichtingen worden uitgetest, afwateringskanalen worden wel of niet open gelaten, een bijkomende glaslat wordt geplaatst, etc. De uiteindelijke conclusies voor deze thesis betreffende de lucht- en waterdichtheid van historisch schrijnwerk komen vooral vanuit de testen op dit raam. Hieronder worden de resultaten van alle testen uitvoerig besproken en geanalyseerd.

De waarde die van groot belang is bij luchtdichtheidsmetingen van ramen betreft het luchtlekdebië per vierkante meter [m^3/hm^2] bij 50 Pa drukverschil. Deze waarde kan bij een blowerdoortest afgeleid worden uit de af te lezen n-50 waarde. Bij de laboratoriumtesten kan deze waarde rechtstreeks afgelezen worden vanop het resultatenscherf.

Waterdichtheidsmetingen leveren, zoals eerder vermeld, geen numeriek resultaat. Het drukverschil dat zich voordoet op het moment dat noemenswaardige waterlekken zich voordoen, kan gezien worden als een toonaangevende waarde. Op basis van deze waarde wordt een waterdichtheidsklasse aan het raamwerk toegekend. Het spreekt voor zich dat de waterdichtheidstesten enkel onder laboratoriumomstandigheden plaatsvonden en niet in-situ.

5.1 Gegevensverwerking luchtdichtheid

5.1.1 Onderzoeksresultaten in-situ metingen

De in-situ metingen worden uitgevoerd aan de hand van blowerdoortesten. In totaal worden vijf verschillende ramen getest met behulp van deze apparatuur. Deze ramen betreffen allemaal historisch houten buitenschrijnwerk. Zoals eerder vermeld gebeuren per kamer, en dus per raam, twee testen. Meer info over de effectieve testmethode wordt beschreven in 2.2.6.2. Dankzij het programma Tectite, die in een constante verbinding staat met het meetinstrument, kan na afloop van de test een pdf-document gedownload worden met heel wat belangrijke waarden. Relevant voor dit onderzoek blijkt de n-50 waarde. Uiteindelijk moet het mogelijk zijn om de waarden van alle geteste ramen, zowel in-situ als in labo-omstandigheden, te vergelijken door middel van een toegekende klasse. Een bepaalde klasse wordt toegekend op basis van het luchtlekdebiet per vierkante meter. De verkregen n-50 waarde wordt als volgt omgezet naar de V-50 waarde per vierkante meter. Later wordt elke stap verduidelijkt.

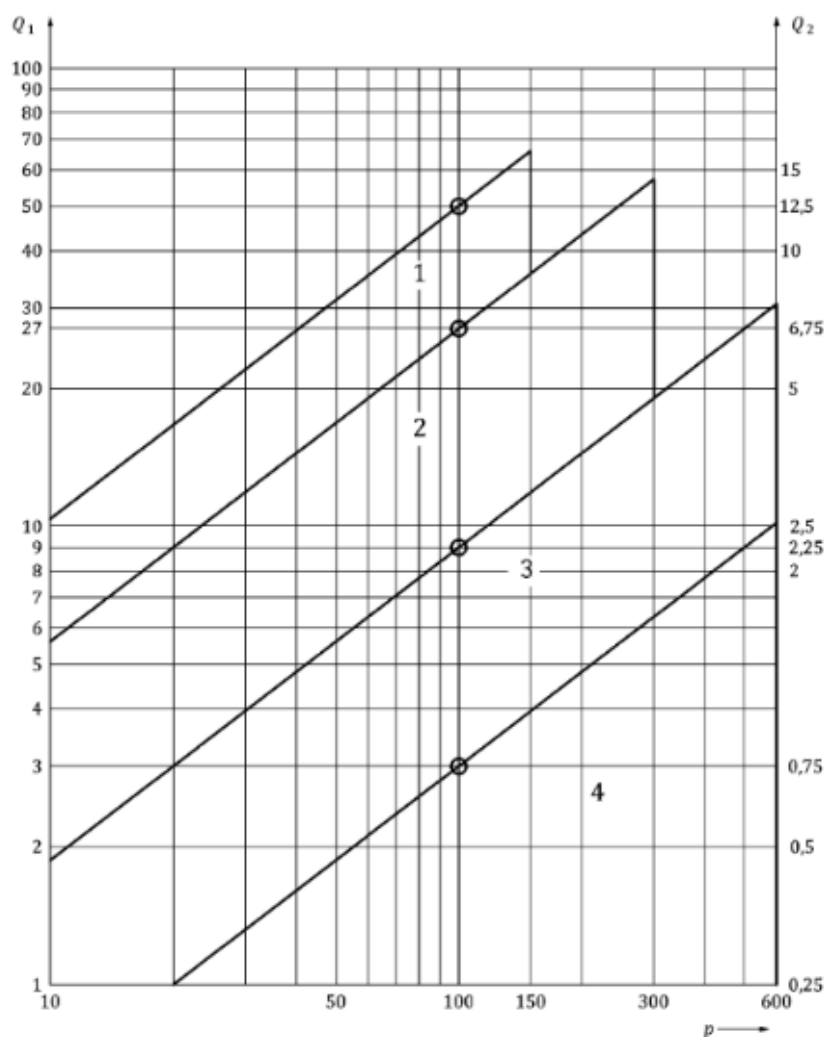
$$V_{50} = n_{50} \cdot V \text{ [m}^3/\text{h]}$$

$$\text{Luchtlekdebiet per vierkante meter} = \frac{V_{50}}{A_{\text{raam}}} \text{ [m}^3/\text{hm}^2\text{]}$$

Om te beginnen wordt het volume van de kamers bepaald. De lengte, breedte en hoogte van de kamer wordt opgemeten. Zodra deze waarden opgemeten zijn, worden ze vermenigvuldigd met elkaar en is het volume vanzelfsprekend bekend.

Vervolgens moet de n-50 waarde van de volledige kamer bepaald worden. Dankzij de resultaten die worden afgelezen op de resultatenpagina van Tectite, zijn de n-50 waarden gekend van de kamers. De n-50 waarde wordt gezocht voor beide testen per raam. Het verschil tussen beide n-50 waarden wordt berekend en kan beschouwd worden als de n-50 waarde van het geteste raam op zich.

Daarna wordt de n-50 waarde vermenigvuldigd met het volume. Op die manier is het luchtlekdebiet (m^3/h) bekend. Om het luchtlekdebiet per m^2 te berekenen, moet het oppervlak per raam bepaald worden. Eens deze waarde gekend is kan het luchtlekdebiet gedeeld worden door de oppervlakte van het raam. Deze waarde [m^3/hm^2] is bepalend voor de toewijzing van een luchtdichtheidsklasse. Met behulp van Grafiek 2, kan aan elk raam op basis van het luchtlekdebiet per vierkante meter een klasse toegewezen worden.



