

# Ventilatie Campus Groep T

**Jorik Cools**  
**Andres Huysegoms**

Promotor: MSc. C. Willemaerts  
Copromotor: MSc. W. Vuylsteke

Masterproef ingediend tot het behalen van de  
graad van master of Science in de industriële  
wetenschappen: *elektromechanica optie*  
*Intelligent Mobility*

Academiejaar 2020-2021



© Copyright KU Leuven

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van zowel de promotor(en) als de auteur(s) is overnemen, kopiëren, gebruiken of realiseren van deze uitgave of gedeelten ervan verboden. Voor aanvragen i.v.m. het overnemen en/of gebruik en/of realisatie van gedeelten uit deze publicatie, kan u zich richten tot KU Leuven Campus Groep T Leuven, Andreas Vesaliusstraat 13, B-3000 Leuven, +32 16 30 10 30 of via e-mail [iiw.groept@kuleuven.be](mailto:iiw.groept@kuleuven.be).

Voorafgaande schriftelijke toestemming van de promotor(en) is eveneens vereist voor het aanwenden van de in deze masterproef beschreven (originele) methoden, producten, schakelingen en programma's voor industrieel of commercieel nut en voor de inzending van deze publicatie ter deelname aan wetenschappelijke prijzen of wedstrijden.

# Voorwoord

Allereerst willen we graag onze promotor Christel Willemaerts bedanken voor al haar hulp en begeleiding tijdens deze masterproef. We willen haar bedanken voor het aanreiken van ideeën en het geven van opbouwende kritiek. Ze heeft ons altijd met goede raad bijgestaan en heeft ons uitgedaagd om steeds kritisch ons eigen werk te analyseren. Ten tweede zouden we ook graag onze copromotor, Wim Vuylsteke, bedanken. Hij was de persoon waarvoor we de ventilatie in kaart moesten brengen en hij zorgde dat we alle juiste contactpersonen vonden om extra informatie van te krijgen. Daarnaast zorgde hij ervoor dat we al het nodige materiaal ter beschikking hadden en toegang kregen tot alle ruimtes van Campus Groep T om de ventilatie te kunnen onderzoeken.

Bijzondere dank gaat ook uit naar Rudi Vanluyten. Als medewerker van de technische dienst van de KU Leuven was meneer Vanluyten onze contactpersoon voor alle informatie over de ventilatie. Hij heeft ons alle plannen en technische informatie van het gebouw bezorgd en stond altijd klaar om iets te verduidelijken aan ons. Lorien Luyckx was onze contactpersoon voor de geurproblemen in het chemielokaal te onderzoeken. Mevrouw Luyckx heeft ons bijgestaan tijdens de proeven om dit probleem in kaart te proberen brengen. We willen haar graag bedanken dat ze ons hiermee heeft geholpen.

Roland Pardons willen we ook bedanken. Hij heeft speciaal als oud-prof van Campus Groep T ons een rondleiding gegeven om zijn kennis te delen. Meneer Pardons heeft de opbouw van Campus Groep T in 1996 meegemaakt en heeft ons verteld hoe dat de ventilatie tot stand kwam. Vervolgens willen we ook Elke Gilin bedanken. Als coach van het Instituut voor Levende Talen (ILT) heeft mevrouw Gilin ons bijgestaan om onze masterproef van de nodige schrijfstijl te voorzien. Haar tips hebben ons enorm vooruit geholpen bij het schrijven van de thesis.

Als laatste willen we graag nog onze familie en vrienden bedanken die ons hebben gesteund doorheen heel onze studie. Zij maakten de moeilijkere momenten dragelijk en stonden klaar om te helpen waar mogelijk.

# Samenvatting

Groep T is een campus van de faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen in Leuven. Om de studenten op te leiden, creëert de campus een prettige en gezonde werkomgeving. De ventilatie van de campus speelt een cruciale rol om die gezonde werkomgeving te creëren, maar de werking en samenhang van de ventilatiecomponenten van de campus is onbekend. Daarnaast is er de Covid-19-pandemie, die er voor zorgt dat veel lessen online moeten plaatsvinden. Op Campus Groep T gaan er wel nog labo sessies ter plaatse door. Dit toont de noodzaak aan om te onderzoeken welke invloed de ventilatie kan hebben om de verspreiding van Covid-19 in gebouwen te verminderen. Deze masterproef maakt dus duidelijk welke onderdelen tot de ventilatie van Campus Groep T behoren en hoe ze samenwerken. Vervolgens komt ter sprake hoe de technische dienst van de KU Leuven de ventilatie beheert. Verder behandelt de studie ook de mogelijke verbeteringen aan de ventilatie om de verspreiding van Covid-19 te verminderen. Voor die verbeteringen geeft de thesis ook telkens een initiële kostenanalyse. Om de componenten, de werking en de huidige toestand van de ventilatie te achterhalen, analyseert de masterproef de as-built plannen van het gebouw en geeft ze ook luchtdebietmetingen van 28 lokalen weer. Voor elke hoofdluchtgroep (PG 1,2,3,4) werd minstens één meting uitgevoerd om de huidige situatie van de ventilatie te kennen. Om de invloed van de regelkleppen op de luchtdebieten van het ventilatiesysteem te analyseren, zijn extra metingen uitgevoerd. Veel van de gemeten lokalen voldoen niet aan de ventilatienormen van de KU Leuven.

Tijdens het onderzoek zijn er problemen gevonden die de werking en de efficiëntie van de ventilatie verslechteren. Bijvoorbeeld het opmerken van een defecte servomotor waar de technische dienst van KU Leuven niet van op de hoogte was. Die zorgde ervoor dat een luchtgroep vacuüm zoog en de bijhorende lokalen van die luchtgroep dus amper debiet kregen. De masterproef gaat in op deze problemen en biedt oplossingen. Er zijn ook 3 klaslokalen met specifieke problemen. Het eerste probleem doet zich voor in een chemielabo waar er een geurprobleem optreedt in het aangrenzend lokaal bij het uitvoeren van enkele experimenten. Het tweede probleem situeert zich in het labo van materiaaltechnologie. In die ruimte is enkel extractie aanwezig en geen luchttoevoer. Het laatste probleem doet zich voor in een vergaderruimte. In dat lokaal begonnen de aanwezigen zich onwel te voelen door een gebrek aan verse lucht. Voor die lokalen is onderzocht wat de daadwerkelijke problemen zijn en hoe ze kunnen worden opgelost. Om de verspreiding van Covid-19 te beperken richt de masterproef zich op VAV-systemen. Die systemen bieden de mogelijkheid om meer gericht het luchtdebiet per ruimte te regelen en zo het aantal luchtverversingen per uur te verhogen. Het systeem verhoogt dus de efficiëntie en flexibiliteit van de ventilatie. Een andere mogelijke oplossing bleek een draagbare luchtfilter te zijn. Dit is een extern onderdeel aan de ventilatie en de filter kan het luchtdebiet in een ruimte verhogen zonder aanpassingen aan de ventilatie zelf te doen. Samenvattend geeft de masterproef een duidelijke uitleg van het regel- en werkingsprincipe van de ventilatie van Campus Groep T. Daarnaast geeft de thesis ook een overzicht van de oplossingen om de verspreiding van Covid-19 in gebouwen tegen te gaan.

# Abstract

The topic of this master's thesis is the ventilation of Campus Group T. Group T is one of the campuses of the faculty of Engineering Technology. To educate their students, a pleasant and healthy working environment must be created. The ventilation of the campus has a crucial role to create this healthy working environment but the operation and coherence of the ventilation components of the campus is unknown. Besides that, there is the Covid-19 pandemic. As a result, online classes are taught, but engineers also have lab sessions on campus. This shows the need to examine which influence ventilation might have to reduce the spread of Covid-19 in buildings. Therefore, this thesis starts with clarifying which components are a part of the ventilation of Campus Group T and how they work together. Next the master's thesis explains how the technical department of the KU Leuven regulates this ventilation. It also explains what improvements to this ventilation could be done to counteract the spread of Covid-19, and what the cost could be. To find out the components, the operation and the current condition of the ventilation, the master's thesis analyzes the as-built plans of the building and shows airflow measurements of the classrooms. For each main HVAC system (heating ventilation and air conditioning), at least one measurement was done to know the current situation of the ventilation and to make it possible to analyze the influence of the control valves on the airflows of the ventilation system. Many of these classrooms fail to meet KU Leuven's ventilation norms.

Throughout the research, the thesis found problems that reduce the efficiency and working of this ventilation. For example, the detection of a broken servo motor that the technical department of KU Leuven was not aware of. This caused an HVAC system to suck vacuum and the rooms belonging to that HVAC thus received very little airflow. The master's thesis addresses these problems and provides solutions. There are also 3 classrooms with specific problems. The first problem occurs in a chemistry lab where there is an odor problem in neighboring rooms if some experiments are performed. The second problem is located in the materials technology lab. In this lab, there is no air supply available but there is some extraction. The last problem occurs in a meeting room, there were complaints about feeling unwell because of too little air. For these rooms, research is done to tell what the actual problems are and how these problems may be solved. To limit the spread of Covid-19 the master's thesis focuses on VAV systems. These systems could be used to control a more targeted airflow rate per room and thus increase the number of air changes per hour. It increases the efficiency and flexibility of the ventilation. Another possible solution appeared to be a portable air filter. It is an external component to the ventilation and can increase the airflow without having to adjust the ventilation itself. To summarize, the master's thesis gives a clear explanation of the control and operating principle of the ventilation of campus Group T and in addition analyzes solutions to counteract the spread of Covid-19.

# INHOUD

<b>Voorwoord</b> .....	<b>i</b>
<b>Samenvatting</b> .....	<b>ii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>iii</b>
<b>Symbolenlijst</b> .....	<b>vi</b>
<b>Lijst met afkortingen</b> .....	<b>ix</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Literatuurstudie</b> .....	<b>2</b>
2.1 <i>Ventilatiesystemen</i> .....	2
2.1.1 Ventilatietypes.....	2
2.1.2 Mechanische componenten .....	3
2.2 <i>Normen en wetgeving ventilatie</i> .....	9
2.3 <i>Ventilatie en Covid-19</i> .....	15
2.3.1 Verspreiding van een virus.....	15
2.3.2 Mechanische aanpassingen aan ventilatiesystemen .....	17
2.3.3 Extra toevoegingen aan een ventilatiesysteem .....	19
2.3.4 Variable air volume systems – regelbare debieten .....	20
<b>3 Methodologie</b> .....	<b>23</b>
3.1 <i>As-built plannen</i> .....	23
3.2 <i>Debiet metingen</i> .....	25
3.2.1 Debiet controleren.....	25
3.2.2 Effect van regelkleppen.....	28
3.3 <i>CO<sub>2</sub> meting zuurkast</i> .....	28
<b>4 Werking ventilatie Campus Groep T</b> .....	<b>31</b>
4.1 <i>Mechanische componenten en samenhang</i> .....	31
4.1.1 Luchtgroepen.....	31
4.1.2 Schachten en kanalen.....	36
4.1.3 Regelkleppen .....	39
4.1.4 Roosters .....	42
4.2 <i>As-built plannen versus de realiteit</i> .....	43
4.2.1 Vereiste debieten en actuele debieten .....	43
4.2.2 Afwijkingen t.o.v. as-built plannen .....	49

4.3	<i>Regeling van de ventilatie</i> .....	50
4.3.1	Gebouwbeheersysteem .....	50
4.3.2	Lokale regeling.....	51
<b>5</b>	<b>Lokalen met problemen incl. aanbevelingen</b> .....	<b>56</b>
5.1	<i>Lokaal 02.9.01.1</i> .....	56
5.2	<i>Lokaal P1.03</i> .....	58
5.3	<i>Lokaal 02.8.01.1</i> .....	61
<b>6</b>	<b>Verspreiding beperken van Covid-19</b> .....	<b>63</b>
6.1	<i>Te behalen objectief</i> .....	63
6.2	<i>Aanpassingen door verbouwing</i> .....	67
6.2.1	VAV-kleppen .....	67
6.2.2	Luchtgroepen vervangen en toevoegen .....	70
6.3	<i>Aanpassingen zonder verbouwing</i> .....	75
6.3.1	Draagbare luchtfilters .....	75
6.3.2	Luchtdebiet verhogen van luchtgroep .....	78
<b>7</b>	<b>Discussie</b> .....	<b>84</b>
7.1	<i>Luchtdebieten verhogen</i> .....	84
7.2	<i>Andere aanbevelingen</i> .....	85
<b>8</b>	<b>Besluit</b> .....	<b>87</b>
	<b>Referenties</b> .....	<b>88</b>
	<b>Bijlagen</b> .....	<b>92</b>
<b>Bijlage A</b>	<b>Luchtdebiet normen toegepast door KU Leuven</b> .....	<b>1</b>
<b>Bijlage B</b>	<b>Debiet metingen lokalen en omvormer resultaten</b> .....	<b>1</b>
<b>Bijlage C</b>	<b>Berekening K-waarde van het 3-wegventiel</b> .....	<b>1</b>
<b>Bijlage D</b>	<b>Vereiste debieten onderzochte lokalen</b> .....	<b>1</b>
<b>Bijlage E</b>	<b>Technische gegevens PG2</b> .....	<b>1</b>



# Symbolenlijst

$d$	Hydraulische diameter van een kanaal	[m]
$d_{sen}$	De diameter van de vleugelrad sensor	[m]
$h_r$	Hoogte van een ruimte	[m]
$l$	Lengte van een luchtkanaal	[m]
$n$	Aantal mol van een gas	[mol]
$n_1$	Oorspronkelijke snelheid van de ventilator	[tr/min]
$n_2$	Nieuwe snelheid van de ventilator	[tr/min]
$p$	Atmosferische druk	[Pa]
$p_1$	Oorspronkelijke drukval over de ventilator	[Pa]
$p_2$	Nieuwe drukval over de ventilator	[Pa]
$\Delta p$	Drukval over een kanaal	[Pa]
$\Delta p_{vent}$	Drukval over het 3-wegventiel	[Pa]
$q_v$	Nominaal debiet doorheen een ventilator	[m <sup>3</sup> /s]
$q_t$	Nominaal debiet doorheen een toevoeging	[m <sup>3</sup> /s]
$v$	luchtsnelheid	[m/s]
$v_{vent}$	Snelheid van het water doorheen het 3-wegventiel	[m/s]
$A$	Oppervlakte waardoor de lucht vloeit	[m <sup>2</sup> ]
$A_c$	Inwendige oppervlakte van een kanaal	[m <sup>2</sup> ]
$A_p$	Ontwerppoppervlakte per persoon voor een ruimte	[m <sup>2</sup> /pers]
$A_r$	Oppervlakte van een ruimte	[m <sup>2</sup> ]
$A_{vent}$	Oppervlakte van de 3-wegventielingang	[m <sup>2</sup> ]
$CADR_f$	Gefilterde luchtdebiet van een luchtfilter	[m <sup>3</sup> /h]
$F$	Aantal benodigde luchtfilters voor 6ACH te voorzien in een ruimte	[# filters]
$I_{lijn}$	Lijnstroom van een inductiemotor	[A]
$K$	Plaatselijke drukverliescoëfficiënt over een element	[-]
$M_{cap}$	Menselijke capaciteit voor een ruimte bepaald door KU Loket	[#pers]
$O$	Inwendige omtrek van een kanaal	[m]
$P$	Elektrisch opgenomen vermogen van een ventilator	[W]
$P_m$	Maximaal elektrisch vermogen van een inductiemotor	[W]
$P_{SFP}$	Soortelijk vermogen van een ventilator	[W/(m <sup>3</sup> /s)]
$Q$	Luchtdebiet doorheen een kanaal	[m <sup>3</sup> /h]
$Q_1$	Oorspronkelijk luchtdebiet doorheen de ventilator	[m <sup>3</sup> /h]
$Q_2$	Nieuw luchtdebiet doorheen de ventilator	[m <sup>3</sup> /h]
$Q_{6ACH}$	Luchtdebiet voor 6 ACH te halen voor een ruimte	[m <sup>3</sup> /h]

$Q_{act}$	Vereist debiet met actuele bezetting voor een ruimte	[m <sup>3</sup> /h]
$Q_{gen}$	Vereist debiet met genormeerde bezetting voor een ruimte	[m <sup>3</sup> /h]
$Q_{L-extra}$	Extra benodigde debiet per luchtgroep voor 6 ACH	[m <sup>3</sup> /h]
$Q_p$	Vereiste debiet per persoon voor een ruimte	[m <sup>3</sup> /(h.pers)]
$Q_r$	Huidige luchtdebiet van een ruimte	[m <sup>3</sup> /h]
$Q_{vent}$	Waterdebiet doorheen het 3-wegventiel	[m <sup>3</sup> /h]
$R$	Gasconstante	[J/(K.mol)]
$R_{eff}$	Verwijderingsefficiëntie van de filter	[%]
$Re$	Reynoldsgetal	[-]
$T$	Omgevingstemperatuur	[°C]
$V$	Volume van gas	[m <sup>3</sup> ]
$V_{lijn}$	Lijnspanning van een inductiemotor	[V]
$W_m$	Rotatiesnelheid van een inductiemotor	[rad/s]
$\varepsilon$	Absolute ruwheid van de binnenwand van een kanaal	[m]
$\varepsilon/d$	Relatieve ruwheid van de binnenwand van een kanaal	[-]
$\lambda$	Wrijvingscoëfficiënt van Darcy	[-]
$\nu(nu)$	Kinematische viscositeit	[m <sup>2</sup> /s]
$\rho$	Massadichtheid van lucht	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_w$	Massadichtheid van water	[kg/m <sup>3</sup> ]



## Lijst met afkortingen

PG	Pulsiegroep
EG	Extractiegroep
CADR	Clean Air Delivery Rate
ACH	Air Changes per Hour
VAV	Variable Air Volume
WTCB	Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf
HVAC	Heating Ventilation Air Conditioning
MERV	Minimum Efficiency Reporting Value

# 1 INLEIDING

---

Sinds maart 2020 ondervindt heel de wereld de gevolgen van de Covid-19-pandemie. Zo krijgen studenten sinds de start van de pandemie online onderwijs en moet het merendeel van de bevolking thuiswerken. Die maatregelen zijn genomen omdat de kans op de verspreiding van het virus in gebouwen afhankelijk is van veel factoren en moeilijk valt in te schatten. Een belangrijke factor hiervan is de ventilatie van een gebouw. Om de invloed van de ventilatie te weten op de verspreiding van Covid-19 moet er een goede kennis zijn over de werking, de luchtdebieten en de componenten van die ventilatie. Daarnaast zijn er heel wat aanpassingen mogelijk aan de ventilatie om de kans op verspreiding te beperken. Voor Campus Groep T, gebouwd in 1996, is er tijdens de overdracht van onafhankelijke hogeschool naar campus van de KU Leuven informatie over de ventilatie verloren gegaan. Momenteel is er op Campus Groep T niemand die volledig weet hoe de ventilatie precies werkt. Omwille van die reden heeft Wim Vuylsteke, preventieadviseur van Campus Groep T, gevraagd om de ventilatie van de campus in kaart te brengen. Het doel van deze thesis is om de werking van de ventilatie en de invloed van de ventilatie op de verspreiding van Covid-19 te analyseren. Omdat de doelstellingen uitgebreid zijn, is het onderzoek gebaseerd op 2 onderzoeksvragen.