Grafiek 2: Indeling luchtdichtheidsklassen (Belgisch Instituut voor Normalisatie, 2017)

In Tabel 5 worden de klassen van de verschillende geteste ramen weergegeven. Ondanks het feit dat slechts vijf ramen in-situ getest werden, behoren de ramen toch tot drie verschillende categorieën. Geen enkel getest raam behoort tot de slechtst presterende klasse (klasse 1).

Tabel 5: Resultaten in-situ luchtdichtheidsmetingen

	n50-waarde zonder raamafdekking	n50-waarde met raamafdekking	n50- Waarde raam	Volume	V_{50}	Opp. raam	V_{50}/A	Klasse
	$[h^{-1}]$	$[h^{-1}]$	$[h^{-1}]$	m^3	$[m^3/h]$	m^2	$[m^3/hm^2]$	$[-]$
R1	16,03	15,95	0,08	40,32	3,23	2,37	1,36	4
R2	70,23	69,63	0,60	17,02	10,21	3,08	3,32	3
R3	13,69	13,53	0,16	60,48	9,68	3,09	3,13	3
R4	11,92	11,54	0,38	20,98	7,97	1,02	7,82	2
R5	10,59	10,24	0,35	41,30	14,46	1,89	7,65	2

5.1.2 Onderzoeksresultaten laboratoriumtesten

5.1.2.1 Testraam 1

Meer informatie over testraam 1 wordt beschreven in 4.1.1.1. Denys nv levert het raam met een aanwezige dichting, hierdoor kunnen twee testen uitgevoerd worden. Namelijk een test met de aanwezige dichting en een test zonder de aanwezige dichting. De resultaten van de twee uitgevoerde testen worden weergegeven in onderstaande tabel. Er kan besloten worden dat het raam in aanwezigheid van een dichting tot klasse 3 behoort. Wanneer de dichting weggehaald wordt, daalt de mate van luchtdichtheid en zo ook de luchtdichtheidsklasse naar klasse 2.

Tabel 6: Luchtdoorlatendheid testraam 1

Testraam 1: (museum Ridder Smidt van Gelder)		
Drukverschil	Luchtlekdebiet met dichting	Luchtlekdebiet zonder dichting
[Pa]	[m ³ /hm ²]	[m ³ /hm ²]
50	3,92	16,01
100	6,05	24,47
150	7,91	30,68
200	9,56	37,38
250	11,08	42,45
300	12,48	47,34
450	17,09	60,79
600	20,68	72,79

5.1.2.2 Testraam 2

Over testraam 2 kan eveneens meer informatie terug gevonden worden in 4.1.1.2. Het raam wordt geleverd zonder dichting. Hierdoor kan slechts één enkele luchtdichtheidstest uitgevoerd worden. Onderstaande tabel geeft de luchtlekdebieten per drukverschil weer. Dit raamwerk kan op basis van de bekomen luchtlekdebieten toegewezen worden aan de minst goed presterende klasse, zijnde klasse 1.

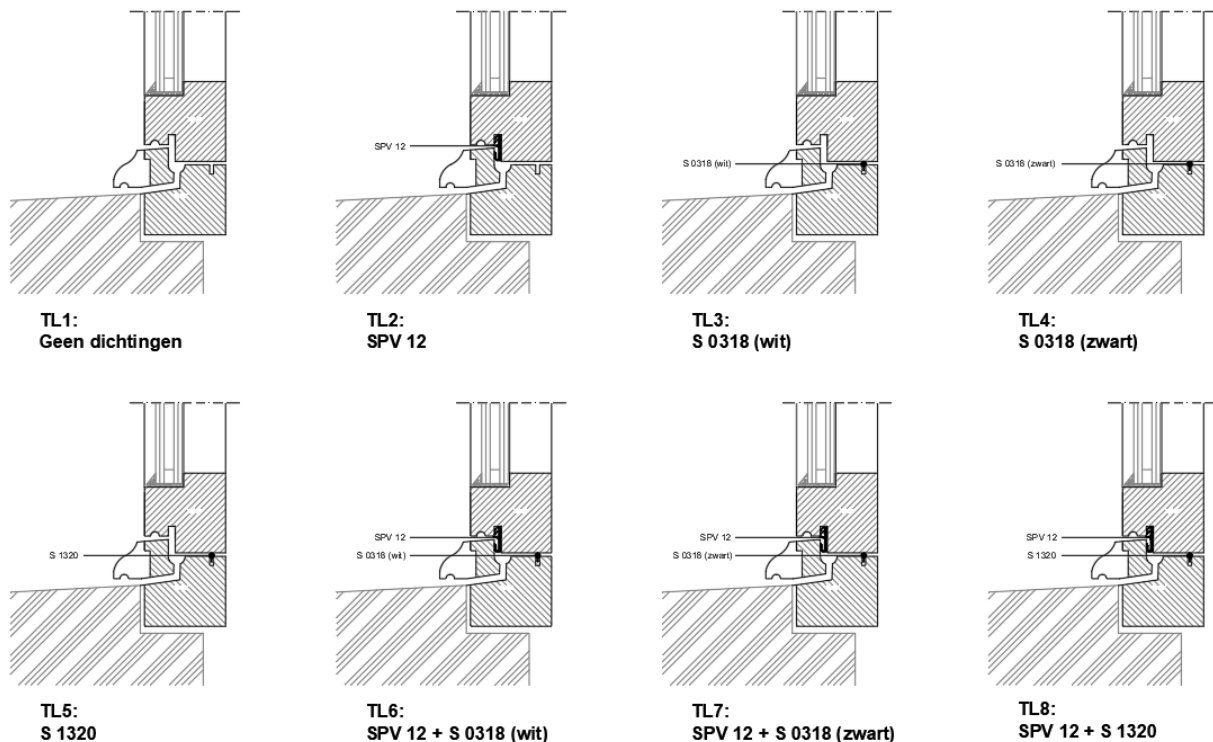
Tabel 7: Resultaten luchtdichtheidstesten testraam 2

Testraam 2: (Rozier Ugent)	
Drukverschil	Luchtlekdebiet
[Pa]	[m ³ /hm ²]
50	23,03
100	34,61
150	44,23
200	52,54
250	59,94
300	66,95
450	86,17

600	93,2
-----	------

5.1.2.3 Testraam 3

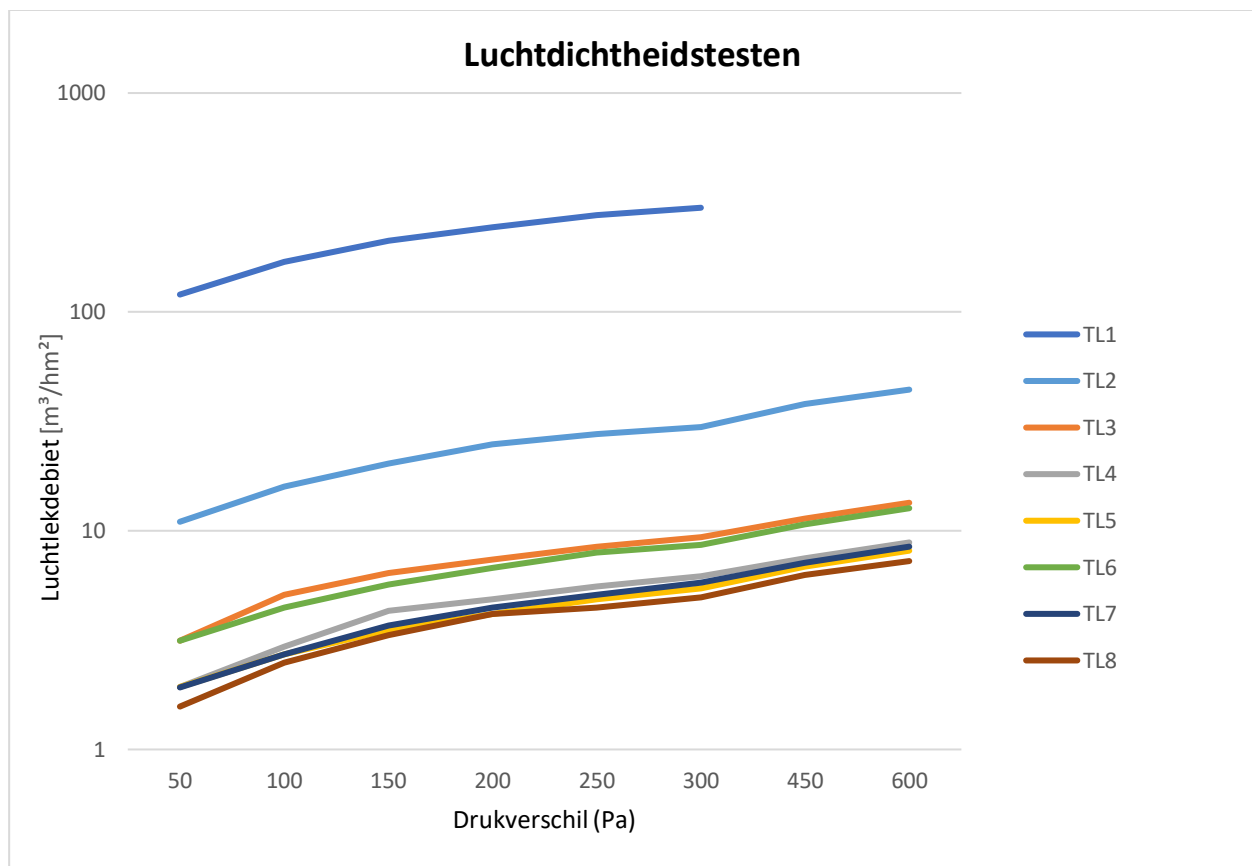
Testraam 1 en 2 betreffen ramen die, na de lucht- en waterdichtheidstest, gerestaureerd worden en teruggeplaatst worden vanwaar ze komen. De mogelijkheid om constructieve aanpassingen uit te voeren bestaat dus niet. Daarom ontwierp Denys nv een replica raam van een van hun lopende restauratieprojecten in Gent. Op dit replicaraam konden de studenten verschillende testen uitvoeren. Vier verschillende dichtingen worden getest. Eén binnendichting (SPV 12) en drie buitendichtingen (S 0318 witte variant, S 0318 zwarte variant en S 1320). Binnen- en buitendichtingen kunnen gecombineerd worden om mogelijks een beter luchtdicht geheel te vormen. In totaal worden acht verschillende combinaties getest.



Figuur 28: Overzicht testcombinaties luchtdichtheidstesten

Bovenstaande figuur geeft een duidelijk visueel overzicht van de verschillende combinaties van dichtingen. De testen worden genummerd als volgt: TL1 – TL8. De T duidt op ‘test’. De letter ‘L’ duidt op het feit dat de test een luchtdichtheidsmeting betreft, dit wordt zo gedaan om een duidelijk geheel te vormen met het oog op de waterdichtheidstesten. Het cijfer van 1 tot 8 duidt op de verschillende configuraties.

Volgens de normering dienen de luchtlekdebieten bij acht verschillende drukverschillen gemeten te worden. Op Grafiek 3 worden de verschillende resultaten van het luchtlekdebieten weergegeven die per testcombinatie bereikt worden bij een drukverschil van 50, 100, 150, 200, 250, 300, 450 en 600 Pa.



Grafiek 3: Resultaten luchtdichtheidstesten: luchtlekdebiet i.f.v. drukverschil

Wanneer naar de bekomen resultaten uit bovenstaande grafiek gekeken wordt, kan gesteld worden dat de logica gerespecteerd wordt. Hoe meer dichtingen geplaatst worden, en hoe beter die dichtingen presteren, hoe kleiner het luchtlekdebiet. De grafiek geeft een duidelijke tendens weer, nl. hoe groter het aangelegd drukverschil, hoe groter het luchtlekdebiet. Dit geldt voor elke configuratie. Aangezien ongeveer een lineair verband bekomen wordt tussen het luchtlekdebiet en het aangelegde drukverschil voor elke configuratie, kan gefocust worden op het luchtlekdebiet bij 50 Pa. Deze waarden kunnen later vergeleken worden met de waarden bekomen uit de in-situ luchtdichtheidstesten met de blowerdoortest.

Onderstaande tabel geeft het luchtlekdebiet weer bij een drukverschil van 50 Pa voor elke configuratie van dichtingen.