Als eerste onderzoekt deze masterproef welke componenten deel uitmaken van de ventilatie van Campus Groep T, of de luchtdebieten voldoen aan de norm en hoe dat de technische dienst van de KU Leuven de ventilatie beheert. Ten tweede onderzoekt de masterproef welke verbeteringen aan de ventilatie van Campus Groep T mogelijk zijn om de verspreiding van Covid-19 tegen te werken met een initiële schatting van de kostprijs van die verbeteringen.

De masterproef start met een literatuurstudie die een overzicht geeft van de soorten ventilatiesystemen en de verschillende componenten van een ventilatiesysteem. De literatuurstudie bespreekt daarna de normen en wetgeving rond de luchtkwaliteit van een niet-residentieel gebouw. Aan de hand van die wetgeving worden de luchtdebieten voor lokalen bepaald. Tenslotte gaat de literatuurstudie in op algemene oplossingen tegen Covid-19 die in gebouwen toepasbaar zijn. Na de literatuurstudie komt de methodologie aan bod. Dit deel bespreekt de analyse van de as-built plannen van de ventilatie en hoe de verschillende metingen op de ventilatie zijn uitgevoerd. Dan behandelt de thesis alle aspecten van de ventilatie van Campus Groep T. Bijkomstig bespreekt de masterproef 3 lokalen die problemen hebben met de ventilatie en waar een oplossing voor nodig is. Daarna bespreekt de thesis de verbeteringen om de kans op overdracht van Covid-19 te minimaliseren. Voor alle verbeteringen is er een initiële kostenanalyse om de keuze tussen de verbeteringen te vergemakkelijken. Vervolgens komt er een discussie aan bod met de aanbevelingen om de ventilatie van Campus Groep T efficiënter te maken. Als laatste geeft de thesis een algemeen besluit en suggesties voor verder onderzoek.

## 2 LITERATUURSTUDIE

---

De literatuurstudie bespreekt de algemene theorie over ventilatiesystemen, de algemene luchtnormen en wetgeving waaraan schoolgebouwen van Vlaanderen en de KU Leuven moeten voldoen, alsook de relatie tussen de ventilatie en Covid-19. Die informatie vormt de basis voor het verdere onderzoek dat specifiek ingaat op de ventilatie van Campus Groep T. De literatuurstudie behandelt eerst de ventilatiesystemen, daarna de normen en wetgeving en als laatste de impact van ventilatie op de verspreiding van Covid-19.

### 2.1 Ventilatiesystemen

Ventilatiesystemen bestaan uit verschillende onderdelen die de lucht vervoeren van buiten naar binnen en omgekeerd. Per type ventilatie kunnen er meerdere componenten in het systeem aanwezig zijn. Dit hoofdstuk bespreekt de 4 ventilatietypes en de mechanische componenten met hun eigenschappen en functie.

#### 2.1.1 Ventilatietypes

Er bestaan 4 verschillende ventilatietypen [1]. Elk met hun voor- en nadelen [2]. Ze hebben allen hetzelfde doel, namelijk zorgen voor een gezonde binnenlucht in een bepaalde ruimte. Ventilatiesystemen kunnen de opstapeling van CO<sub>2</sub>, vocht en andere schadelijke stoffen die tot gezondheidsklachten leiden, vermijden door luchtcirculatie te voorzien.

Ventilatie type A heeft geen mechanische luchttoevoer of -afvoer. De ventilatie van de ruimtes gebeurt op een natuurlijke manier door wind of temperatuurs- en drukverschillen tussen de binnen- en buitenlucht. De luchtdoorstroom verloopt langs regelbare roosters in binnenwanden en deuren of langs spleten onder de binnendeuren. Ventilatie type B beschikt over een mechanisch aangedreven toevoer van gefilterde buitenlucht. De toekomende lucht veroorzaakt overdruk en die overdruk brengt de vervuilde lucht naar buiten. De luchtdoorstroom naar buiten verloopt op dezelfde manier zoals bij type A. Ventilatie type C is het omgekeerde van type B. Bij dat type brengt de ventilatie de vervuilde binnenlucht mechanisch naar buiten. Door de mechanische afvoer van de vervuilde binnenlucht ontstaat er een onderdruk in de ruimte. Die onderdruk zuigt verse buitenlucht naar binnen. De doorstroom van lucht naar binnen gebeurt op dezelfde manier zoals bij type A en B. Ventilatie type D is een balansventilatie en een combinatie van type B en C. Zowel de toevoer van de buitenlucht als de afvoer van de binnenlucht is mechanisch gestuurd. Luchtkanalen vervoeren de toekomende lucht over verschillende ruimtes en vervoeren de vervuilde lucht terug naar buiten. Tabel 2-1 geeft een overzicht van de voor- en nadelen van de verschillende ventilatietypes.

**Tabel 2-1 Voor- en nadelen ventilatietypes [2] [3]**

Ventilatie type	Voordelen	Nadelen
Type A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lage kostprijs</li> <li>• Lage onderhoudskost</li> <li>• Geen energieverbruik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beperkte regelbaarheid</li> <li>• Afhankelijk van weersomstandigheden</li> <li>• Warmteverlies door de luchtroosters in muren</li> </ul>
Type B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aanvoer van lucht niet afhankelijk van het weer.</li> <li>• Verhoogde regelbaarheid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filters vervangen</li> <li>• Hoger energieverbruik</li> <li>• Geen controle over de afvoer van vervuilde lucht</li> <li>• Voorverwarming van aangezogen lucht</li> </ul>
Type C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afvoer van lucht niet afhankelijk van het weer.</li> <li>• Verhoogde regelbaarheid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoger energieverbruik</li> <li>• Geen controle over de aanvoer van buitenlucht</li> <li>• Warmte van binnenlucht gaat verloren</li> </ul>
Type D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gefilterde lucht</li> <li>• Vervuiling kan woning moeilijker binnendringen</li> <li>• Hoogste regelbaarheid</li> <li>• Mogelijkheid tot warmterecuperatie.</li> <li>• Geen ventilatieroosters nodig in de buitenmuren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filters vervangen</li> <li>• Hoogste energieverbruik</li> <li>• Grootste installatiekost</li> <li>• Voorverwarming van aangezogen lucht</li> <li>• Bij slecht geïsoleerde woningen of gebouwen met onvoldoende luchtdichtheid heeft de filter niet veel nut.</li> </ul>

Elk type heeft voor- en nadelen en elke situatie is uniek voor het kiezen van een ventilatietype. De overheid legt echter normen op voor de ventilatie van gebouwen met hoge bezetting. Die normen zijn richtlijnen die de overheid sterk aanraadt. Om ze te kunnen halen is het noodzakelijk om over een ventilatietype D te beschikken. Als schoolgebouw is het dus logisch dat Campus Groep T beschikt over een type D ventilatie. Het vervolg van dit onderzoek gaat dus dieper in op ventilatietype D.

## **2.1.2 Mechanische componenten**

Ventilatietype D beschikt over verschillende componenten met elk hun specifieke functie. De onderdelen die hier aan bod komen, zijn de luchtgroepen, de warmtewisselaar, de ventilator en de luchtkanalen.

### **2.1.2.1 Luchtgroepen**

Type D ventilatie beschikt over 2 ventilatoren. Die zijn samen met enkele extra componenten onder te verdelen in 2 groepen: de pulsie- en extractiegroepen [4]. De pulsiegroep (PG) zorgt voor de toevoer van lucht en de extractiegroep voor de afvoer van lucht. Tussen de 2 groepen is het ook mogelijk om een warmtewisselaar te plaatsen. De PG is verantwoordelijk voor de

toevoer van verse buitenlucht tot in de gewenste ruimte. Die groep zuigt verse buitenlucht aan via een ventilator en reinigt, bevochtigt en verwarmt of koelt deze lucht. Inlaatkleppen aan de ingang van de luchtgroep kunnen sluiten om de installatie te beschermen tegen vriestemperaturen. Er zijn filters aanwezig die voor de andere componenten van de PG staan. De filters beschermen de andere componenten van de PG en de mensen in het gebouw tegen vervuiling aanwezig in de buitenlucht. De verwarming van de lucht gebeurt via een warmtewisselaar die samenwerkt met de extractiegroep (EG) of via externe verwarming zoals een elektrische weerstand of warm water. Er kan zich ook een koelingssysteem bevinden in de PG. In sommige gevallen zal er ook een bevochtiger aanwezig zijn. De koeling, verwarming en bevochtiging componenten staan voor de ventilator die de lucht door het kanaalnetwerk naar de gewenste ruimtes pompt.

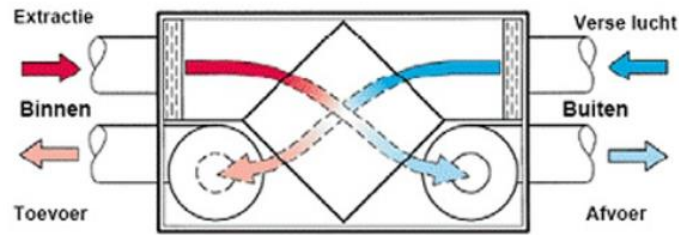
De EG is verantwoordelijk voor de afvoer van vervuilde binnenlucht uit een ruimte naar buiten. Die groep bestaat uit een ventilator die de lucht uit de ruimtes wegzuigt. Soms staat er een filter voor de ventilator om de vervuilde lucht te zuiveren zodat er geen schade aan de ventilator optreedt. Die uitgaande lucht kan een warmtewisselaar passeren om aan warmterecuperatie te doen. Voor die warmterecuperatie werken de EG en PG samen. Nadat de lucht de warmtewisselaar passeert, verlaat ze de extractiegroep via de uitlaatklep. Die uitlaatklep beschermt de extractiegroep tegen vriestemperaturen. De luchtgroepen vormen de basis van de ventilatie en zorgen voor het zuiveren van de binnenlucht. Aangezien het gaat over ventilatietype D komen de PG en EG altijd in duo's voor. Het is wel belangrijk steeds een goed onderscheid te maken tussen PG en EG. Een gebouw kan meerdere luchtgroepen hebben afhankelijk van het nodige debiet.

### **2.1.2.2 Warmtewisselaar**

Zoals reeds vermeld is het aangeraden om een warmtewisselaar te gebruiken tussen de PG en EG. De lucht die de EG afvoert, in de winter, is namelijk warme binnenlucht. De lucht die de PG invoert is in de meeste gevallen koude buitenlucht. Indien er zich geen warmtewisselaar bevindt tussen de PG en EG, veroorzaakt dat energieverlies. Dat energieverlies is afhankelijk van de temperatuur van de buitenlucht, de efficiëntie van de warmtewisselaar en de temperatuur van de afvoerlucht.

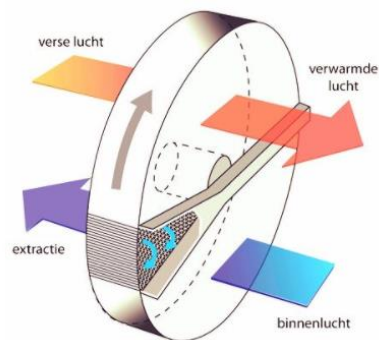
Een warmtewisselaar draagt een deel van de warmte van de uitgaande lucht over aan de inkomende lucht. Hierdoor moet het verwarmingselement van de luchtgroep minder hard werken om de gewenste temperatuur te bekomen en bespaart de luchtgroep energie. In luchtgroepen komen vaak 2 soorten warmtewisselaars voor. De eerste is een gekruiste platenwisselaar, zie Figuur 2-1, waarbij toevoer en afvoer tegengesteld stromen en volledig gescheiden zijn door aluminiumplaten. Die wisselaar heeft een efficiëntie van ongeveer 95% in gematigde klimaten zoals België [5]. Bij een platenwisselaar condenseert het vocht van de warme afvoerlucht tegen de platen [6]. Nadien voert de warmtewisselaar het vocht af. Bij koude buitenlucht, rond de -15 °C, geeft dit problemen [7]. Dan bevriest de condens op de platen waardoor de warmte van de afvoerlucht het ijs moet ontdooien in plaats van de toekomstige lucht te verwarmen. Dat verlaagt de efficiëntie van de platenwisselaar tot ongeveer 0%.





**Figuur 2-1 Platenwisselaar [8]**

Als oplossing voor deze koude klimaten bestaat er de tweede soort warmtewisselaar: een warmtewiel [9]. Zoals te zien is op Figuur 2-2, bestaat het wiel uit kleine aluminium lamellen die door hun hoge warmtegeleidingscoëfficiënt en lage soortelijke warmtecapaciteit warmte kunnen opnemen en afgeven met een efficiëntie van 80%. De lamellen draaien rond waardoor die afwisselend opwarmen en afkoelen. Ze warmen op door de warme uitgaande lucht en dragen die warmte over aan de inkomende koude lucht. De ingaande en afgevoerde lucht mengen met elkaar omdat deze niet helemaal gescheiden zijn. Het voordeel van die wisselaar is, dat door de inkomende en uitgaande lucht te mengen de luchtvochtigheid constant blijft. Dat zorgt ervoor dat er geen afvoer nodig is van condensatie en er dus ook geen ijs kan ontstaan in de wisselaar. Er is ook geen extra bevochtiging meer nodig in koude wintermaanden.

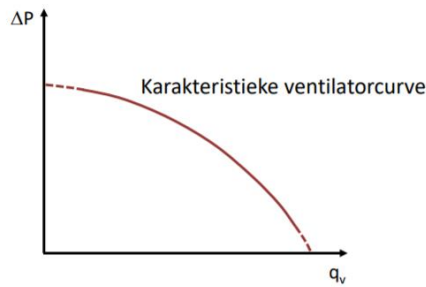


**Figuur 2-2 Warmtewiel [9]**

Een warmtewisselaar is een extra kost, maar over de levensduur van de installatie verdient die kost zich terug. Een warmtewisselaar is nodig voor de recuperatie van warmte en verhoogt zo de algemene efficiëntie van een gebouw. Men kan dus stellen dat het een noodzakelijke component is voor een ventilatietype D.

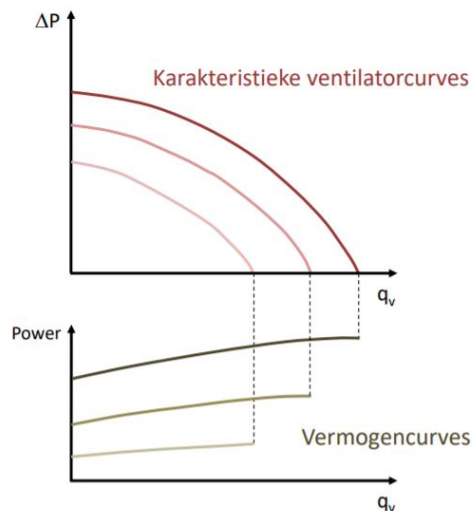
### **2.1.2.3 Ventilatorcurve**

Het belang van ventilatoren werd reeds duidelijk bij de uitleg over luchtgroepen en ventilatietypen. Zo maakt type D gebruik van minstens 2 ventilatoren. Een voor de luchtaanvoer, de pulsieventilator, en de andere voor de luchtafvoer, de extractieventilator. Die creëren een drukverschil en dat zorgt ervoor dat de lucht zich verplaatst met een bepaald debiet. Het gecreëerde debiet en drukverschil zijn afhankelijk van elkaar. Hun verband hangt af van de soort ventilator en de draaisnelheid ervan. De karakteristieke ventilatorcurve geeft de relatie weer tussen het drukverschil en het debiet. Figuur 2-3 toont hoe de curve eruitziet. De druk over de ventilator is maximaal als het debiet erdoor ongeveer 0 m<sup>3</sup>/h is. Als het debiet stijgt dan daalt de druk over de ventilator tot het punt waar de druk ongeveer 0 Pa is en het debiet maximaal is.



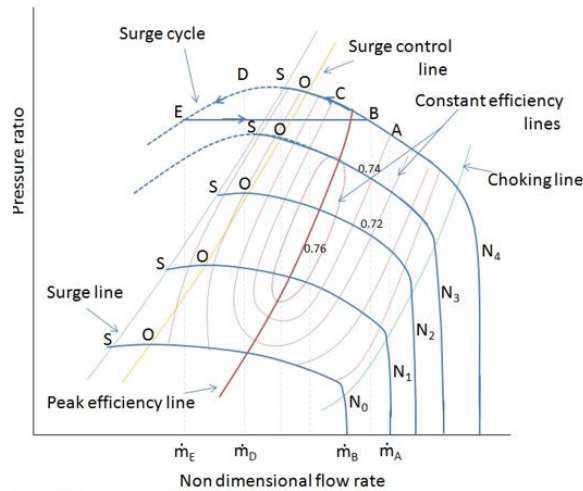
**Figuur 2-3 Ventilator curve [10]**

Figuur 2-4 toont aan dat door een daling in de draaisnelheid van de ventilator de curve ook daalt. De maximale drukval en het maximale debiet dalen dus bij een lagere draaisnelheid. Aangezien het drukverschil en het debiet afnemen, daalt ook het vermogen van de ventilator zoals te zien is op het onderste deel van Figuur 2-4. Er is ook te zien dat als gevolg van een stijgend debiet het benodigde vermogen voor de ventilator stijgt. Het geleverde vermogen van de ventilator aan de lucht is gelijk aan het product van de drukval over de ventilator met het luchtdebiet erdoor. Aan de 2 uitersten van de curve is het vermogen dat de ventilator aan de lucht geeft, 0 W. Het nodige vermogen voor de ventilator is echter verschillend van 0 W en dus is het rendement van de ventilator slecht aan de uitersten. Het is dus aangeraden om een ventilator niet te laten werken rond de uitersten.



**Figuur 2-4 Koppeling ventilatorcurve en ventilator snelheid [10]**

Zoals eerder aangehaald is de werking rond de uitersten van de ventilatorcurve niet efficiënt. Figuur 2-5 laat de limieten van die curve zien. Te hoge debieten kunnen ervoor zorgen dat de snelheden in een ventilator te hard stijgen. De snelheid kan maximaal tot de geluidssnelheid stijgen. Vanaf dan blijft het debiet vrijwel constant. Ook te hoge drukken hebben een negatief effect op de werking van de ventilatie. Het debiet en bijgevolg de snelheid van de lucht zijn zo laag dat de ventilator niet voldoende energie kan overdragen naar de lucht [11]. Zo ontstaat er een omgekeerde stromingsrichting die gevaarlijk is voor de ventilator. De laatst genoemde heeft een surge control ingebouwd. Als het debiet te laag is zorgt de surge control ervoor dat er een ventiel opengaat dat uitgaande lucht terugstuurt naar de inlaat om een hoger debiet te krijgen. Zo wordt het debiet door de luchtgroep niet gevaarlijk laag.



**Figuur 2-5 Limieten ventilatorcurve [12]**

De ventilatorcurve is belangrijk voor het ontwerp van de installatie. Zo kan men bepalen hoeveel debiet het systeem krijgt en hoeveel energie de ventilator verbruikt in een bepaald werkingpunt. Met een frequentieregelaar kan de ventilator steeds werken op het gewenste werkingpunt. Bovendien kan die frequentieregelaar gevaarlijke situaties zoals een te hoge druk of debiet vermijden.

#### **2.1.2.4 Luchtkanaalcurve**

Naast luchtgroepen en warmtewisselaars maakt ventilatietype D ook gebruik van kanalen waardoor lucht kan stromen. In de kanalen ontstaat er wrijving tussen de luchtdeeltjes zelf en tussen de lucht en de wanden van de luchtkanalen. De wrijving zorgt voor een drukval over de kanalen waardoor de efficiëntie van het systeem daalt. De lucht moet de drukval overwinnen vooraleer er een debiet kan ontstaan. Er bestaan 2 soorten drukvallen die kunnen ontstaan in een kanaal [13]. De eerste soort ontstaat over de lengte van een kanaal. De volgende formule bepaalt die drukval:

$$\Delta p = \frac{l}{d} \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (2-1)$$

waarbij  $\Delta p$ : de drukval over het luchtkanaal

$v$ : de snelheid van de lucht

$l$ : de lengte van het kanaal

$d$ : de hydraulische diameter van het kanaal

$\lambda$ : de wrijvingscoëfficiënt van Darcy

$\rho$ : de massadichtheid van lucht

De drukval hangt af van al bovenstaande factoren. Die bepaalt men dus eerst. De onderstaande formule bepaalt de hydraulische diameter van het kanaal.

$$d = \frac{4A_c}{o} \quad (2-2)$$

waarbij

$A_c$ : de oppervlakte van de doorsnede van het kanaal loodrecht op de stroomrichting

$O$ : de omtrek van de doorsnede van het kanaal loodrecht op de stroomrichting

De wrijvingscoëfficiënt is afhankelijk van het stromingstype van de lucht. Dat is laminair of turbulent afhankelijk van het Reynoldsgetal (Re). Als  $Re < 2200$  dan is de stroming laminair en als  $Re > 3200$  is de stroming turbulent in een kanaal. Ertussen bevindt de stroming zich in overgangsfase van laminair naar turbulent. De volgende formule bepaalt het Reynoldsgetal [14]:

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (2-3)$$

waarbij  $Re$ : het Reynoldsgetal

$\nu$ : de kinematische viscositeit van lucht

Als er zich een laminaire stroming voordoet in het kanaal bepaalt de volgende formule de wrijvingscoëfficiënt [14]:

$$\lambda = \frac{Re}{64} \quad (2-4)$$

Als er zich een turbulente stroming voordoet in het kanaal bepaalt de volgende formule de wrijvingscoëfficiënt [14]:

$$\lambda = \frac{0,25}{\left(\log\left(\frac{\varepsilon/d}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)\right)^2} \quad (2-5)$$

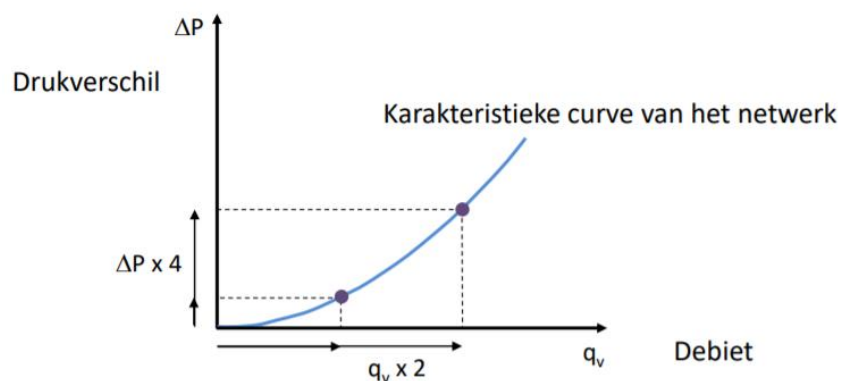
waarbij  $\varepsilon$ : de inwendige ruwheid van het kanaal

De tweede soort is de drukval over een bepaalde component van het kanaal zoals een T-splitsing, een ventiel of een bocht. De volgende formule bepaalt die drukval [14]:

$$\Delta p = K \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (2-6)$$

waarbij  $K$ : de plaatselijke drukverliescoëfficiënt over een element

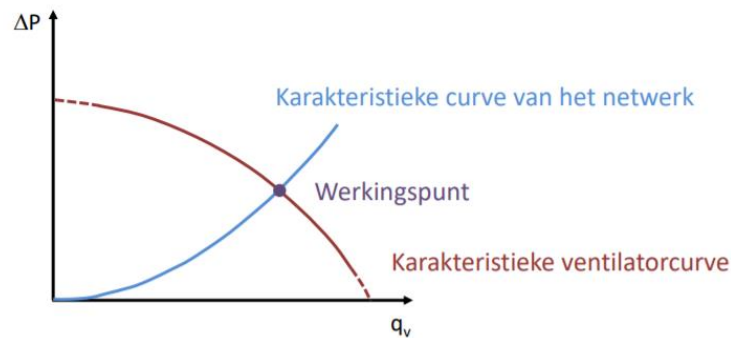
Uit de formules valt de rechtevenredige relatie van de drukval met het kwadraat van de snelheid van de lucht af te leiden. Die snelheid is rechtevenredig met het debiet van de lucht. Bijgevolg is de drukval rechtevenredig met het kwadraat van het debiet. Dit is ook te zien op Figuur 2-6.



**Figuur 2-6 Kanaalcurve [10]**

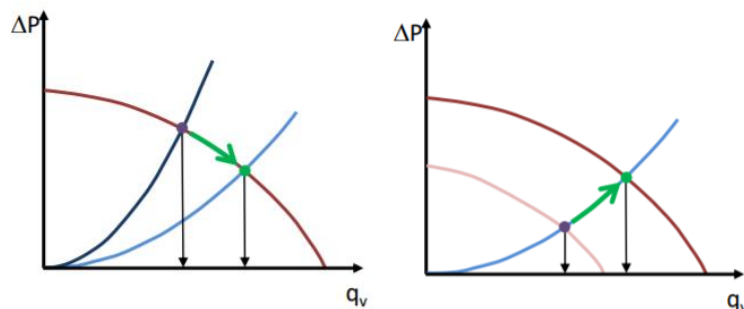
Hoe groter het debiet doorheen de kanalen, hoe groter de drukval over het kanaal en dus hoe meer drukval de ventilator moet overwinnen. De ventilatorcurve en de kanaalcurve kunnen samen op een grafiek staan. Op Figuur 2-7 is die samengestelde grafiek te zien en bepaalt

die het werkingpunt van de installatie. Het werkingpunt is het snijpunt van de ventilator- en de kanaalcurve. Dat punt geeft het debiet en de drukval weer bij werking.



**Figuur 2-7 Bepaling werkingpunt [10]**

Het debiet doorheen de kanalen is afhankelijk van zowel de weerstand door de kanalen als de snelheid van de ventilator. Er zijn dus 2 manieren om het werkingpunt te verplaatsen. De eerste manier is de curve van het kanaalnetwerk te wijzigen. Dit is mogelijk door ventielen in de kanalen te veranderen of door het vernieuwen van het kanaalnetwerk. Door die vernieuwingen daalt de weerstand. Dit is te zien op de linkse grafiek van Figuur 2-8. De tweede manier is de ventilatorcurve wijzigen. Dit gebeurt door de snelheid van de ventilator aan te passen. Een inductiemotor drijft de ventilator aan en dus is het aanpassen van de snelheid mogelijk met een motordrive zoals een frequentiesturing. Dit is te zien op de rechtse grafiek van Figuur 2-8.



**Figuur 2-8 Verandering werkingpunt optie 1 en 2 [10]**

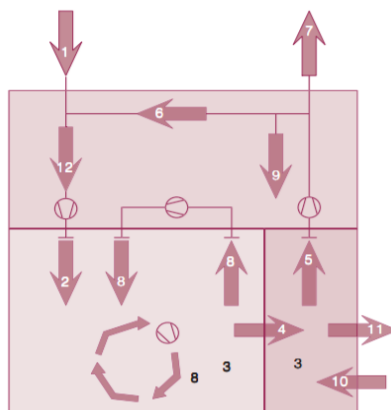
Het werkingpunt bepalen en kunnen verschuiven is belangrijk om het ventilatiesysteem te ontwerpen. De mogelijkheid om het werkingpunt op ieder moment te verschuiven maakt de ventilatie flexibel. Hierdoor is het debiet aanpasbaar aan de noden van het gebouw. Bij een hoge bezetting van het gebouw kan de frequentieregelaar het debiet verhogen om aan de ventilatienormen te voldoen.

## 2.2 Normen en wetgeving ventilatie

Naast de 4 types en de mechanische componenten zijn ook normen en de wetgeving van de ventilatie belangrijk. Voor die normen is er een onderverdeling tussen ventilatiesystemen voor residentiële en niet-residentiële gebouwen. Aangezien deze masterproef een schoolgebouw analyseert, gaat het dus over een niet-residentiële gebouw. In 2004 gaf het Belgisch Instituut voor Normalisatie (BIN) de NBN EN 13779-norm uit, die het Europees Comité voor Normalisatie (CEN) had opgesteld [15]. Die norm is van toepassing op het ontwerp van ventilatie-, luchtbehandelings- en kamerbehandelings-systemen met betrekking op niet-residentiële gebouwen met een menselijke bezetting zoals scholen, sportzalen en

kantoorgebouwen. De norm garandeert een aangenaam binnenklimaat voor alle 4 seizoenen. NBN EN 13779 is geen norm met betrekking tot de constructie van een ventilatiesysteem. De norm bespreekt onder meer de classificaties van de verschillende luchttypes aanwezig in de ventilatie, manieren om het benodigde luchtdebiet in een ruimte te bepalen en hoe een geschikte ventilator kan gekozen worden voor dit luchtdebiet.

De besproken norm verdeelt de lucht in een ventilatiesysteem op in luchttypes om de bespreking van de ventilatie te verduidelijken. Een ventilatiesysteem heeft 12 verschillende luchttypes. Figuur 2-9 is een schematische voorstelling van die luchttypes en Tabel 2-2 geeft de definitie van deze luchttypes weer. Aan de hand van deze types is het steeds duidelijk over welke soort lucht het verder in de masterproef gaat.



**Figuur 2-9 verschillende luchttypes [15]**

**Tabel 2-2 Legende verschillende luchttypes [15]**

LUCHTTYPE	DEFINITIE
1. Buitenlucht	Lucht die in het systeem of door openingen van buiten binnenkomt, vóór enige luchtbehandeling.
2. Toevoerlucht	Lucht die in de te behandelen ruimte binnenkomt of die in het systeem binnenkomt na een behandeling.
3. Binnenlucht	Lucht in de te behandelen ruimte of zone.
4. Doorstroamlucht	Binnenlucht die van de ene te behandelen ruimte naar de andere stroomt.
5. Afvoerlucht	Lucht die de te behandelen ruimte verlaat.
6. Herbruikte lucht	Afvoerlucht die naar een luchtbehandelingssysteem (bv. een convector) wordt teruggevoerd.
7. Afgevoerde lucht	Lucht die in de atmosfeer wordt geloosd.
8. Secundaire lucht	Lucht die aan een bepaalde ruimte onttrokken wordt en na een behandeling (bv. reeks ventilatoren) naar dezelfde ruimte wordt teruggevoerd.
9. Leklucht	Ongewenste luchtstroom doorheen lekpunten in het systeem.
10. Infiltratie	Leklucht die het gebouw binnenkomt via lekpunten in de structuur-elementen die het gebouw van de buitenlucht scheiden.
11. Exfiltratie	Leklucht die het gebouw verlaat via lekpunten in de structuur-elementen die het gebouw van de buitenlucht scheiden.
12. Menglucht	Lucht die twee of meer luchtstromen bevat.

Meerdere van die luchttypes zijn extra onder te verdelen in verschillende klassen om op basis van die classificatie de gepaste debieten te bepalen voor gekozen ruimtes. Het eerste luchttype dat valt onder te verdelen is de afvoerlucht. De onderverdeling heeft betrekking op de vervuiling van de uitgaande lucht. Voordat de lucht naar buiten kan, is het mogelijk dat die nog een behandeling moet krijgen. Dit is afhankelijk van de klasse waartoe de lucht behoort.



Op basis hiervan kan men beslissen om ook een filter te plaatsen in de EG om de afgevoerde lucht te zuiveren. Tabel 2-3 geeft een overzicht van de 4 klassen met voorbeelden vanuit welke ruimtes de afvoerlucht die bij een bepaalde klasse hoort afkomstig is. ETA 1 is een klasse voor hercirculatie of doorstroomlucht naar andere ruimtes. ETA 2 is enkel nog goed voor doorstroomlucht. ETA 3 en ETA 4 zijn niet bestemd voor hergebruik of doorstroom.

**Tabel 2-3 Classificatie van de afvoerlucht [15]**

Klasse	Omschrijving	Voorbeelden
ETA 1	Lage vervuilingsgraad	Klaslokalen, kantoren, trappen, gangen, openbare ruimtes,...
ETA 2	Matige vervuilingsgraad	Eetkamers, winkels, opslagruimten van kantoorgebouwen, hotelkamers en vestiaires
ETA 3	Hoge vervuilingsgraad	Toiletten en lavabo's, sauna's, keukens, bepaalde chemische laboratoria, fotokopieerzalen en rokerssalons
ETA 4	Zeer hoge vervuilingsgraad	Professionele dampkappen, tunnels voor wegverkeer, garages, wagenparken, ...