Tabel 8: Overzicht luchtlekdebieten bij 50 Pa drukverschil per testcombinatie

Testcombinatie	Luchtlekdebiet bij 50 Pa drukverschil
[-]	[m ³ /hm ²]
TL1	119,96
TL2	10,98
TL3	3,14
TL4	1,93
TL5	1,57
TL6	3,14
TL7	1,92
TL8	1,57

Metingen worden uitgevoerd op verschillende combinaties van dichtingen om zo tot de meest optimale configuratie te komen. Er dient opgemerkt te worden dat ongetwijfeld nog betere configuraties mogelijk zijn. De resultaten die hier beschreven worden, betreffen uiteraard enkel resultaten bekomen met het testmateriaal (verschillende dichtingen) dat voorhanden was. Verder onderzoek blijkt nodig om een nog optimalere werking te bekomen.

Tijdens TL1 wordt een raam zonder dichting getest, deze test scoort duidelijk het minst goed. Een drukverschil van 600 Pa werd met de testwand zelf niet behaald. Het spreekt dan ook voor zich dat zo'n raam de laagste luchtdichtheidsklasse haalt, nl. klasse 1. De op één na slechtste testen (TL2) betreffen degene met een enkele dichting aan de binnenzijde. Wel kan gesteld worden dat een raam met één dichting veel beter scoort dan een raam zonder dichtingen. Een raam met een enkele SPV 12 dichting behaalt een luchtdichtheidsklasse 2.

Vervolgens worden drie verschillende enkele buitendichtingen getest (TL3, TL4 en TL5). De gebruikte dichtingen betreffen een witte en een zwarte variant van S 0318 en de S 1320 dichting. Tenslotte worden diezelfde dichtingen nogmaals getest, maar dan gecombineerd met de SPV 12 dichting aan de binnenzijde (TL6, TL7 en TL8).

Het is duidelijk dat de buitendichting S 1320 de beste prestaties kan voorleggen, deze dichting meet een iets grotere diameter dan de S 0318-dichtingen. Dit is de reden voor de betere prestaties. De witte en zwarte variant van de S 0318-dichting verschillen onderling ook sterk van elkaar. De zwarte variant, vervaardigd uit een dikker en stijver plastisch elastomeer, scoort meer dan anderhalve keer beter dan zijn witte tegenhanger. De combinaties met de S 1320-dichting en de zwarte variant van de S 0318-dichting behalen een luchtdichtheidsklasse 4, de witte variant van de S 0318-dichting behaalt een luchtdichtheidsklasse 3.

Wanneer testen TL3, TL4 en TL5 vergeleken worden met testen TL6, TL7 en TL8 kan geconcludeerd worden dat de buitenste dichting een veel grotere impact heeft op de algemene luchtdichtheid van een raam dan de binnenste dichting. Doch heeft de aanwezigheid van de binnenste SPV-12 dichting degelijk een nut. Dat nut wordt verderop in dit verslag beschreven wanneer het over waterdichtheid gaat.

5.2 Gegevensverwerking waterdichtheid

5.2.1 Testraam 1

Alle ramen die getest worden op luchtdichtheid, worden eveneens onderworpen aan waterdichtheidstesten. Zoals eerder vermeld in de norm, wordt de algemene regel van een debiet van 2l/min/m^2 toegepast. Het eerste raam dat getest wordt, betreft testraam 1. Meer info over testraam 1 staat te lezen in 4.1.1.1. De totale oppervlakte van dit raam bedraagt ongeveer 5m^2 en wordt bijgevolg besproeid met een waterdebiet van 10l/min . Nadat het raam 15 minuten besproeid wordt met water bij een drukverschil van 0 Pa , zijn geen benoemingswaardige waterlekken op te merken. Vervolgens wordt een drukverschil van 50 Pa aangelegd. Kort na het ontstaan van het drukverschil, begint het water langs de onderregel naar binnen te stromen. Vanaf dat moment wordt de test afgebroken. Met behulp van de classificatietabel uit de norm kan besloten worden dat testraam 1 behoort tot klasse 1A.

De classificatietabel wordt weergegeven in tabel Tabel 9. Deze tabel zal ook nog van toepassing zijn voor de indeling van de andere testramen.

Tabel 9: Classificatie waterdichtheid buitenschrijnwerk (Belgisch Instituut voor Normalisatie, 2000)

Test pressure	Classification		Specifications
$P_{\max}$ in Pa ^{a)}	Test method A	Test method B	
-	0	0	No requirement
0	1A	1B	Water spray for 15 min
50	2A	2B	As class 1 + 5 min
100	3A	3B	As class 2 + 5 min
150	4A	4B	As class 3 + 5 min
200	5A	5B	As class 4 + 5 min
250	6A	6B	As class 5 + 5 min
300	7A	7B	As class 6 + 5 min
450	8A	-	As class 7 + 5 min
600	9A	-	As class 8 + 5 min
> 600	Exxx	-	Above 600 Pa in steps of 150 Pa, the duration at each step shall be 5 min
NOTE : Method A is appropriate for product which are fully exposed			
Method B is appropriate for product which are partially shielded			
^{a)} After 15 min at zero pressure and 5 min at subsequent steps.			

5.2.2 Testraam 2

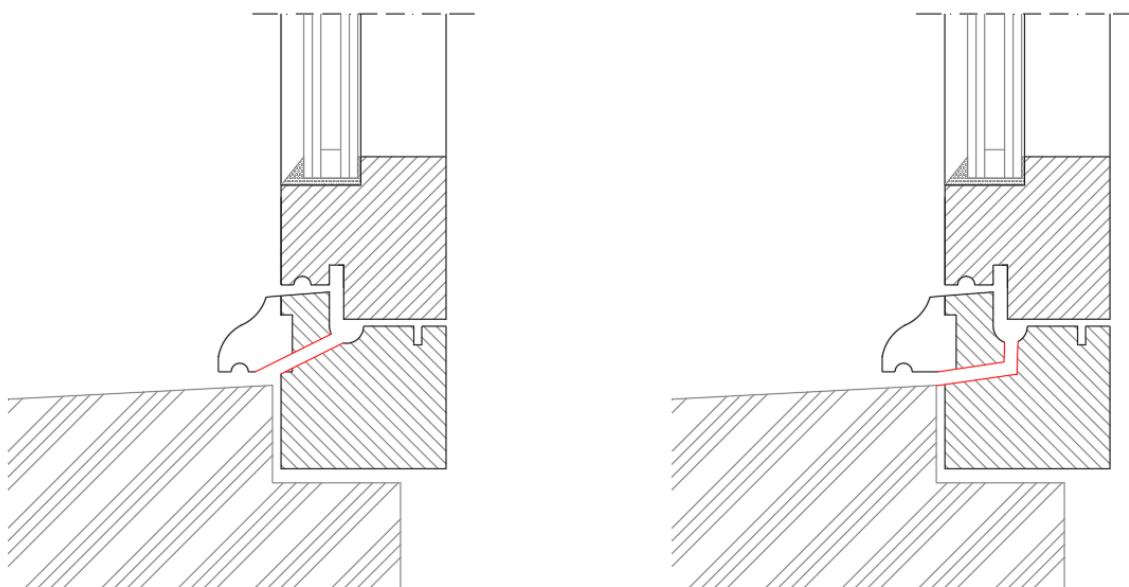
Het tweede testraam scoorde beduidend slechter op de waterdichtheidstesten. In dit geval ontstonden reeds verschillende waterlekken nog voor een drukverschil aangelegd werd. Er kan besloten worden dat dit raam absoluut niet waterdicht is. Daardoor behoort het tot waterdichtheidsklasse 0.