Een ventilatiesysteem zuigt buitenlucht aan. Het is dus zoals bij afvoerlucht nodig om de vervuiling van de buitenlucht na te gaan en in te delen in 5 klassen. De klasse kan een maatstaf zijn om te controleren of er extra filters nodig zijn of dat er een verplaatsing van een toevoeropening naar een andere plek moet gebeuren. Er bestaan echter geen universele richtlijnen voor de vervuiling van de buitenlucht te meten, waardoor de classificatie voor interpretatie vatbaar is. Tabel 2-4 geeft de onderverdeling van de verschillende klassen weer, gaande van ODA 1 (zeer zuiver) tot ODA 5 (zeer vervuild).

**Tabel 2-4 Classificatie van de toevoerlucht [15]**

KLASSE	OMSCHRIJVING
ODA 1	Zuivere lucht die slechts tijdelijk mag worden verontreinigd (bijvoorbeeld door pollen).
ODA 2	Buitenlucht met een hoog stofgehalte.
ODA 3	Buitenlucht met een hoge concentratie verontreinigende gassen.
ODA 4	Buitenlucht met een hoog stofgehalte en een hoge concentratie verontreinigende gassen.
ODA 5	Buitenlucht met een zeer hoog stofgehalte en een zeer hoge concentratie verontreinigende gassen.

De PG oefent behandelingen uit op de buitenlucht uit en zo is er sprake van toevoerlucht. Die is belangrijk aangezien de mensen aanwezig in de ruimte de toevoerlucht inademen en dus bestaat er hier ook een extra onderverdeling voor. Die houdt rekening met het feit of er hercirculatie is van afvoerlucht. SUP 1 betekent dat de ventilatie alleen buitenlucht gebruikt als

toevoer en SUP 2 betekent dat er een deel van de afvoerlucht aan hercirculatie doet. Daarnaast heeft ook de binnenlucht 4 mogelijke klassen. Die bepalen hoe hard de ventilatie moet werken om tot een bepaalde luchtkwaliteit te komen. Tabel 2-5 geeft de 4 klassen weer, gaande van IDA 1 (uitstekend) tot IDA 4 (laag).

**Tabel 2-5 Classificatie van de binnenlucht [15]**

KLASSE	OMSCHRIJVING
IDA 1	Uitstekende luchtkwaliteit
IDA 2	Matige luchtkwaliteit
IDA 3	Aanvaardbare luchtkwaliteit
IDA 4	Lage luchtkwaliteit

Nu de luchttypes en hun classificaties duidelijk zijn kunnen die helpen bij het bepalen van de benodigde luchtdebieten voor een ruimte. Er bestaan 4 methoden om die luchtdebieten te bepalen. De luchtdebieten hangen voor elke methode ook af van de gewenste IDA-klasse. De eerste methode bepaalt het benodigde luchtdebiet aan de hand van een CO<sub>2</sub>-gehalte van een lokaal. Die methode werkt enkel als de CO<sub>2</sub> alleen afkomstig is van de uitgedemde lucht van de aanwezige mensen. Tabel 2-6 laat zien wat de typische CO<sub>2</sub>-gehalten zijn per IDA-klasse. De ventilatie moet er voor zorgen dat de CO<sub>2</sub>-waarde de limiet van de gekozen IDA-klasse niet overschrijdt.

**Tabel 2-6 CO<sub>2</sub> gehalte per IDA-klasse [15]**

KLASSE	CO <sub>2</sub> -PEIL BOVEN HET CO <sub>2</sub> -PEIL VAN DE TOEVOERLUCHT (ppm) (1) (2)	
	TYPISCHE WAARDEN	STANDAARDWAARDE
IDA 1	≤ 400	350
IDA 2	400 - 600	500
IDA 3	600 - 1000	800
IDA 4	> 1000	1200

De tweede methode werkt op basis van de gewaarwording van de luchtkwaliteit. Tabel 2-7 geeft die gewaarwording weer uitgedrukt in decipol (DP). DP is de eenheid voor de waargenomen luchtkwaliteit in een ruimte. DP is de verhouding tussen het aantal vervuilingbronnen en de hoeveelheid afgezogen lucht. Voor luchtkwaliteit gelijk aan 1 DP komt dit neer op de verhouding van de vervuiling die een volwassen persoon uitstoot bij kantoorwerk bij normale temperaturen op een hoeveelheid afgezogen lucht van 10 l/s. Dus aan de hand van het aantal aanwezigen in een ruimte en de voorgeschreven DP-waarde kan het benodigd luchtdebiet bepaald worden.



**Tabel 2-7 Gewaarwording van de luchtkwaliteit [15]**

KLASSE	GEWAARWORDING VAN DE LUCHTKWALITEIT IN DECIPOL (')	
	TYPISCHE WAARDEN	STANDAARDWAARDE
IDA 1	≤ 1	0,8
IDA 2	1,0 - 1,4	1,2
IDA 3	1,4 - 2,5	2,0
IDA 4	> 2,5	3,0

De derde methode komt deels overeen met tweede methode, maar is praktischer om toe te passen. Die werkwijze geeft namelijk meteen het debiet dat nodig is per persoon die aanwezig is in de ruimte. De methode werkt goed voor ruimtes met menselijke bezetting en gaat ervan uit dat elke persoon normaal kantoorwerk verricht. Tabel 2-8 geeft weer wat deze debieten zijn per IDA-klasse. Er is ook nog een extra onderverdeling indien de ruimte bestemd is voor roken.

**Tabel 2-8 Ventilatie-debiet gelinkt aan het aantal mensen [15]**

KLASSE	VENTILATIEVOUD MET BUITENLUCHT PER PERSOON (m³/h)			
	NIET-ROKERSZONE		ROKERSZONE	
	Typische waarden	Standaardwaarde	Typische waarden	Standaardwaarde
IDA 1	> 54	72	> 108	144
IDA 2	36 - 54	45	72 - 108	90
IDA 3	22 - 36	29	43 - 72	58
IDA 4	< 22	18	< 43	36

De laatste methode bepaalt indirect het debiet voor een lokaal, maar dan in functie van de oppervlakte van de ruimte. Die methode werkt praktischer voor lokalen met weinig menselijke bezetting zoals opslagplaatsen. Tabel 2-9 geeft de waardes weer voor de 4 IDA-klassen.

**Tabel 2-9 Debiet per eenheid van oppervlakte [15]**

KLASSE	VENTILATIEVOUD MET BUITENLUCHT PER VLOEROPPERVLAKTE (m³/h.m²)	
	TYPISCHE WAARDEN	STANDAARDWAARDE
IDA 1	Deze methode is ontoereikend voor IDA 1	
IDA 2	> 2,5	3
IDA 3	1,3 - 2,5	2
IDA 4	< 1,3	1

De 4 voorgaande methodes helpen om de luchtdebieten te bepalen. Deze zeggen echter niets over de manier waarop de ventilatie het binnenklimaat regelt. Hiervoor is er nog een extra onderverdeling. Die onderverdeling geeft de regeling van de ventilatie aan. Dit kan gaan van permanente werking dus geen controle (IDA-C1) tot directe controle met sensoren (IDA-C6).

Tabel 2-10 geeft een overzicht van de 6 mogelijke controlesystemen.

**Tabel 2-10 Classificatie van controlesystemen [15]**

KLASSE	OMSCHRIJVING
IDA-C1	Geen controle : het systeem werkt permanent.
IDA-C2	Manuele controle : het systeem wordt gestuurd door een manuele schakelaar.
IDA-C3	Temporisatie : het systeem werkt volgens een gegeven temporisatiesysteem.
IDA-C4	Controle volgens de bezetting : het systeem werkt naargelang van de aanwezigheid (lichtschakelaar, infrarooddetector, ...).
IDA-C5	Controle volgens de aanwezigheid (aantal personen) : het systeem functioneert, rekening houdend met het aantal personen in de ruimte.
IDA-C6	Directe controle : het systeem wordt gestuurd door sensoren die de parameters van de binnenlucht of andere geschikte criteria (CO <sub>2</sub> -peil, gemengde gassen, VOC, ...) meten. De gebruikte parameters moeten aangepast zijn aan het type activiteit dat in de ruimte uitgeoefend wordt.

De volgende stap om de ventilatiedebieten aan de normen te laten voldoen is een geschikte ventilator kiezen voor de installatie. De keuze van de ventilator hangt af van het soortelijk vermogen van de ventilator. De volgende formule berekent dit vermogen :

$$P_{SFP} = \frac{P}{q_v} \quad (2-7)$$

waarbij P<sub>SFP</sub>: het soortelijk vermogen van een ventilator

P: het opgenomen elektrische vermogen door de ventilator

q<sub>v</sub>: het nominaal debiet door de ventilator

Tabel 2-11 geeft de klassen weer van de verschillende soortelijke vermogens. Hoe lager het soortelijk vermogen P<sub>SFP</sub> , hoe meer debiet de ventilator voorziet voor hetzelfde elektrische vermogen. Het is dus aangeraden om ventilatoren te kiezen met een laag soortelijk vermogen.

**Tabel 2-11 Classificatie van soortelijk vermogen ventilator [15]**

KLASSE	P <sub>SFP</sub> (in W/m <sup>3</sup> .s)
SFP 1	< 500
SFP 2	500 - 750
SFP 3	750 - 1250
SFP 4	1250 - 2000
SFP 5	> 2000

De classificatie van de luchttypes, de 4 methodes om het luchtdebiet te bepalen en de keuze van de ventilator maken, zijn de 3 stappen die ervoor zorgen dat de ventilatiedebieten voldoen aan de gewenste normen. Daardoor zijn de lokalen voorzien van voldoende luchtdebiet zodat iedereen op een veilige en gezonde manier kan werken.

## 2.3 Ventilatie en Covid-19

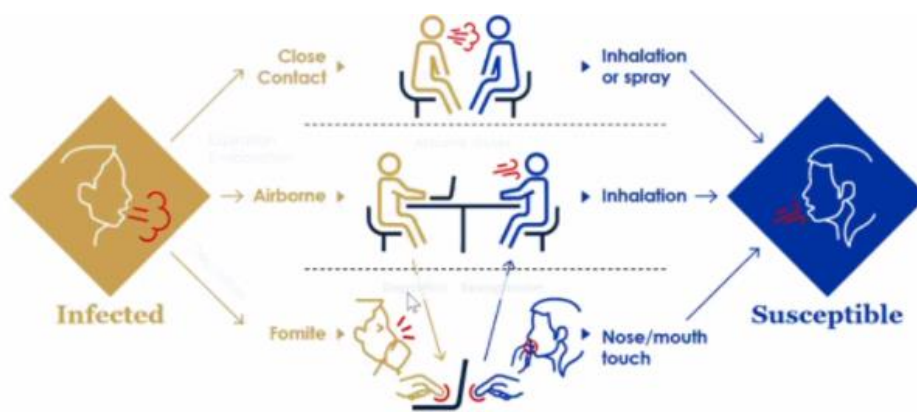
Sinds de uitbraak van Covid-19 is het duidelijk dat gebouwen er niet op voorzien zijn om de verspreidingen van virussen tegen te gaan. Dit is een nieuwe uitdaging waarvoor ingenieurs in de ventilatiesector en de fluïdummechanica oplossingen zoeken. Ze stellen mogelijke optimalisaties aan gebouwen voor. De Purdue universiteit in West Lafayette, Indiana gaf over dat onderwerp een webinar met enkele ingenieurs, wetenschappers en de directeur van de JCI's Building Infection Control WG technical team die allemaal oplossingen zoeken om de verspreiding van Covid-19 tegen te gaan [16]. Tijdens dat webinar kwamen onderwerpen naar voren die betrekking hebben op de ventilatie. Ten eerste hoe het virus zich verspreidt, daarna welke mechanische aanpassingen aan de ventilatie mogelijk zijn en als laatste welke extra toevoegingen een oplossing kunnen bieden om de verspreiding van het virus te beperken.

### 2.3.1 Verspreiding van een virus

Eerst komt aan bod wat er allemaal geweten is over de verspreiding van Covid-19. Er zijn 3 manieren waarop de transmissie van het virus kan plaatsvinden, zie Figuur 2-10.

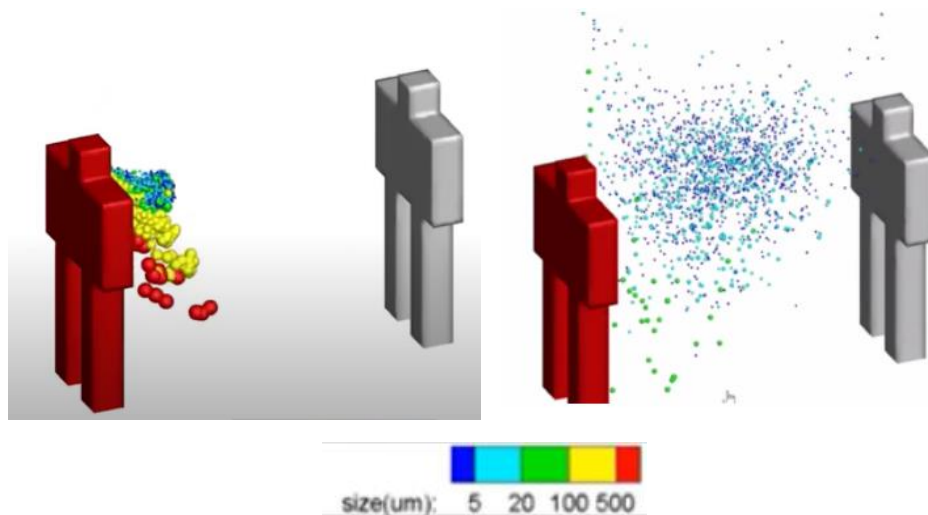
De eerste mogelijkheid is door direct contact van 2 personen. Het dragen van mondmaskers en de 1,5 m afstand regel verlaagt de verspreidingskans aanzienlijk. De tweede mogelijkheid is verspreiding door personen die besmette oppervlakten en nadien hun gezicht aanraken waardoor de virusdeeltjes in het lichaam geraken. Het dragen van mondmaskers en goede ontsmetting van handen en oppervlakten verlaagt de kans op die vorm van verspreiding. De ventilatie heeft geen invloed op die 2 gevallen en dus valt dat buiten het bestek van deze masterproef.

De laatste mogelijkheid is verspreiding via de lucht waarbij 2 personen in dezelfde ruimte zitten, maar ver van elkaar. De geïnfecteerde persoon brengt zoals alle personen aerosolen (mengsel van vloeistofdruppeltjes) in de lucht door uit te ademen. In die aerosolen zitten virusdeeltjes die een gezonde persoon kan inademen en zo ook geïnfecteerd kan raken. Het goed afstellen van de ventilatie vermijdt dit probleem. De ventilatie zuigt de virusdeeltjes op voordat ze andere personen kunnen besmetten. Het aantal luchtcirculaties in een ruimte over een bepaalde tijd is dus een belangrijke factor om die manier van verspreiding tegen te gaan.



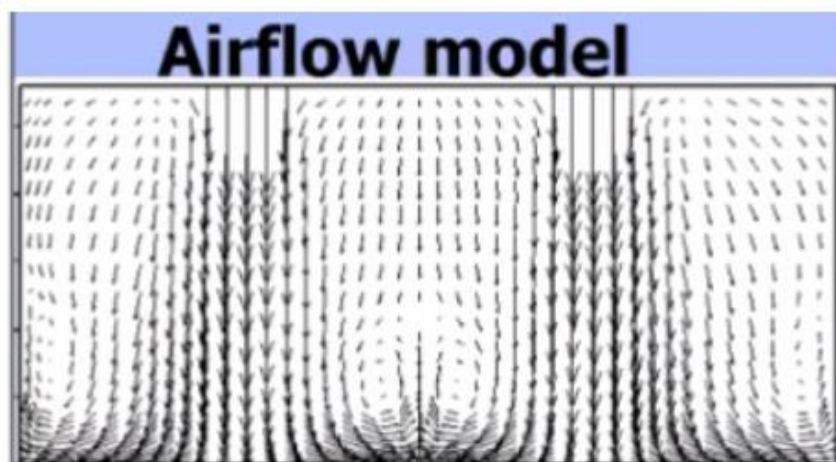
Figuur 2-10 Mogelijkheden om virussen te verspreiding [17]

Dr. Qingyan “Yan” Chen ontwikkelde een CFD simulatie, te zien op Figuur 2-11, die de aerosolen weergeeft van een persoon die hoest zonder mondmasker. Met deze simulatie toont hij de verspreiding van de aerosolen op basis van hun grootte aan.



**Figuur 2-11 CFD verspreiding van aerosolen bij hoesten [18]**

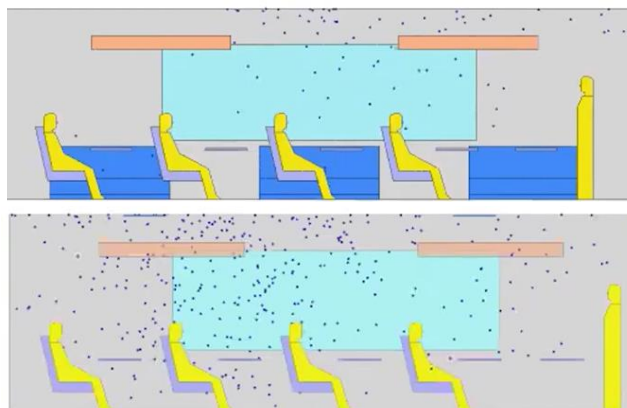
Links op Figuur 2-11 is zichtbaar dat tijdens het hoesten de zware/grote aerosolen snel dalen en blijven plakken op oppervlakten. Die aerosolen verspreiden zich dus niet verder via de lucht. De aerosolen vanaf 20  $\mu\text{m}$  en kleiner blijven wel hangen in de lucht en verspreiden verder dan 2 meter en zijn dus een gevaar voor andere mensen. Men is niet zeker vanaf welke grootte de deeltjes mensen kunnen infecteren. Men gaat van het ergste uit en dus is er noodzaak om ook de deeltjes kleiner dan 5  $\mu\text{m}$  uit de lucht te filteren. Aangezien uitgedemde lucht warmer is dan kamertemperatuur stijgen de aerosolen afhankelijk van de grootte naar boven. Dit is positief want de afzuiging van de ventilatie is bovenaan de ruimte. Het nadeel is dat de luchttoevoer zich ook bovenaan de ruimte bevindt en die blaast de lucht naar beneden. Figuur 2-12 laat zien dat de warme uitgedemde lucht naar boven stijgt, maar door de luchttoevoer terug naar beneden komt. Dit zorgt voor een turbulente stroming en hierdoor verspreiden de virusdeeltjes doorheen de ruimte. De vervuilde lucht daalt recht op de personen in de ruimte en hierdoor ademen die personen meer aerosolen in, wat de kans op besmetting verhoogt.



**Figuur 2-12 Airflow model van een gesloten ruimte met ventilatie aan het plafond [19]**

Volgens Dr. Qingyan “Yan” Chen is het dus beter om gebruik te maken van verdringingsventilatie [20]. Dat is een soort ventilatie waarbij de toevoerroosters zich ter hoogte van de vloer bevinden en de afvoerroosters ter hoogte van het plafond. Dit soort ventilatie heeft dus een luchtstroom die van onder naar boven gericht is, waardoor de ventilatie de

virusdeeltjes niet naar beneden blaast. Dr. Qingyan “Yan” Chen heeft om de invloed van de verdringingsventilatie weer te geven, 2 CFD-modellen gemaakt van een klaslokaal zoals te zien is op Figuur 2-13. Op het bovenste deel is een klaslokaal met verdringingsventilatie te zien waarbij de blauwe punten de aerosolen van de leerlingen zijn. De onderste foto toont het eindresultaat van datzelfde lokaal maar met een traditioneel type D ventilatiesysteem. Uit de modellen bleek dat de verdringingsventilatie de hoeveelheid aerosolen met 70% verlaagt.



**Figuur 2-13 CFD van verdringing en traditionele ventilatie [18]**

De verspreiding van virussen in de lucht via aerosolen toont het belang van de ventilatie aan om de overdraging van Covid-19 in te perken. Toekomstige ventilatiesystemen moeten hierop voorzien zijn. Men moet in de ontwerpfase aanpassingen aanbrengen om virusverspreiding te beperken.

### 2.3.2 Mechanische aanpassingen aan ventilatiesystemen

Nu de manieren van verspreiding in kaart zijn gebracht, kan de focus verschuiven naar aanpassingen aan de ventilatie die de overdraging van het virus beperken. In sectie 2.3.1 was verdringingsventilatie al besproken. Die manier van ventileren heeft voordelen ten opzichte van een traditioneel type D ventilatiesysteem. Dit concept is handig voor toekomstige gebouwen. Vanaf de ontwerpfase neemt men dan in acht dat de ventilatieroosters van de pulsie ter hoogte van de vloer komen. Voor bestaande gebouwen is die aanpassing niet realistisch omdat men dan alle schachten en roosters moet verplaatsen.

In dit deel gaat het over de mechanische aanpassingen die mogelijk zijn zonder ingrijpende verbouwingen uit te voeren om de verspreiding van Covid-19 tegen te gaan. De eerste aanpassing die bevorderend werkt, is de filters van het ventilatiesysteem verbeteren. Figuur 2-14 toont het effect van de Minimum Efficiency Reporting Value filters (MERV). Die filters hebben klassen en hoe hoger de klasse hoe hoger de filter efficiëntie is. De MERV-13-filter kan bijvoorbeeld 90% van de deeltjes met een grootte van 3µm uit de lucht halen. Dat zijn de deeltjes die door hun beperkt gewicht meer dan 2 meter kunnen verspreiden.

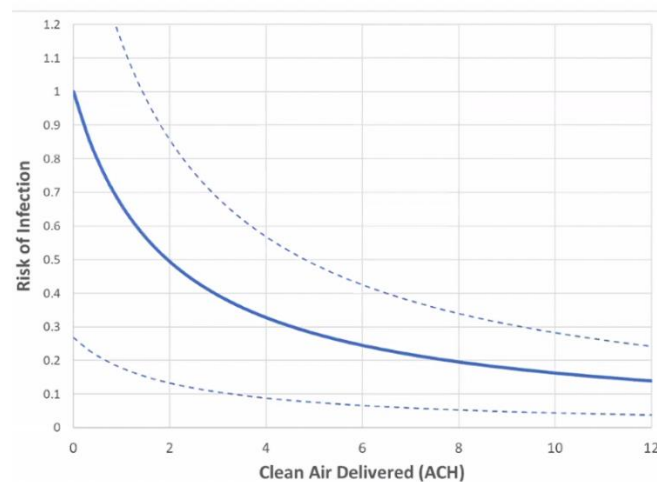
	MERV 6	MERV 8	MERV 13
1 (0.3-1µm)	N/A	N/A	≥ 50%
2 (1-3 µm)	N/A	≥ 20%	≥ 85%
3 (3-10 µm)	≥ 35%	≥ 70%	≥ 90%

**Figuur 2-14 Verschillende filters [21]**



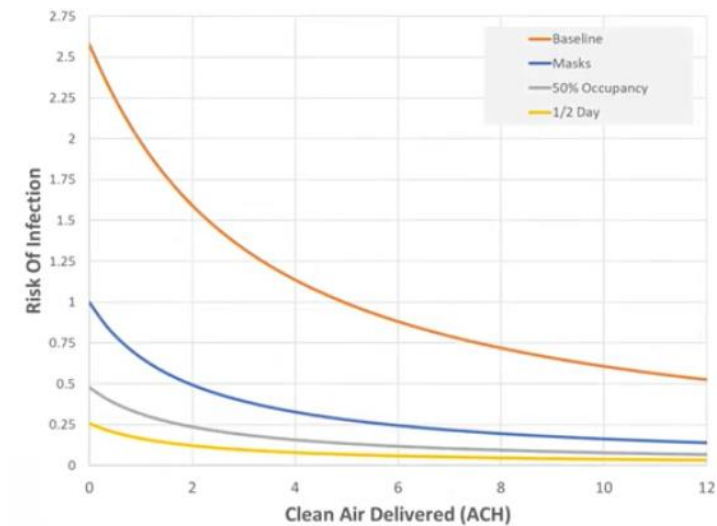
Die aanpassing is handig indien het gebouw beschikt over recirculatie. De luchtgroepen filteren dan de herbruikte lucht en blazen die terug in de ruimtes. Voor ventilatie zonder recirculatie zijn filters ook van belang, maar men veronderstelt dat virussen niet vrij rondzweven in de buitenlucht. De filters verbeteren heeft wel een negatieve invloed op de ventilatie. De MERV 13 haalt meer deeltjes uit de lucht en dus moet de lucht meer moeite doen om voorbij de filter te geraken. Hierdoor is er een grotere drukval over de filter. Dit zorgt bijgevolg voor een lager debiet en minder gefilterde lucht per uur voor elk lokaal.

Een tweede aanpassing is de debieten verhogen. Dit kan op 3 manieren. De eerste manier is het kanaal verbeteren waardoor de luchtkanaalweerstand daalt. Dit is een dure aanpassing aangezien men de muren of plafonds moet uitbreken om tot de kanalen te geraken. De tweede optie is de snelheid van de ventilator verhogen waardoor de curve stijgt en dus het debiet verhoogt. Dat verbruikt meer energie en op Figuur 2-8 is ook te zien dat de weerstand van de kanalen kwadratisch stijgen ten opzichte van het toenemend debiet. De snelheid van de ventilator opdrijven heeft dus een limiet. De laatste optie is om een nieuwe ventilator te plaatsen die standaard een hogere ventilatorcurve heeft.



**Figuur 2-15 De kans op infectie in functie van de ventilatie met mondmaskers [22]**

Zoals eerder vermeld is het aantal luchtverversingen in een ruimte een belangrijke parameter om de overdraging van een virus naar anderen te beperken. Figuur 2-15 toont de kans op infectie in functie van het aantal luchtverversingen per uur in een bepaalde ruimte als de aanwezigen mondmaskers dragen. De curve is verkregen door de Wells-Riley formule [23] toe te passen. Die gaat ervan uit dat alle lucht aanwezig in een ruimte perfect gemixt is. De stippellijnen vormen de foutmarge op de curve. Die foutenmarge is afkomstig van de onzekerheid over de besmettelijkheid van het virus. Er is te zien dat de curve exponentieel daalt. Voor iedere ruimte is 6 volume wisselingen per uur (ACH, Air Changes per Hour) het streefdoel om het risico op infectie te doen dalen met 75%. De kans op infectie is weergegeven met als enige maatregel tegen Covid-19 het dragen van mondmaskers door de aanwezigen. Ventilatie-expert Bert Blocken, docent aan de KU Leuven, heeft ook aangegeven in een artikel van de Knack dat 6 ACH het streefdoel is om de kans op besmetting aanzienlijk te doen dalen [24]. Volgens meneer Blocken is het uiterst belangrijk om klaslokalen zoveel mogelijk te voorzien van ventilatie. Meneer Blocken benadrukt ook het belang van de ventilatie, aangezien Covid-19 zich meer verspreidt via aerosolen dan initieel was gedacht door wetenschappers.



**Figuur 2-16 Invloed van de maatregels op het risico van infectie [22]**

Figuur 2-16 toont de invloed van extra maatregelen op het risico van besmetting. Mondmaskers, 50% van de capaciteit gebruiken per lokaal en de tijdsduur dat mensen zich in een lokaal bevinden verminderen naar een halve dag zijn de onderzochte maatregelen. De baseline curve stelt de kans op infectie voor in een klaslokaal zonder maatregelen. De curves zijn cumulatief. Een ventilatie die 6 ACH kan leveren waarbij de aanwezigen mondmaskers dragen reduceert de kans op infectie met 75%. En een combinatie van al die maatregelen bij 6 ACH verlaagt de kans met 95%.

De besproken mechanische aanpassingen zijn toepasbaar op bestaande gebouwen zonder al te veel ingrijpende verbouwingen. Dit zorgt ervoor dat het mogelijke oplossingen zijn om de verspreiding van virussen in gebouwen tegen te gaan.

### 2.3.3 Extra toevoegingen aan een ventilatiesysteem

Het is ook mogelijk om de huidige ventilatie te behouden, en extra componenten toe te voegen om de transmissie van Covid-19 te verminderen. Voor die mogelijkheden kan men kiezen indien de nodige debieten of luchtverversingen met betrekking tot Covid-19 niet behaald zijn. Om te bepalen welke toevoegingen interessant zijn voor een bepaalde situatie kijkt men naar de clean air delivery rate (CADR) van een toevoeging [25]. Die geeft het gezuiverde luchtdebiet van de toevoeging weer in m<sup>3</sup>/h. Volgende formule (2-8) bepaalt de CADR:

$$CADR = q_t \cdot R_{eff} \quad (2-8)$$

waarbij CADR: het gezuiverde luchtdebiet

$q_t$  : het nominaal debiet doorheen een toevoeging

$R_{eff}$ : de verwijderingsefficiëntie van de filter

Een eerste optie is extra luchtgroepen toevoegen. Zo moet niet een centrale luchtgroep het debiet voorzien voor alle ruimtes van het gebouw, maar zijn er enkele kleinere luchtgroepen die dit samen doen. De ruimtes zijn zo meer onafhankelijk van elkaar en de debieten zijn makkelijker te regelen naargelang de nood per lokaal. De luchtgroepen zelf hebben een kostprijs afhankelijk van hun debiet en hebben luchtkanalen, een warmtewisselaar en soms een extra verwarmingselement om de lucht op temperatuur te krijgen nodig. Een kleine luchtgroep is goedkoper dan een grote, maar er zijn meerdere kleine luchtgroepen nodig die

allemaal een eigen aansluiting nodig hebben. Het is een efficiënte oplossing met een CADR gelijk aan het luchtdebiet van de nieuwe luchtgroep. Een luchtgroep heeft namelijk een  $R_{eff}$  van 100% aangezien die propere buitenlucht aanzuigt.

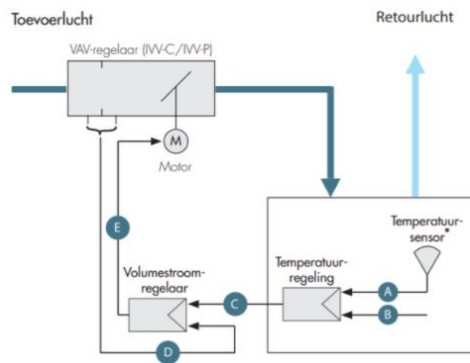
Een andere toevoeging kan een draagbare luchtfilter zijn. Dit apparaat filtert de binnenlucht van de ruimte, ook wel secundaire lucht genoemd, zie Tabel 2-2. Als de bezetting van een lokaal toeneemt kan de verplaatsbare luchtfilter naar dit lokaal gebracht worden. Het totale debiet van het lokaal met de luchtfilter vergroot, zonder dat het algemeen systeem moet uitbreiden. Dat is een efficiënte manier om het ventilatiesysteem op te waarderen. De CADR van die luchtfilters is afhankelijk van de verwijderingsefficiëntie. De literatuur [26] raadt steeds aan om te kiezen voor een apparaat met HEPA-filter. Die filter heeft een efficiëntie van 99,9%. Het aantal luchtfilters kan wel oplopen voor een groot gebouw met hoge bezetting.

### **2.3.4 Variable air volume systems – regelbare debieten**

Naast de reeds besproken aanpassingen zijn er ook andere systemen die de werking van de ventilatie kunnen optimaliseren en de verspreiding van virussen kunnen tegen gaan, namelijk de variable air volume (VAV) systemen. Een VAV-systeem heeft als doel om voor verschillende ruimtes, bedient door eenzelfde ventilator, een variabel luchtdebiet te kunnen voorzien [27]. Het systeem probeert de ventilatie te automatiseren en op basis van de bezettingsgraad van een lokaal de debieten aan te passen. Een bezet lokaal kan dan extra debiet krijgen van een leegstaand lokaal, aangezien dit leegstaand lokaal geen debiet nodig heeft. VAV-systemen zijn dus niet enkel nuttig om de verspreiding van een virus te beperken maar ook om de ventilatie te optimaliseren zodat er minimaal energieverbruik optreedt.

Ventilatiesystemen bestaan uit luchtgroepen en kanalen. Op het einde van de kanalen staan er roosters die de scheiding zijn tussen het ventilatiesysteem en de ruimtes waar mensen werken. Juist voor die roosters zijn er regelkleppen ingebouwd zodat men het debiet door die kanalen afzonderlijk kan regelen. Die kleppen zijn mechanisch regelbaar met een draaiknop of elektrisch via een stuursignaal. De laatste soort behoort tot het VAV-systeem. De regelklep zelf is niet anders, maar de aansturing van de klep wel. Figuur 2-17 toont het regelschema van een VAV-systeem. Dit voorbeeld heeft een temperatuurmeter, maar dit kan evengoed een CO<sub>2</sub>- of een vochtigheidsmeter zijn. Deel A stelt de meting voor en deel B de gewenste waarde die de ruimte moet hebben. Het gewenste debiet C komt uit het verschil tussen A en B. D stelt het huidige debiet voor dat door de regelklep gaat. Het stuursignaal E voor de servomotor komt uit het verschil tussen C en D. Het voordeel van een VAV-systeem is dat dit gekoppeld kan zijn met een CO<sub>2</sub>-meter. Het CO<sub>2</sub>-gehalte van een ruimte kan als maatstaf dienen voor de bezettingsgraad van een ruimte. Als er zich meer mensen in een lokaal bevinden zal de ventilatie voor meer debiet zorgen door de regelklep van dit lokaal meer te openen. Het systeem kan zich dus automatisch aanpassen aan de bezetting van een lokaal.