Vooraleer over te gaan naar de resultatenbespreking van de waterdichtheidstesten uitgevoerd op testraam 3, kan een besluit geconcludeerd worden. Testraam 1 beschikt over een dichting (S 0032 – Deventer). In de kieren tussen de raamvleugels en het raamkader bevindt zich bij testraam 2 geen dichting. Er kan gesteld worden dat de dichting een duidelijk verschil maakt op basis van waterdichtheidstesten. Deze voor de hand liggende conclusie wordt meegenomen naar de uitvoering en keuze van testen op testraam 3.

5.2.3 Testraam 3

Gedurende de testen op het replicaraam van het stadhuis van Gent worden, zoals reeds eerder vermeld, naast de verschillende dichtingen nog enkele aanpassingen aan het raam aangebracht en getest. Zo kan een bijkomende extra glaslat voorzien worden. In de onderregel worden twaalf ontwateringskanalen aangebracht. Met behulp van een afkitmiddel kan eenvoudig gevarieerd worden in het aantal

ontwateringsgaten. De ontwateringsgaten kunnen ingedeeld worden in twee types. Enerzijds het type A, dit ontwateringskanaal gaat diagonaal door de onderregel van het raam. Anderzijds het type B, het water vloeit door dit ontwateringskanaal eerst ongeveer verticaal naar beneden om vervolgens onder lichte helling horizontaal af te lopen naar de buitenomgeving. Zowel een ontwateringskanaal van type A als van type B worden op onderstaande figuur getoond.



Figuur 29: Ontwateringskanalen: Links - type A, Rechts - type B

Door dit grote aantal verschillende parameters (verschillende dichtingen, aantal ontwateringskanalen, aanwezigheid glaslat, etc.) kunnen heel wat testen uitgevoerd worden. Niet alle testen zijn even relevant voor het onderzoek. De methode van testen die hier gevolgd is, gaat als volgt. Er dient steeds op zoek te gaan worden naar een verbetering van de prestaties ten opzichte van de prestaties onder de condities van de vorige test. Door logische redeneringen kunnen daardoor al heel wat testen uitgesloten worden. Om het overzichtelijk te houden worden de combinaties van open of afgesloten afwateringskanalen benoemd. Hieronder wordt een overzicht van de benaming van de combinaties weergegeven.

Tabel 10: Naamgeving combinaties afwateringskanalen

Naam	Combinatie
Combinatie 1	Afwateringskanaal type A open, type B open
Combinatie 2	Afwateringskanaal type A open, type B gesloten
Combinatie 3	Afwateringskanaal type A gesloten, type B open
Combinatie 4	Afwateringskanaal type A gesloten, type B gesloten

Aangezien vier opties beschikbaar zijn voor de dichting aan de buitenzijde, wordt één van de dichtingen gekozen waarmee de waterdichtheidstesten uitgevoerd worden. De buitendichting die voor deze testen gebruikt wordt, betreft de zwarte variant van de S 0318-dichting.

Tabel 11 geeft aan welke testcombinaties uitgevoerd zijn. In grote lijnen stijgt de prestatie op vlak van waterdichtheid bij toenemende testen. De naamgeving van de testcombinaties volgt dezelfde redenering als de naamgeving van de testcombinaties bij de luchtdichtheid. Met het enige verschil dat de letter ‘W’ hier doelt op de waterdichtheid.

Tabel 11: Overzicht combinaties waterdichtheidstesten

	Binnendichting SPV 12	Buitendichting g S 0318 (zwarte)	Afvoer type A afgekit	Afvoer type B afgekit	Extra glaslat
TW1			X	X	
TW2			X		
TW3				X	
TW4			X		
TW5					X
TW6	X			X	X
TW7	X				X
TW8	X	X			
TW9	X	X	X		X
TW10	X	X			X

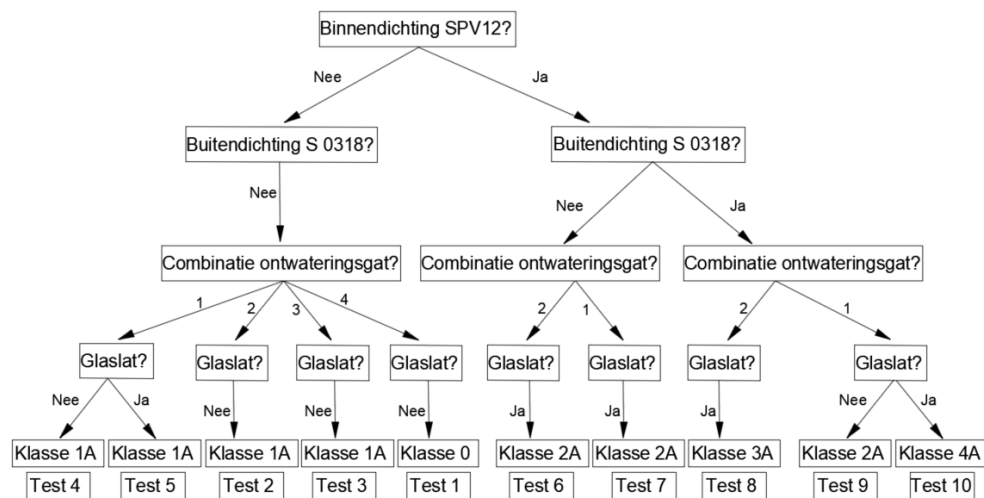
Per test wordt in onderstaande tabel beschreven na hoeveel tijd waterlekken waargenomen worden en bij welk drukverschil die waterlekken worden waargenomen. Op basis hiervan wordt aan elke test een waterdichtheidsklasse toegekend. De onderverdeling van klassen zijn terug te vinden in Tabel 9.