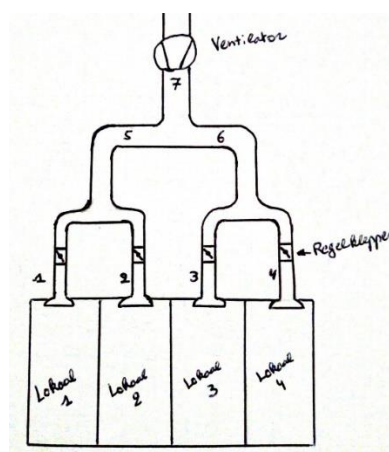




**Figuur 2-17 Regelschema VAV-systeem [28]**

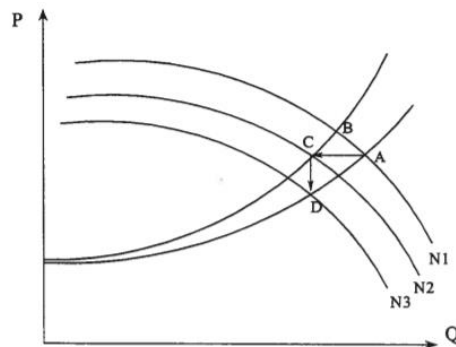
Zoals al is uitgelegd in 2.1.2.4 is de weerstand van een kanaal afhankelijk van de componenten in het kanaal. De weerstand van de regelklep verandert als die meer open of toe gaat. Hierdoor wijzigt de totale weerstand van dit kanaal. Bijkomend verandert het werkingpunt van de ventilator en het debiet beschikbaar voor heel het ventilatiesysteem dat in contact staat met die ventilator. De veranderingen van het debiet zijn het grootst voor de naburige kanalen. Dit fenomeen staat hieronder meer in detail beschreven.

Figuur 2-18 is een schets van een eenvoudig ventilatiesysteem. Stel dat de regelklep van kanaal 1 meer sluit dan stijgt de weerstand van kanaal 1. Er is te zien dat kanaal 1 en 2 parallel staan vanaf de opsplitsing tot aan de eindroosters. Dit betekent dat de drukval over die 2 kanalen dezelfde moet zijn. Aangezien dat de weerstand van kanaal 1 groter is zal er minder debiet door kanaal 1 gaan in vergelijking met kanaal 2. Kanaal 5 is de combinatie van 1 en 2 en kanaal 6 is de combinatie van 3 en 4. Kanaal 5 en 6 staan ook parallel met elkaar dus ook hier moet de drukval gelijk zijn over de 2 kanalen. Aangezien kanaal 1 een hogere weerstand heeft dan 2, 3 en 4, zal de totale weerstand van kanaal 5 hoger zijn dan van kanaal 6 en zal er door kanaal 5 minder debiet gaan dan door kanaal 6. Het relatief verschil in debiet tussen kanaal 1 en 2 zal groter zijn dan het verschil tussen 5 en 6, aangezien kanaal 5 een groter systeem is waarvan enkel een deel (kanaal 1) verandert. Kanaal 7 is de combinatie van 5 en 6 en de weerstand van kanaal 7 verandert ook. Kanaal 7 is een nog groter systeem waarvan enkel kanaal 1 verandert dus het relatieve verschil in weerstand is nog kleiner voor kanaal 7 dan voor kanaal 5. Dit verschil zorgt ervoor dat de ventilator bovenaan kanaal 7 een grotere drukval moet overwinnen en dus daalt het debiet door kanaal 7. Het debiet door 7 verdeelt zich over 5 en 6, het debiet door 5 verdeelt zich over 1 en 2 en het debiet door 6 verdeelt zich over 3 en 4.



**Figuur 2-18 Schets van ventilatiesysteem**

Dat voorbeeld laat duidelijk zien dat de verandering van een regelklep in een kanaal een verandering teweeg kan brengen voor heel het systeem aangestuurd door eenzelfde ventilator. Dat gegeven maakt het moeilijk om een ventilatiesysteem te regelen omdat het debiet veranderen in 1 ruimte invloed heeft op de naburige ruimtes. Bij een VAV-systeem is het ook belangrijk rekening te houden met het vaste toerental van de ventilator [29]. Als de regelkleppen meer toegaan dan stijgt de drukval over die regelkleppen en bijgevolg daalt het debiet. De druk in de luchtkanalen stijgt dus en kan voor problemen zorgen. Dat is oplosbaar door de snelheden van de ventilator aan te passen afhankelijk van de druk in de kanalen. De snelheid regelen van de PG en EG is mogelijk door een frequentiesturing toe te voegen. Figuur 2-19 geeft grafisch weer wat er dan met de druk en het debiet gebeurt. Punt A is het huidige werkingpunt en de regelkleppen gaan meer toe. Hierdoor stijgt de weerstand en het nieuwe werkingpunt verschuift naar B. Die druk is te hoog dus de snelheid van de ventilator daalt tot punt C. De druk van A en C is gelijk, maar de druk over de regelklep is nog altijd groter dan nodig aangezien die regelklep meer gesloten is. De regelklep gaat terug naar een meer open positie, maar het debiet mag niet veranderen. Dat is het gewenste debiet en dus daalt de snelheid van ventilator en hebben we een verschuiving van C naar D.



**Figuur 2-19 Werkingspunt VAV-systeem [30]**

Uiteindelijk is te zien dat de ventilator op een lagere snelheid draait en dat het debiet en de druk van de ventilator ook lager zijn. Dit zorgt ervoor dat de ventilator minder energie verbruikt en het ventilatiesysteem efficiënter en meer geautomatiseerd is.

VAV-systemen leveren een positieve bijdrage om lokalen te kunnen regelen op basis van bezettingsgraad. Ze helpen ook de luchtdebieten van de lokalen meer te ontkoppelen van elkaar. Zo kan het debiet van een leeg lokaal laag blijven indien een naburig lokaal meer debiet vraagt.

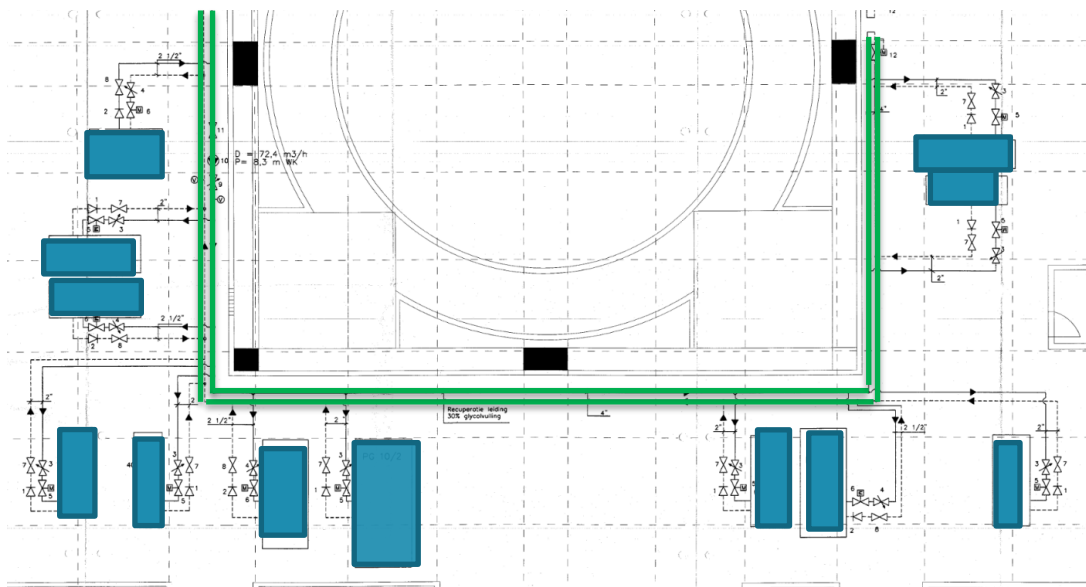
### 3 METHODOLOGIE

Dit hoofdstuk gaat over hoe de verschillende onderdelen van de thesis onderzocht zijn. Eerst komt aan bod vanwaar de as-built plannen komen en hoe die geïnterpreteerd zijn. Daarna beschrijft dit hoofdstuk de gevolgde methode om de luchtdebieten van verschillende lokalen te meten en het effect van de regelkleppen op het luchtdebiet te bepalen. Als laatste komt aan bod hoe de werking van een zuurkast is gemeten.

#### 3.1 As-built plannen

Zoals reeds vermeld is het doel van deze thesis de ventilatie van Campus Groep T in kaart brengen. Aangezien er geen gedocumenteerde plannen zijn van de huidige toestand van de ventilatie moeten de oorspronkelijke as-built plannen van het gebouw in combinatie met verslagen en rapporten van onderhoud een basis vormen om de ventilatie in kaart te brengen.

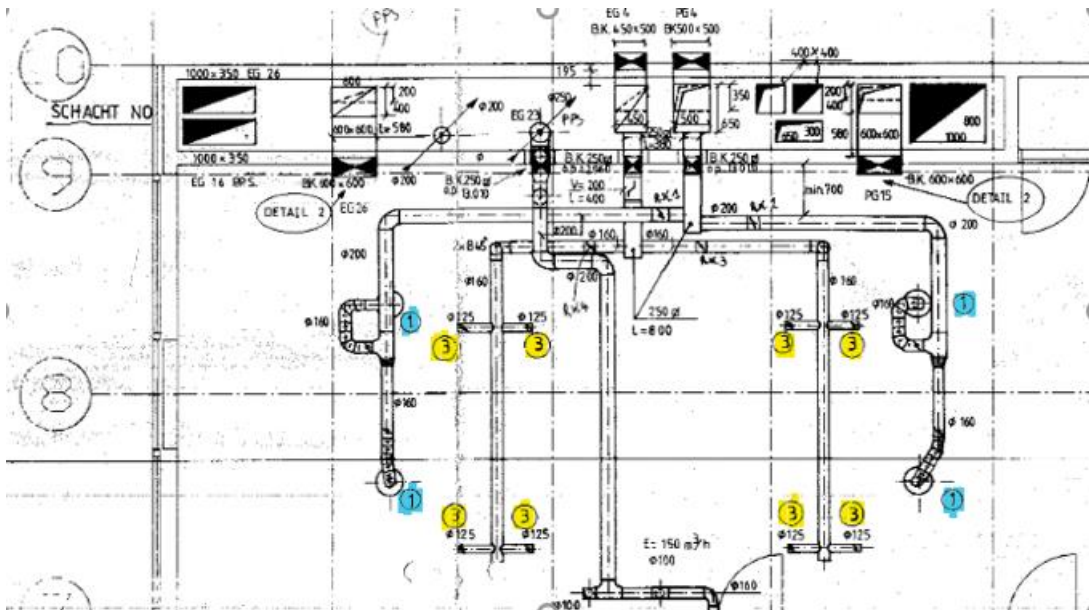
De technische dienst van de KU Leuven stelde de as-built plannen van de campus voor deze masterproef ter beschikking. Dat zijn de originele bouwplannen van 1996 opgemaakt door 'Van Den Briele nv'. De plannen gaan over ventilatie, verwarming en sanitair. Voor deze masterproef zijn enkel de plannen van de ventilatie van belang. Bijkomend heeft de technische dienst van de KU Leuven ook AutoCAD-files gemaakt met meer accurate info. De as-built plannen bevatten 3 soorten ventilatieplannen. De eerste soort gaat over de luchtgroepen. Op Figuur 3-1 is informatie te zien over hoe die groepen (blauw) zijn onderverdeeld en waar ze staan. Daarnaast tonen ze hoe dat de luchtgroepen zijn aangesloten op de warmtewisselingskring (groen). Andere plannen laten dan zien hoe de luchtkanalen rond de luchtgroepen lopen. Per luchtgroep tonen de plannen of die luchtgroep beschikt over een frequentieregelaar en wat het initieel nominaal debiet van die luchtgroep is.



**Figuur 3-1: Voorbeeld eerste soort as-built plannen**

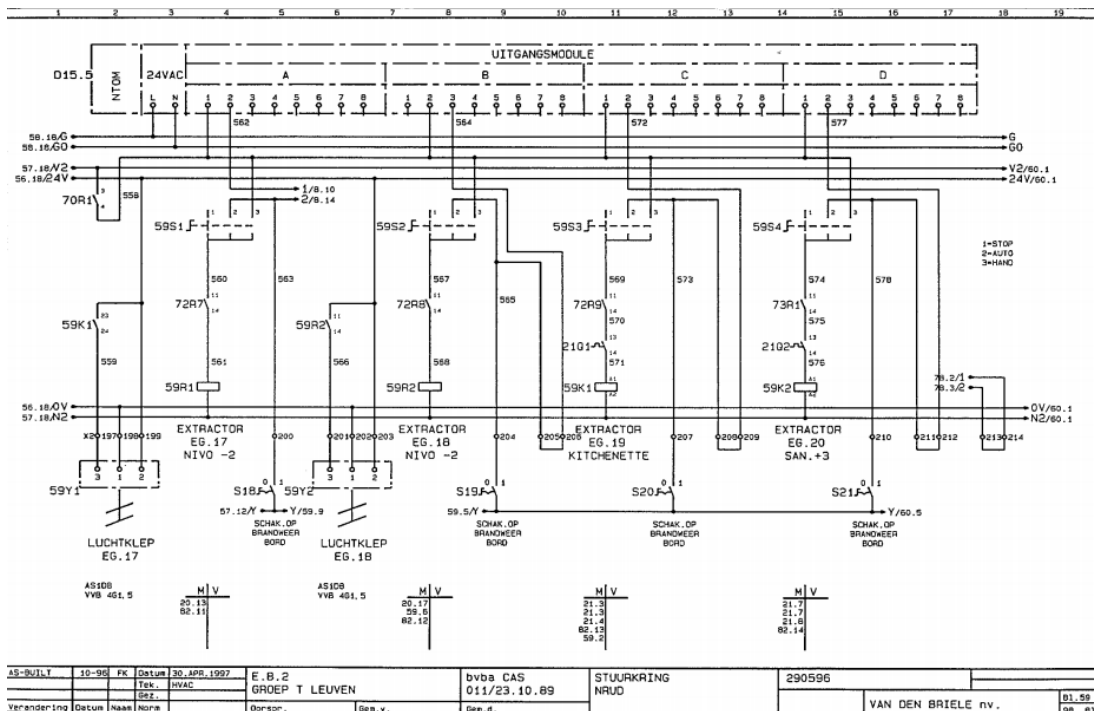
De tweede soort geeft per verdieping weer hoe alle luchtkanalen door elk lokaal lopen. Op Figuur 3-2 is hier een voorbeeld van te zien. Hierbij zijn de dimensies van de kanalen te zien en is af te leiden welk lokaal lucht krijgt van welke luchtgroep. Op die plannen per verdieping staan ook alle regelkleppen en luchtroosters. Op Figuur 3-2 geeft aanduiding 1 (blauw) de

pulsieroosters en aanduiding 3 (geel) de extractierooster weer. De technische dienst heeft hier ook een bijkomend overzicht van via een AutoCAD-file. Die AutoCAD-file geeft een overzicht van welke luchtgroepen elk lokaal van lucht voorzien.



**Figuur 3-2: Voorbeeld tweede soort as-built plannen**

De derde soort plannen gaan over de aansturing van de ventilatie. Op Figuur 3-3 is een bedradingsschema weergegeven voor enkele luchtgroepen om aan te tonen hoe alle draden zijn verbonden met elke actuator en sensor. Die laatste soort gaf minder info voor deze masterproef en is minder geraadpleegd.



**Figuur 3-3 : Voorbeeld derde soort as-built plannen**

Die 3 soorten plannen zijn doorheen de masterproef geraadpleegd om antwoorden te geven op de 2 onderzoeksvragen.

## 3.2 Debiet metingen

Tijdens deze masterproef zijn de luchtdebieten van verschillende lokalen gemeten. Dit in eerste instantie om na te gaan of de huidige luchtdebieten voldoen aan de geldende normen. In tweede instantie om na te gaan wat het effect van de regelklep is op het luchtdebiet van de lokalen.

### 3.2.1 Debiet controleren

Zoals beschreven staat in sectie 2.2, moeten de luchtdebieten voldoen aan een bepaalde norm. Het is dus de bedoeling om de luchtdebieten van verschillende lokalen na te meten en te controleren of die voldoen aan die norm.

Via een snelheidsmeter is het mogelijk om per pulsierooster het luchtdebiet te bepalen. De technische dienst van de KU Leuven stelde voor deze thesis een snelheidsmeter ter beschikking van het merk 'Testo'. Het meetinstrument bestond uit 3 onderdelen. Het eerste onderdeel was de digitale multimeter (zie Figuur 3-4). Die multimeter is een Testo 435-4 en het is mogelijk om verschillende meetinstrumenten eraan te verbinden zoals een snelheidsmeter, een thermometer of een CO<sub>2</sub>-meter. De gemeten waarde leest men af op het digitale scherm. De technische dienst van de KU Leuven heeft de meter voor het gebruik laten kalibreren. Om de 3 à 4 maanden sturen ze de meters terug naar Testo voor een nieuwe kalibratie.



**Figuur 3-4 Digitale multimeter Testo [31]**

Het doel van de metingen is het luchtdebiet bepalen. De meter wordt gebruikt voor snelheidsmetingen en op basis van die metingen is de omzetting naar luchtdebiet mogelijk. De snelheid is gemeten via een vleugelradsonde (zie Figuur 3-5). Die sensor kan snelheden meten tussen de 0,3 en 20 m/s. De sensor heeft 8 schoepen die onder een hoek van 45° staan en is zeer licht gelagerd om de luchtstroom niet tegen te werken [32]. De sensor heeft een fout van  $\pm(0,1 + 1,5\% \text{ van Meetwaarde}) \text{ m/s}$  [33].



**Figuur 3-5 Vleugelrad snelheidsmeter Testo [33]**

De snelheidsmeter heeft een diameter van 10 cm en de roosters hebben een diameter van 30 cm. De sensor is dus kleiner dan de pulsierooster en kan zonder hulpmiddel niet de gemiddelde lichtsnelheid bepalen. Een trechter (zie Figuur 3-6) gebruiken is de oplossing. Die trechter omvat heel het rooster zodat alle lucht die uit het rooster komt door de snelheidsmeter moet. De snelheidsmeter en de trechter klikken in elkaar om een geheel te vormen en de metingen te volbrengen.



**Figuur 3-6 Trechter Testo [34]**

De uitleg van de technische dienst en een artikel van het 'Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor Bouwbedrijf' (WTCB) [35] maakten duidelijk hoe de snelheidsmetingen correct worden uitgevoerd. Eerst gebeurt er een controle van de roosters van het ventilatiesysteem om te zien of de meetmethode geen foute waarden oplevert. Als de roosters geen asymmetrische stroming hebben, levert de methode goede resultaten op. Voor die controle wordt er gekeken naar het type pulsierooster. Het merendeel van de types pulsieroosters zoals bijvoorbeeld wervelroosters hebben een symmetrische stroming en geven dus goede resultaten. Tijdens de metingen moeten alle deuren en ramen gesloten zijn. Nadien plaatst men de trechter helemaal over het rooster en drukt die stevig op een recht oppervlak zodat alle lucht doorheen de snelheidsmeter moet en niet via een spleet kan ontsnappen. De trechter moet gedurende de hele meting stevig aangedruwd zijn tegen dat oppervlak. Bij de plaatsing van de trechter over het rooster is het noodzakelijk om de snelheidsmeter te centreren ten opzichte van het pulsierooster om betrouwbare resultaten te bekomen. Vervolgens moet de persoon die de meting uitvoert een paar seconden wachten zodat het vleugelrad op snelheid komt. Op die manier is er weinig weerstand van het vleugelrad en stabiliseert de gemeten lichtsnelheid. Tenslotte valt een correcte lichtsnelheid af te lezen van de multimeter.

De metingen van de lichtsnelheid maken het mogelijk om een luchtdebiet te berekenen. Vanwege het behoud van massa is het massadebiet hetzelfde aan de ingang en de uitgang van de trechter. Aangezien de snelheden lager zijn dan 0,3 Mach (1 Mach = 340 m/s) is het toegelaten om te veronderstellen dat er geen verandering is in de massadichtheid van lucht.

Dat betekent dat het luchtdebiet gelijk is aan de ingang en uitgang. Het luchtdebiet in m<sup>3</sup>/h is bepaald volgens formule (3-1).

$$Q = 3600 \cdot A \cdot v \quad (3-1)$$

waarbij Q: het luchtdebiet doorheen een kanaal

A : de oppervlakte waardoor de lucht gaat

v: de snelheid van de lucht

De luchtsnelheid doorheen de sensor is telkens gemeten en de diameter van de sensor is gekend dus het luchtdebiet door het rooster is gekend. Formule 3-1 is dan verder uit te schrijven naar formule (3-2).

$$Q = 3600 \cdot \frac{d_{sen}^2 \cdot \pi}{4} \cdot v \quad (3-2)$$

waarbij d<sub>sen</sub>: de diameter van de vleugelrad sensor, gelijk aan 0,1 meter

Dit maakt het mogelijk om de luchtdebieten van de lokalen op een nauwkeurige manier te vergelijken met de norm voor de luchtdebieten. De NBN EN 13779-norm schrijft voor 4 klassen van luchtkwaliteit het vereiste debiet per persoon voor. Om het totale vereiste debiet te kennen per lokaal is het nodig om de capaciteit per lokaal te kennen. De capaciteit per lokaal kan op 2 manieren gevonden worden. De eerste methode om de capaciteit te bepalen, is door te kijken naar de capaciteit die KU Loket voorschrijft. Indien KU Loket geen capaciteit voorschreef, is er ter plaatse per lokaal geteld hoeveel personen plaats kunnen nemen. Met die capaciteit is het vereiste debiet met actuele bezetting te bepalen via formule (3-3).

$$Q_{act} = M_{cap} Q_p \quad (3-3)$$

Waarbij  $Q_{act}$ : vereist luchtdebiet met actuele bezetting voor een ruimte

$M_{cap}$  : de menselijke capaciteit voor een ruimte bepaald door KU Loket

$Q_p$ : het vereiste debiet per persoon voor een ruimte

De tweede methode om de capaciteit te bepalen is op basis van de oppervlakte voor een ruimte. Elke type lokaal heeft een ontwerpoppervlakte per persoon. Die geeft aan hoeveel oppervlakte elke persoon moet krijgen per lokaal. Via de oppervlakte en de ontwerpoppervlakte per persoon kan de capaciteit van een lokaal berekend worden. Als de capaciteit gekend is, kan het vereiste debiet met genormeerde bezetting bepaald worden met formule (3-4).

$$Q_{gen} = \frac{A_r}{A_p} Q_p \quad (3-4)$$

waarbij  $Q_{gen}$ : vereist luchtdebiet met genormeerde bezetting voor een ruimte

$A_r$  : de oppervlakte van de ruimte

$A_p$ : de ontwerpoppervlakte per persoon voor een ruimte

Nu kan het gemeten debiet met die 2 vereiste debieten vergeleken worden. Op basis van die vergelijking bepaalt de masterproef of de gemeten debieten voldoen aan de NBN EN 13779-norm.

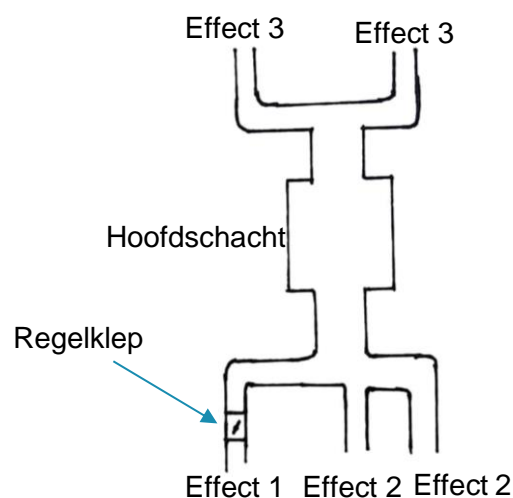


### 3.2.2 Effect van regelkleppen

Onderdeel 2.3.4 toont aan dat de stand van de regelklep niet alleen invloed heeft op het luchtdebiet van het kanaal waarin de klep zelf staat, maar ook op die van de omliggende kanalen. Het is de bedoeling om de grootte van het effect van de regelkleppen op de luchtdebieten te bepalen.

De luchtdebieten zijn telkens gemeten zoals beschreven in sectie 3.2.1. Voor dit onderzoek zijn eerst de luchtdebieten van de lokalen gemeten met de huidige stand van de regelklep. Die metingen dienen als referentie voor het onderzoek en zijn ook gebruikt voor het onderzoek om de luchtdebieten te vergelijken met de norm. Daarna zijn er voor 2 extra situaties luchtdebieten gemeten, namelijk als de regelklep helemaal open staat en als de regelklep helemaal toe staat. Het is de bedoeling om die luchtdebieten te vergelijken met de referentiedebieten. Dat betekent dat 3 keer dezelfde roosters gemeten zijn met telkens een andere stand van de regelklep.

Tijdens heel het onderzoek is er maar 1 regelklep die van stand verandert, de andere regelkleppen blijven ongewijzigd. Bij dit onderzoek zijn er 3 te onderzoeken effecten. Figuur 3-7 geeft een vereenvoudigde voorstelling van een stelsel kanalen verbonden aan dezelfde hoofdschacht met 1 te onderzoeken regelklep. Het eerste te onderzoeken effect(1) is dat op het kanaal waarin de regelklep staat. Het tweede te analyseren effect(2) is dat op de naburige kanalen die langs dezelfde kant van de hoofdschacht staan, maar niet rechtstreeks in contact staan met de regelklep. Het derde en laatste te bestuderen effect(3) van de regelklep is dat op de kanalen die niet langs dezelfde kant van de hoofdschacht staan.



Figuur 3-7 Schets te onderzoeken effecten

Dit onderzoek geeft een richtlijn in welke mate een wijziging in de stand van de regelklep merkbaar is in de andere kanalen van het ventilatiesysteem.

### 3.3 CO<sub>2</sub> meting zuurkast

Het laatste onderzoek gaat over het lokaliseren van een mogelijk lek in een extractiekanaal van zuurkasten. Een zuurkast zuigt de vrijgekomen gassen afkomstig van experimenten weg. Bij het optreden van een lek in het extractiekanaal kan die afgezogen lucht in een ander lokaal merkbaar zijn en voor hinder zorgen, bijvoorbeeld geurhinder.



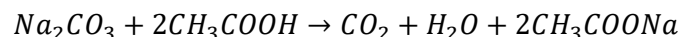
De eerste optie om een mogelijk lek te vinden is door het gebruik van een rookbom. Die rookbom is best gekleurd (Bengaals vuurwerk). De felle kleur kan het lek dan zichtbaar maken. Bij het uitvoeren van de proef zorgt 1 persoon ervoor dat de rookbom in de zuurkast afgaat en de andere persoon staat in het lokaal waar er al hinder van afgezogen lucht is ondervonden, om de gekleurde rook op te merken.

Als tweede optie is het mogelijk om een traceergas te gebruiken en te meten. Geur en kleur zijn subjectief en vallen niet goed te meten. De bedoeling van die proef is om een grote hoeveelheid van het traceergas te produceren in een zuurkast en de concentratie van dat gas te monitoren op de plaats van een mogelijk lek. In de buurt van het lek zou er dan een verhoogde concentratie van het traceergas waar te nemen zijn. De voorkeur van een traceergas gaat uit naar CO<sub>2</sub>. Dit komt omdat CO<sub>2</sub> niet zo schadelijk is. Pas vanaf een concentratie van 5000 ppm kan er vermoeidheid en hoofdpijn optreden [36, p. 2]. De standaard concentratie van de buitenlucht is 400 ppm. Bij zo een experiment zal nooit 5000 ppm haalbaar zijn aangezien het gaat over een mogelijke lek en de zuurkast nog steeds het grootste deel van de vrijgekomen gassen afzuigt naar buiten. Tijdens zo een experiment is de concentratie in het lokaal constant gemeten. Indien de concentratie te hoog wordt, moet er een raam open en stopt het experiment. Voor een experiment uit te voeren met CO<sub>2</sub> als traceergas is er een CO<sub>2</sub>-meter nodig. De technische dienst van de KU Leuven beschikt ook over een CO<sub>2</sub>-meter van het merk Testo. Figuur 3-8 toont de meter die ook aansluitbaar is op de digitale multimeter van Testo. Die multimeter is ook al gebruikt voor de luchtdebieten metingen.



**Figuur 3-8 CO<sub>2</sub>-meter Testo [37]**

Om het experiment te kunnen uitvoeren is er ook nog een CO<sub>2</sub>-bron nodig zodat er zich een verhoogde concentratie CO<sub>2</sub> kan voordoen in de buurt van het lek. De eerste CO<sub>2</sub>-bron was een chemische reactie tussen natriumcarbonaat om het mogelijke lek op te sporen. Dit is een veilig experiment waar CO<sub>2</sub> bij vrijkomt. Onderstaande formule is de reactievergelijking van het experiment. Voor 1 mol CO<sub>2</sub> is er 1 mol natriumcarbonaat en 2 mol azijnzuur nodig.



Met een molaire massa van 44,01 g/mol voor CO<sub>2</sub> is het gewicht dat vrijkomt gekend. Via de ideale gaswet (formule 3-5) is het mogelijk om te bepalen wat het volume is dat 1 mol CO<sub>2</sub> zou innemen. Voor 1 mol is dit dan 0,0245 m<sup>3</sup>. In een lokaal van ongeveer 161 m<sup>3</sup> komt dit overeen met 152 ppm extra CO<sub>2</sub>-concentratie. Die concentratie is geldig indien de CO<sub>2</sub> perfect is verspreid over het lokaal dus bij de lek zou de concentratie nog hoger moeten liggen.

$$pV = nRT \quad (3-5)$$

waarbij p: de atmosferische druk, gelijk aan 101325 Pa

V: het volume CO<sub>2</sub>

n: het aantal mol CO<sub>2</sub>

R: de gasconstante, gelijk 8,314 J/K.mol

T: de temperatuur, gelijk aan 25 °C

Met de molaire massa van natriumcarbonaat = 106,0 g/mol en die van azijnzuur = 60,1 g/mol is het mogelijk om het benodigd gewicht te bepalen voor de productie van 1 mol CO<sub>2</sub>. Dit geeft 106 g natriumcarbonaat en 126,21 ml pure azijnzuur per mol CO<sub>2</sub>. Azijn dat verkrijgbaar is in de supermarkt heeft een concentratie van rond de 8%. Er zou dus voor de productie van 1 mol CO<sub>2</sub> 1,43 liter azijnzuur nodig zijn. Voor heel het experiment komt dit neer op een heel grote hoeveelheid azijnzuur. Daarom is er gekozen voor een andere CO<sub>2</sub>-bron. Een gasfles van het merk 'Sodastream' bevat 425 gram CO<sub>2</sub>. Dit is ongeveer 9,66 mol en hiervoor zou 1,02 kg natriumcarbonaat en 1,22 liter pure azijnzuur of 13,81 liter azijnzuur van de supermarkt nodig zijn. De gasfles is efficiënter en goedkoper om als CO<sub>2</sub>-bron te gebruiken.

Bij het uitvoeren van het experiment laat 1 persoon de CO<sub>2</sub> vrij in de zuurkast en de andere persoon staat in het te onderzoeken lokaal met de CO<sub>2</sub>-meter. Alle ramen en deuren van dat lokaal zijn gesloten om geen invloed te hebben van buitenaf.

## 4 WERKING VENTILATIE CAMPUS GROEP T

---

Dit hoofdstuk behandelt de werking van de ventilatie van Campus Groep T. Het bespreekt welke van de besproken mechanische componenten van een ventilatiesysteem te vinden zijn op de campus. Daarna komen de verschillen tussen de as-built plannen en de realiteit aan bod. Als laatste komt ter sprake hoe de ventilatie precies regelbaar is.

### 4.1 Mechanische componenten en samenhang

Zoals in de literatuurstudie is uitgelegd, bestaat de ventilatie uit verschillende componenten met elk hun functie. Dit deel gaat dieper in op hoe al die componenten geïmplementeerd zijn in het gebouw en hoe ze passen in het groter geheel. Naar analogie met de literatuurstudie komen de luchtgroepen met hun componenten zoals warmtewisselaars, ventilators, filters en verwarmingselementen eerst aan bod. Verder focust een subhoofdstuk op de kanalen en de regelkleppen die in de ventilatie van Campus Groep T aanwezig zijn. Tenslotte komen de ventilatieroosters aan bod.

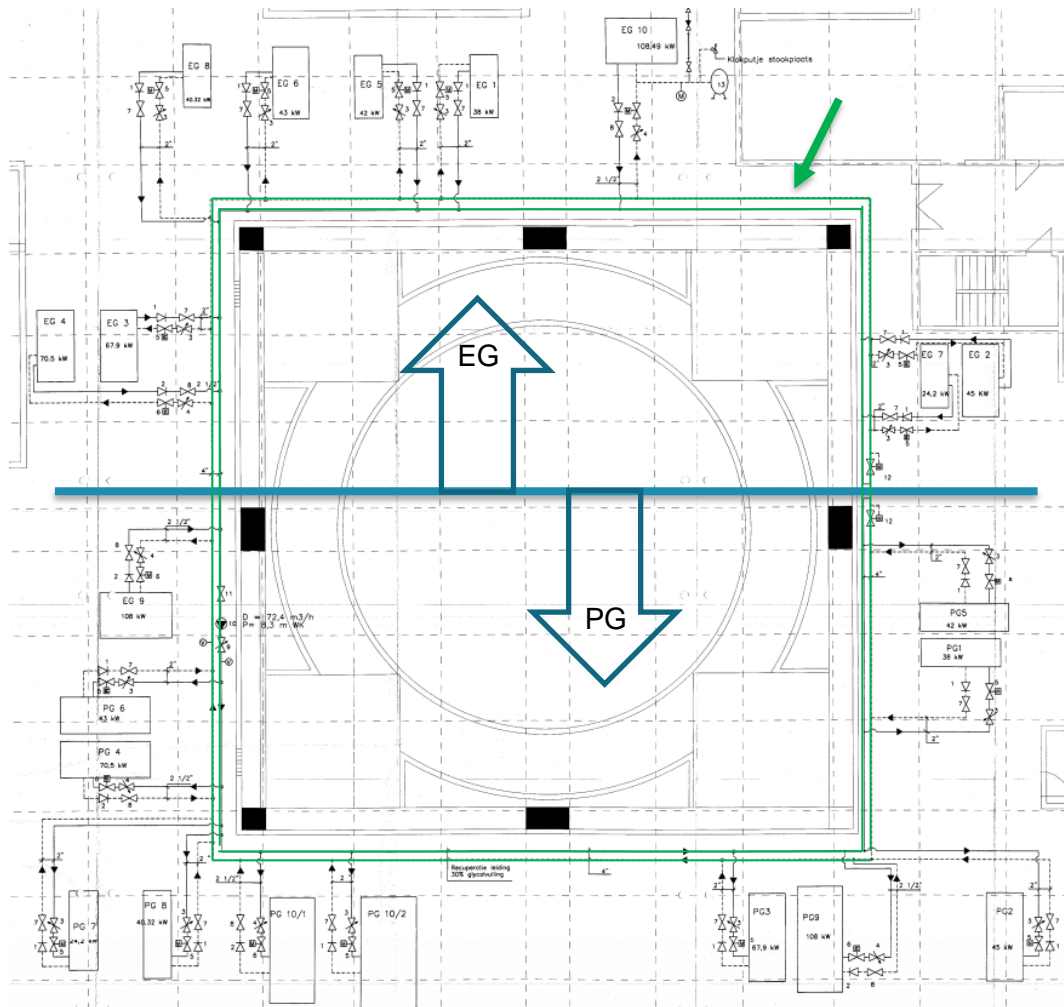
#### 4.1.1 Luchtgroepen

Om de luchtgroepen van een gebouw te kunnen bespreken kijkt men eerst naar de functie en grootte van dit gebouw. Zoals eerder vermeld is Campus Groep T een schoolgebouw en heeft dus een niet-residentiële functie. Het heeft 7 verdiepingen (92, 91, 0, 1, 2, 3 en 4) waarbij verdieping 91 en 92 parking zijn. De gelijkvloers bevat een aula, een atrium en een grote aula. Verdiepen 1 tot 3 hebben elk rond de 20 lokalen van verschillende groottes. Aangezien elke verdieping zoveel lokalen heeft, is elke verdieping opgesplitst in 4. Zo een vierde noemt men een module. Tabel 4-1 geeft een overzicht van de modules per verdieping.