Tabel 12: Waarnemingen en toegewezen waterdichtheidsklassen per testcombinatie

Testcombinatie	Opmerking	Waterdichtheidsklasse volgens EN 12207
TW1	Na 30 seconden worden waterlekken waargenomen bij een drukverschil van 0 Pa.	0
TW2	Na 30 seconden worden waterlekken waargenomen bij een drukverschil van 50 Pa.	1A
TW3	Na 30 seconden worden waterlekken waargenomen bij een drukverschil van 50 Pa.	1A
TW4	Na 1 minuut worden waterlekken waargenomen bij een drukverschil van 50 Pa.	1A
TW5	Na 3 minuten worden waterlekken waargenomen bij een drukverschil van 50 Pa.	1A
TW6	Na 5 minuten worden waterlekken waargenomen bij een drukverschil van 50 Pa.	1A

TW7	Na 30 seconden worden waterlekken waargenomen bij een drukverschil van 100 Pa.	2A
TW8	Na 30 seconden worden waterlekken waargenomen bij een drukverschil van 100 Pa.	2A
TW9	Na 5 minuten worden waterlekken waargenomen bij een drukverschil van 150 Pa.	3A
TW10	Na 10 seconden worden waterlekken waargenomen bij een drukverschil van 200 Pa.	4A

Onderstaande figuur geeft een boomstructuur weer die gevolgd kan worden om de waterdichtheidsklasse per test te bekomen. In feite wordt hier niets nieuws weergegeven, toch geeft het een visuele meerwaarde aan dit verslag.



Figuur 30: Overzicht testcombinaties waterdichtheid - boomstructuur

Na het uitvoeren van deze reeks testen, kan gesteld worden dat de uitkomsten zeer uiteenlopend zijn. Enerzijds worden ramen getest die degelijk tot heel goed scoren op de onderworpen waterdichtheidstest, anderzijds kunnen andere geteste ramen gezien worden als een lekkend geheel. Wanneer alle resultaten naast elkaar geplaatst worden, kunnen enkele besluiten getrokken worden.

Een eerste vaststelling die gemaakt kan worden, handelt over de al dan niet aanwezigheid van de afwateringskanalen in de onderregel van het raam. De afwezigheid van afwateringskanalen blijkt nefast te zijn voor de afwatering van het water dat in het gootje van de onderregel, te zien op Figuur 31, terecht komt. Dit resultaat kan getrokken worden uit de vergelijking van testen TW1, TW2, TW3 en TW4. Het type afwateringskanaal dat gebruikt wordt, heeft weinig invloed op de resultaten van de testen. In principe blijft de vorm van het afwateringskanaal de keuze van de ontwerper. Intuïtief kan wel aangevoeld worden dat het type B gevoeliger zal zijn voor vuilophoping dan type A.



Figuur 31: Afvoergoot onderregel

Als gekeken wordt naar de invloed van de dichtingen, kan een tweede besluit getrokken worden. De aanwezigheid van dichtingen heeft een zeer grote invloed op de waterdichtheid. Met de aanwezigheid van de binnenste dichting (SPV 12) wordt beter gescoord op de testen. Na toevoegen van de buitenste dichting (S 0318) behoort het raam tot een nog betere waterdichtheidsklasse. In geval van twee dichtingen, blijkt het voordelig om een dubbel afwateringskanaal te plaatsen. Wanneer geen dichtingen geplaatst worden, heeft een bijkomende tweede afwateringskanaal geen toegevoegde meerwaarde.

Tenslotte wordt de invloed van een bijkomende glaslat bekeken. Zoals verwacht kan geconcludeerd worden dat de bijkomende glaslat een betere waterdichtheid garandeert. Test TW9 en TW10 wijzen dit uit.

Met de uitgevoerde testen, wordt de optimale configuratie bekomen tijdens test TW10. Daar worden zowel de binnenste als buitenste dichting geplaatst, de twee types afwateringskanalen staan open en een bijkomende glaslat wordt toegevoegd.

HOOFDSTUK 6: DISCUSSIE

Historisch schrijnwerk heeft een enorme impact op de erfgoedwaarde van een pand. In de restauratiesector leeft de gedachte om alles te restaureren naar de oorspronkelijke staat. Er zijn nauwelijks beperkingen op de mate van luchtdichtheid of op U-waarden. Een toegevoegde of een andere dichting kan het uitzicht van het buitenschrijnwerk mogelijks deels veranderen, waardoor de oorspronkelijke staat niet meer voor de volle honderd procent bereikt wordt. Door die gedachte is het vaak moeilijk om een energetisch beter concept in de wereld van restauratiewerken te laten binnendringen. De vraag “wanneer worden historische gebouwen aan strengere energieprestatienormen onderworpen” komt dan al snel bovendrijven. Zwart op wit kan alvast bewezen worden dat betere opties bestaan dan de gebruikelijke werkwijze van heden ten dage. Over deze kwestie kan uitvoerig gediscussieerd worden. Dit onderwerp valt buiten het bestek van deze masterproef.

Zowel labotesten als in-situ luchtdichtheidstesten geven nuttige en waardevolle inzichten betreffende de prestaties van historisch schrijnwerk. Het spreekt voor zich dat de resultaten die bekomen worden onder laboratoriumomstandigheden een nauwkeuriger resultaat bieden. De resultaten van de in-situ testen, bekomen met de blowerdoortest, geven een minder exacte waarde aangezien de foutmarge op deze resultaten groter is. Het betrouwbaarheidsinterval van deze metingen blijkt groter dan bij testen in het testcentrum.

Wanneer de waarden voor de luchtlekdebieten van de labo-testen vergeleken worden met de in-situ testen, worden eveneens enkele merkwaardigheden opgemerkt die in vraag gesteld kunnen worden. Met behulp van de bekomen luchtdichtheidsklassen van de in-situ metingen kan een inschatting gedaan worden naar de kwaliteit van de aanwezige dichtingen. Er kan gesteld worden dat de in-situ geteste ramen niet allemaal de gewenste hoogste klasse halen. De bekomen resultaten moeten met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden aangezien de nauwkeurigheid van de blowerdoortest lager ligt dan die van de testmuur in het labo.

Als laatste punt ter discussie kunnen de geldende normeringen betreffende lucht- en waterdichtheidstesten onder de loep genomen worden. In 2.4.4 werd een simulatieberekening uitgevoerd om de drukbelasting van wind te bestuderen. Bij de slechtst mogelijke omstandigheden wordt een maximaal drukverschil van 457,73 Pa bekomen. De normering schrijft een test bij een drukverschil van 600 Pa voor. In realiteit blijkt zo'n groot drukverschil zich nooit voor te doen.

Bij de waterdichtheidstesten is het duidelijk dat de hoogste waterdichtheidsklassen nooit behaald worden. In de meest optimale configuratie (TW10), wordt ‘slechts’ een waterdichtheidsklasse 4A bekomen. Het raam houdt in dit geval ongeveer 10 seconden stand tegen een waterdebiet van 2 l/min/m². Bovendien staat op dat moment een drukverschil van 200 Pa over het testraam. Wanneer gekeken wordt naar dagdagelijkse omstandigheden, kan men stellen dat een waterdebiet van 2 l/min/m² zich zo goed als nooit voordoet in onze contreien. Bij dergelijke waterdebieten stroomt het water als een film over

het glasoppervlak naar beneden. Wanneer het in realiteit regent, zullen zich druppelsporen vormen op het glasoppervlak. Deze waarneming wijst op het feit dat de 2 l/min/m^2 een overschatting blijkt. Bijgevolg kan in vraag gesteld worden of de geldende normering niet te streng is.

HOOFDSTUK 7: CONCLUSIE

In deze masterproef worden zowel laboratorium- als in-situ testen uitgevoerd om de lucht- en waterdichtheid van historisch buitenschrijnwerk grondig te evalueren. In samenwerking met aannemerijbedrijf Denys nv, dat het testmateriaal leverde, inclusief ramen voor laboratoriumonderzoek, werden uitgebreide experimenten uitgevoerd in het testcentrum gevelelementen van de Universiteit Gent. Het voornaamste doel van dit onderzoek wijst op het verkrijgen van nauwkeurige en betrouwbare meetresultaten die bijdragen aan een diepgaander inzicht in de prestaties van historisch buitenschrijnwerk, evenals de effectiviteit van diverse dichtingsmethoden.

In-situ luchtdichtheidsmetingen werden uitgevoerd op vijf historische houten ramen met behulp van blowerdoortesten. De n-50 waarde, bepalend voor de luchtdichtheidsklasse, werd omgezet naar het luchtlekdebiet per vierkante meter. De resultaten tonen dat de ramen tot drie verschillende luchtdichtheidsklassen behoren, met geen enkel raam in de slechtste klasse (klasse 1). Het beste raam (R1) behaalde klasse 4, terwijl de slechtste ramen (R4 en R5) tot klasse 2 behoorden. Naast in-situtesten werden ook laboratoriumtesten uitgevoerd op drie testramen. Testraam 1, met en zonder dichting, toonde aan dat de aanwezigheid van dichtingen de luchtdichtheidsklasse aanzienlijk verbetert van klasse 2 naar klasse 3. Testraam 2, zonder dichting, behaalde de laagste klasse (klasse 1). Voor Testraam 3 werden verschillende dichtingscombinaties getest. De beste prestaties werden bereikt met de combinatie van een binnendichting (SPV 12) en een zwarte variant van de S 0318 buitendichting, wat resulteerde in luchtdichtheidsklasse 4.

Waterdichtheidstesten, uitgevoerd onder gecontroleerde laboratoriumomstandigheden, toonden aan dat de aanwezigheid van dichtingen en afwateringskanalen cruciaal is voor de waterdichtheid van ramen. Testraam 1, met één enkele buitendichting, behaalde waterdichtheidsklasse 1A, terwijl Testraam 2 zonder dichting niet waterdicht bleek te zijn en klasse 0 behaalde. De optimalisatie van Testraam 3 (TW10), met diverse combinaties van dichtingen, extra glaslatten en afwateringskanalen, toonde aan dat een configuratie met zowel binnen- als buitendichtingen, open afwateringskanalen en een extra glaslat de beste waterdichtheidsklasse (4A) behaalde.

Algemeen kunnen de volgende de besluiten getrokken worden. Over de aanwezigheid van een dichting kan gesteld worden dat ze essentieel zijn voor een optimale dichting. Zowel de lucht- als waterdichtheidstesten scoren beter op de testcombinaties waar dichtingen aanwezig zijn. Een combinatie van zowel een binnen- als buitendichting blijkt de beste resultaten te kunnen voorleggen. De afwateringskanalen blijken cruciaal voor de waterdichtheid. Op vlak van prestaties blijkt geen verschil uit de verschillende types afwateringskanalen, wel kan gesteld worden dat type-B kanalen gevoeliger zijn voor vuilophoping. De plaatsing van bijkomende glaslatten verhoogt de waterdichtheid aanzienlijk. Dit wordt aangetoond in test TW10.

Over de manier van testen kan het volgende gesteld worden. Laboratoriumtesten voor het testen van de lucht- en waterdichtheid van buitenschrijnwerk bieden nauwkeurigere en gecontroleerde omstandigheden die waardevolle inzichten geven voor het optimaliseren van het schrijnwerk. In-situ testen met de blowerdoortest geven eveneens waardevolle resultaten, toch zijn deze minder nauwkeurig door de veel grotere foutmarge op de metingen. Deze resultaten blijken toch relevant om naast de labo-resultaten te leggen om een realistisch begrip te vormen.

Verdere onderzoek naar de optimalisatie, door nog betere configuraties van verschillende dichtingen in combinatie constructieve aanpassingen, is nodig om de prestaties nog verder te verbeteren.

HOOFDSTUK 8: DUURZAAMHEIDSREFLECTIE

De lucht- en waterdichtheid van schrijnwerk blijft een belangrijk onderdeel voor duurzame bouwpraktijken en draagt bij tot het creëren van energie-efficiënte gebouwen. Dit onderwerp kan daarom ook gelinkt worden aan enkele SDG's. Deze afkorting staat voor 'Sustainable Development Goals'. Specifiek voor het onderwerp van deze thesis wordt de focus gelegd op drie van de in totaal 17 SDG's. Namelijk SDG 7 zijnde betaalbare en schone energie, SDG 11: duurzame steden en gemeenschappen en uiteindelijk SDG 13: klimaat actie. Door al deze SDG's te linken aan de lucht- en waterdichtheid van schrijnwerk, kan er een beter inzicht verkregen worden over de duurzaamheid van dit onderwerp. (United Nations, n.d.)



Figuur 32: The global goals – duurzaamheidsreflectie (United Nations, n.d.)

De luchtdichtheid van schrijnwerk draagt bij aan het bevorderen van betaalbare en schone energie (SDG 7). Door een betere luchtdichtheid in gebouwen, verhoogt de energie-efficiëntie van gebouwen. Een verhoogde energie-efficiëntie van gebouwen zorgt voor een gereduceerd warmteverlies in de winter én bovendien een lagere warmteoverdracht in de zomer. Hierdoor is er minder behoefte aan verwarming en koeling. Dit resulteert in een vermindering van het energieverbruik en dus een lagere vraag naar elektriciteit, gas en fossiele brandstoffen. Hierdoor draagt het afdichten bij tot het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen en tot het bevorderen van een schonere en duurzamere energietoekomst.

De luchtdichtheid van ramen speelt een rol in SDG 11: duurzame steden en gemeenschappen. Het verhogen van de energie-efficiëntie van gebouwen draagt bij tot het creëren van leefbare stedelijke omgevingen. Goed afgedicht schrijnwerk kan helpen als geluidsisolatie waardoor een meer comfortabele binnenomgeving kan gecreëerd worden. Dankzij de comfortabelere binnenomgevingen en

de lagere energiekosten voor gezinnen en bedrijven, draagt een betere luchtdichtheid bij tot het verbeteren van de algemene levenskwaliteit. Naast de luchtdichtheid speelt de waterdichtheid ook een grote rol bij duurzame steden. Een hoge weerstand tegen waterinfiltraties draagt bij tot het beschermen van gebouwen tegen vochtinfiltratie en eventuele lekkages. Wanneer het schrijnwerk niet waterdicht is, bestaat de mogelijkheid tot schimmelvorming, houtrot of corrosie. Dit kan op zijn beurt leiden tot gezondheidsrisico's voor eventuele bewoners waardoor de binnenomgeving minder comfortabel en leefbaar wordt en bijgevolg de levenskwaliteit daalt.

Tenslotte wordt de laatste SDG 13: klimaatactie besproken. Zoals eerder vermeld, zorgt luchtdichtheid van gebouwen voor een betere energie-efficiëntie en dus voor een lager energieverbruik. Een gereduceerd energieverbruik resulteert in een lagere afname van (fossiele) brandstoffen. Minder emissiegassen, zoals methaan en koolstofdioxide, worden de hemel ingestuurd. Deze broeikasgassen spelen een belangrijke rol in de opwarming van de aarde. Door het optimaliseren van de luchtdichtheid zal de impact op het klimaat verlaagd worden.

Het verbeteren van de lucht- en waterdichtheid van historisch buitenschrijnwerk, en van ramen in het algemeen, heeft een duidelijke impact op het bevorderen van de duurzaamheid en het behalen van enkele SDG's.

HOOFDSTUK 9: BIBLIOGRAFISCHE REFERENTIES

- 2023: COP28 - Dubai. (n.d.). Retrieved 25 May 2024, from <https://klimaat.be/klimaatbeleid/internationaal/klimaatconferenties/2023-cop28-dubai>
- Adrian Verhoijisen. (2010). *Waterdichtheid van raamaansluitingen*.
- Agentschap Onroerend Erfgoed. (2009a). *Instituut der Wetenschappen | Inventaris Onroerend Erfgoed*. <https://inventaris.onroerenderfgoed.be/erfgoedobjecten/20554>
- Agentschap Onroerend Erfgoed. (2009b). *Stadhuis Gent | Inventaris Onroerend Erfgoed*. <https://inventaris.onroerenderfgoed.be/erfgoedobjecten/24558>
- Agentschap Onroerend Erfgoed. (2015). *Museum Ridder Smidt van Gelder met tuin | Inventaris Onroerend Erfgoed*. <https://inventaris.onroerenderfgoed.be/erfgoedobjecten/6488>
- Belgisch Instituut voor Normalisatie. (2000). *NBN EN 12208, Windows and doors - Watertightness - Classification*.
- Belgisch Instituut voor Normalisatie. (2016a). *NBN EN 1026, Windows and doors - Air permeability - Test method*.
- Belgisch Instituut voor Normalisatie. (2016b). *NBN EN 1027, Windows and doors - Water tightness - Test method*.
- Belgisch Instituut voor Normalisatie. (2017). *NBN EN 12207, Windows and doors - Air permeability - Classification*.
- Bouwfysica, K., & Ruud Van Herpen, I. (2007). *Luchtstroming in openingen*.
- Buildwise. (2015). *TVN_255*.
- Buildwise. (2022). *Wind Interactive*. <https://www.buildwise.be/nl/expertise-ondersteuning/buildwise-tools/wind-interactive/>
- DEVENTER Profielen. (n.d.). Retrieved 25 May 2024, from <https://www.deventer-profielen.nl/>
- Dichtingen voor ramen / Producten | DEVENTER Profielen. (n.d.). Retrieved 24 May 2024, from <https://www.deventer-profielen.nl/producten/dichtingen-voor-ramen>
- EPB-PEDIA. (n.d.). *Luchtdichtheid | Vlaanderen.be*. Retrieved 28 May 2024, from <https://www.vlaanderen.be/epb-pedia/gebouw/luchtdichtheid>
- Frederik Mahieu. (2017). *Historisch schrijnwerk Afwegingskader Agentschap Onroerend Erfgoed*. www.onroerenderfgoed.be
- FUTURE-PROOFING HERITAGE TOWNHOUSES BY OPTIMISING COMFORT AND ENERGY IN TIME AND SPACE HERITACE. (2023).

Monumentenwacht Vlaanderen. (2004). *Brochure houten schrijnwerk*.

Nathan Van Den Bossche. (2013). *Waterdichtheid van gebouwen: principes, testen en ontwerprichtlijnen*.

S 0318 / Overzicht dichtingen / Producten | DEVENTER Profielen. (n.d.). Retrieved 24 May 2024, from <https://www.deventer-profielen.nl/producten/overzicht-dichtingen/s-0318>

S 1320 / Overzicht dichtingen / Producten | DEVENTER Profielen. (n.d.). Retrieved 24 May 2024, from <https://www.deventer-profielen.nl/producten/overzicht-dichtingen/s-1320>

SPV 12 (F) / Overzicht dichtingen / Producten | DEVENTER Profielen. (n.d.). Retrieved 24 May 2024, from <https://www.deventer-profielen.nl/producten/overzicht-dichtingen/spv-12-f>

The Energy Conservatory. (2012). *Minneapolis Blower Door™ Operation Manual for Model 3 and Model 4 Systems*. www.energyconservatory.com

Tochtstrips. (2024). <https://www.marketonweb.nl/tips-tricks/post/welke-tochtstrip-heb-ik-nodig>

United Nations. (n.d.). *THE 17 GOALS | Sustainable Development*. Retrieved 25 May 2024, from <https://sdgs.un.org/goals>

HOOFDSTUK 10: BIJLAGEN

Bijlage 1: Technische tekeningen testraam 3