**Tabel 4-1 Overzicht verdiepingen en modules**

Verdiepingen	Modules
0	Inkom, 0, 1 en 2
1	3, 4, 5 en 6
2	7, 8, 9 en 10
3	11, 12, 13 en 14

Door de grote omvang van het gebouw en de  $\pm 2000$  studenten [38] die er les volgen, is er nood aan een uitgebreid ventilatiesysteem bestaande uit meerdere luchtgroepen. Alle verdiepingen, buiten het vierde, moeten voorzien zijn van toevoer en afvoer van lucht. Daarom staan er in totaal 16 PG's en 15 EG's op de campus voor de lokalen met menselijke bezetting. Alle PG's en 10 EG's bevinden zich binnen op verdieping 4. De overige 5 EG's staan buiten op het dak. De luchtgroepen binnen zijn verdeeld zoals te zien is op Figuur 4-1. Op de onderste helft van de figuur (kant Andreas Vesaliusstraat) zijn al de PG's gelegen. Op de bovenste helft (kant vrij technisch instituut) staan de EG's. De 2 soorten luchtgroepen moeten aan tegengestelde kanten van het gebouw staan zodat de PG's de vervuilde lucht van de EG's niet aanzuigen.



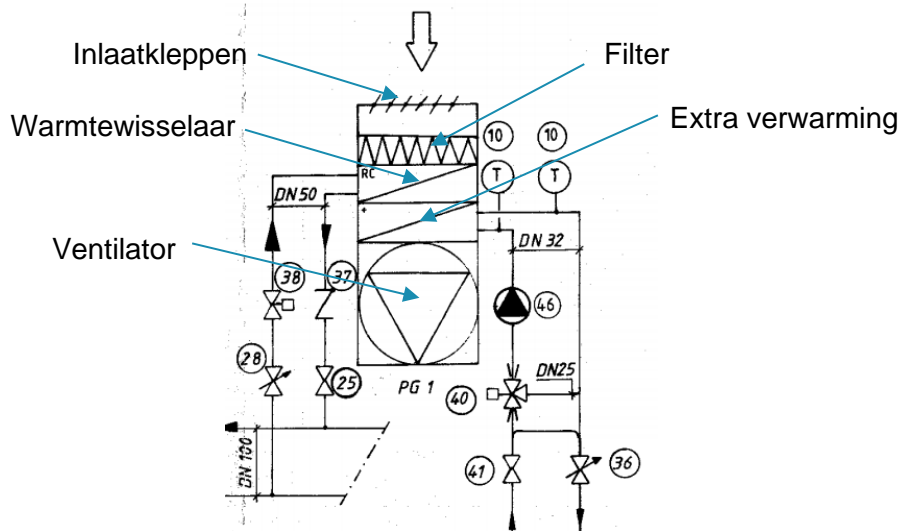
**Figuur 4-1 Verdeling luchtgroepen verdieping 4**

Er zijn zoals vermeld 5 EG's die niet binnen staan. Die luchtgroepen zijn voorzien voor zuurkasten, dampkappen van de keukens of voor het sanitair. De campus telt 4 trappenhallen die ook elk hun eigen PG hebben. Voor de ventilatie van de lokalen in de campus zijn er 4 hoofd luchtgroepen (PG1 tot PG4). Voor andere ruimtes zijn er specifieke luchtgroepen die enkel voor die ruimte dienen. Bijvoorbeeld voor het atrium levert PG8 lucht. Tabel 4-2 geeft een overzicht van welke luchtgroepen welke lokalen voorzien van ventilatie.

**Tabel 4-2 Overzicht luchtgroepen en lokalen**

PG	EG	Lokalen
PG1	EG1	01.3.01 01.3.02/03 01.3.04 01.3.05 02.7.01 02.7.02
PG2	EG2	00.0.01 00.0.02 00.0.03 00.0.03.2 00.0.05 (geen EG2 voor deze toiletten) 00.0.07 00.0.07.1 01.3.07 01.3.08 01.4.01.1 01.4.01 01.4.01.2 01.4.01.3 01.4.03/04 02.7.04 02.7.05 02.8.01.1 02.8.01 02.8.01.2/3 02.8.03/04 02.8.03.1 02.8.03.2 03.11.04/05 03.12.01.1 03.12.01.4 03.12.04/05 03.12.03 03.12.04.2 03.12.06
PG3	EG3	00.0.08 00.0.08.1 01.4.06 01.4.06.1 01.4.06.2 01.4.06.3 01.5.01 01.5.02 02.8.06 02.8.06.1 02.8.06.2 02.8.06.3 02.9.01 02.9.01.1 02.9.02 02.9.03 02.9.04 02.9.05 03.12.08 03.12.09 03.13.01 03.13.02 03.13.03 03.13.04 03.13.05
PG4	EG4	01.5.07 01.6.01 01.6.02 02.9.07 02.10.01 02.10.02 02.10.03 02.10.04 02.10.05 03.13.07 03.13.08 03.14.01 03.14.02 03.14.03 03.14.04 03.14.05 03.14.06 03.14.07
PG5	EG5	03.11.01 03.11.02
PG6	EG6	00.2.02 (auditorium)
PG7	EG7	00.1.01 00.1.02 00.1.03 00.1.04 (cafeteria en keuken)
PG8	EG8	00.ATR (atrium)
PG9	EG9	Parking 91
PG10/1	EG10	Parking 92
PG10/2	EG16	01.5.01 02.9.01 (zuurkasten)
PG11	/	Trappenhal (kant vrij technisch instituut)
PG12	/	Trappenhal (kant Dekenstraat)
PG13	/	Trappenhal (kant Andreas Vesaliusstraat)
PG14	/	Trappenhal (kant 'Het Strand')
PG15	EG26	02.9.07 (zuurkast)
/	EG11	00.1.01 (Dampkap keuken)
/	EG12	00.0.02 01.6.07/08/09 02.10.07/08/09 02.14.09/10/11 (Toiletten)
/	EG13	00.0.05 (Toiletten) P1.03 (labo materiaaltechnologie)

Figuur 4-2 geeft een doorsnede weer van een PG. Hierbij is te zien in welke volgorde de onderdelen staan. De pijl toont aan dat de lucht eerst door de inlaatkleppen van de luchtgroep moet. Daarna gaat die door de aanwezige filters om de toevoerlucht te zuiveren en de andere componenten proper te houden. Vervolgens gaat de toevoerlucht door de warmtewisselaar voor warmterecuperatie. Daarna passeert de lucht de extra verwarming om de lucht zo op de juiste temperatuur te krijgen. Als laatste passeert de lucht de ventilator om zo via de luchtkanalen de lokalen te bereiken.



**Figuur 4-2 Doorsnede van PG**

Om de luchtgroepen uit Tabel 4-2 in staat te stellen de lokalen van voldoende luchtverversingen te voorzien, zijn kwalitatieve ventilatoren van belang. Ze zorgen ervoor dat er een luchtdebiet ontstaat en stellen de ventilatie in staat om lucht toe te voeren of af te voeren. Op Figuur 4-3 valt te zien hoe de ventilator van PG13 wordt aangedreven. Er is te zien dat de ventilator verbonden is met een inductiemotor via een riemoverbrenging. Aan de diameters van de riemschijven is te zien dat de snelheid van de ventilator hoger is dan die van de motor. De motor zelf kan rechtstreeks verbonden zijn met het elektriciteitsnet of kan eerst nog verbonden zijn met een frequentiesturing om de snelheid van de motor/ventilator aan te passen.



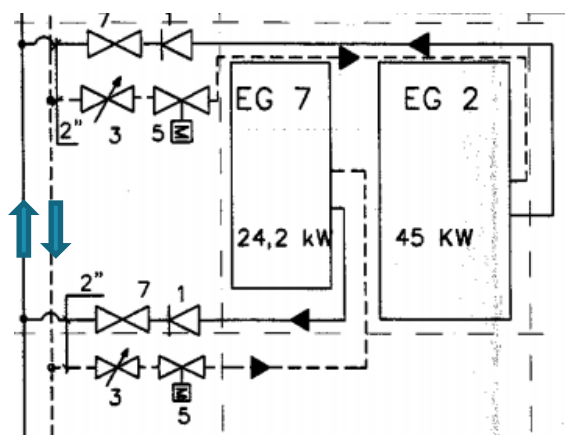
**Figuur 4-3 Aandrijving ventilator luchtgroepen**

Omdat de campus een ventilatie heeft van type D, zijn de luchtgroepen voorzien van een warmtewisselaar. Aangezien de PG en EG ver uit elkaar staan en omdat er 31 luchtgroepen zijn voor lokalen met menselijke bezetting, beschikt Campus Groep T over een warmterecuperatie-kring. Die kring bestaat uit 2 leidingen gevuld met water en 30% glycol. Die 2 leidingen (zie Figuur 4-1, groene pijl en lijn) lopen helemaal rond op verdieping 4 en zijn op 1 bepaalde plaats verbonden met elkaar via 2 drukgestuurde regelventielen (zie Figuur 4-4). Een pomp zorgt ervoor dat de glycolvulling zich kan verplaatsen doorheen de leidingen.



**Figuur 4-4 Aansluiting warmterecuperatie-kring**

Figuur 4-5 laat zien hoe de EG verbonden is aan de warmterecuperatie-kring. De gestreepte lijn stelt een leiding voor van het toekomstige koude glycolwater ( $\approx 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) dat binnenkomt bij de EG. De EG verwarmt het koude glycolwater met de afvoerlucht op kamertemperatuur. Het verwarmde glycolwater ( $\approx 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) verlaat de EG via de andere leiding (volle lijn). De aansluiting van de leidingen aan de PG's gebeurt andersom. Hierbij komt het warme glycolwater toe en verlaat het koude glycolwater de luchtgroep. In bijna elke luchtgroep is er een warmtewisselaar aanwezig om de lucht te verwarmen met het glycolwater, in het geval van de PG of de lucht warmte te ontnemen, in het geval van de EG. Enkel de luchtgroepen van de trappenhallen en de extractiegroepen die niet overdekt staan op verdieping 4, hebben geen warmtewisselaar.



**Figuur 4-5 Aansluiting warmtewisselaar luchtgroep**

Om er zeker van te zijn dat de lucht die in het gebouw geblazen wordt niet te koud is, zijn de PG's voorzien van een extra verwarmingselement. Die verwarming komt na de warmterecuperatie en is voorzien van warm water. Campus Groep T heeft 2

verwarmingsketels die zich opsplitsen in 6 leidingen om de warmte te transporteren. Van de 6 leidingen zijn er 4 bestemd om de radiatoren van warm water te voorzien doorheen heel het gebouw. De vijfde leiding zorgt voor de vloerverwarming in het gebouw (de cafetaria en het atrium). De laatste leiding gaat naar de PG's om de toevoerlucht te voorzien van extra verwarming. De hoeveelheid warm water die naar de luchtgroepen stroomt, is geregeld per luchtgroep met een 3-wegkraan.

Als laatste zijn de PG's ook voorzien van glasvezelfilters. Die staan helemaal in het begin van de luchtgroep om de andere componenten te beschermen. De vervanging van de filters gebeurt elk jaar door onderhoudsfirma 'SPIE'. De filters zijn zakkenfilters en zijn van het merk 'AFPRO' [39]. Figuur 4-6 is een afbeelding van zo een soort filter. De filter is verdeeld in allemaal verticale gleuven waarbij er achter elke gleuf een zak is vastgemaakt. Op die manier is er meer filteroppervlakte, waardoor de filter meer lucht kan zuiveren.



**Figuur 4-6 Zakken filter AFPRO [39]**

Over de filters staat ook een drukmeter om de drukval erover te meten. Indien de druk te hoog is krijgt de onderhoudsdienst een melding dat die filter aan vervanging toe is. Net voor de filters is er een inlaatklep voorzien, die open en toe gaat door middel van een servomotor. Die inlaatklep gaat toe indien de luchtgroep niet actief is of indien de buitenlucht te koud is en zo de ventilator kan beschadigen.

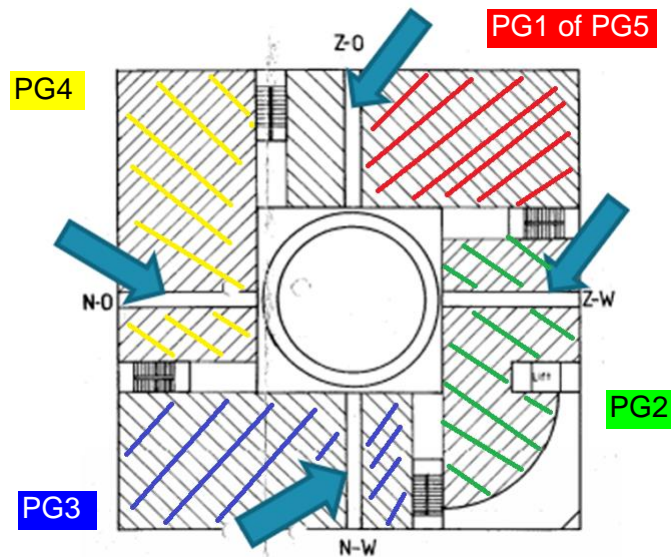
Nu is het duidelijk over welke componenten de 31 luchtgroepen op Campus Groep T beschikken en hoe de lucht toevoer en afvoer werkt. De masterproef gaat nu dieper in op hoe de lucht van de luchtgroepen tot in de lokalen geraakt.

#### **4.1.2 Schachten en kanalen**

Hoe de lucht tot in het gebouw geraakt is al besproken. Dit onderdeel gaat over hoe de toevoerlucht zich over de lokalen verdeelt. Dit gebeurt doormiddel van luchtkanalen die door de muren en in de plafonds lopen tot bij de lokalen.

Het gebouw heeft 4 verticale hoofdschachten waarlangs alle luchtkanalen vertrekkend van verdieping 4 zich kunnen verdelen over alle andere verdiepingen. Op Figuur 4-7 zijn de 4 schachten aangeduid. Die reiken van verdieping 4 tot aan de eerste ondergrondse parking. De 4 schachten zijn gelegen op de grens van 2 modules. Op die manier kan elke module mogelijk voorzien worden van lucht door kanalen komende van 2 schachten. In Tabel 4-2 en op Figuur 4-7 valt op te merken dat de meeste modules bij meerdere PG's staan. Bijvoorbeeld module 3 is zowel voorzien van toevoerlucht door PG1 alsook door PG2.

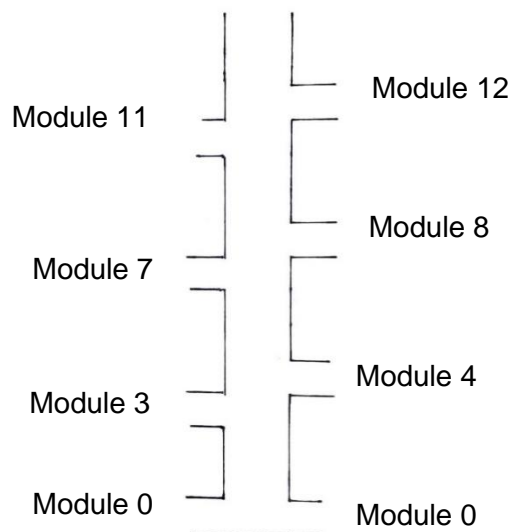




**Figuur 4-7 Hoofdschachten Campus Groep T**

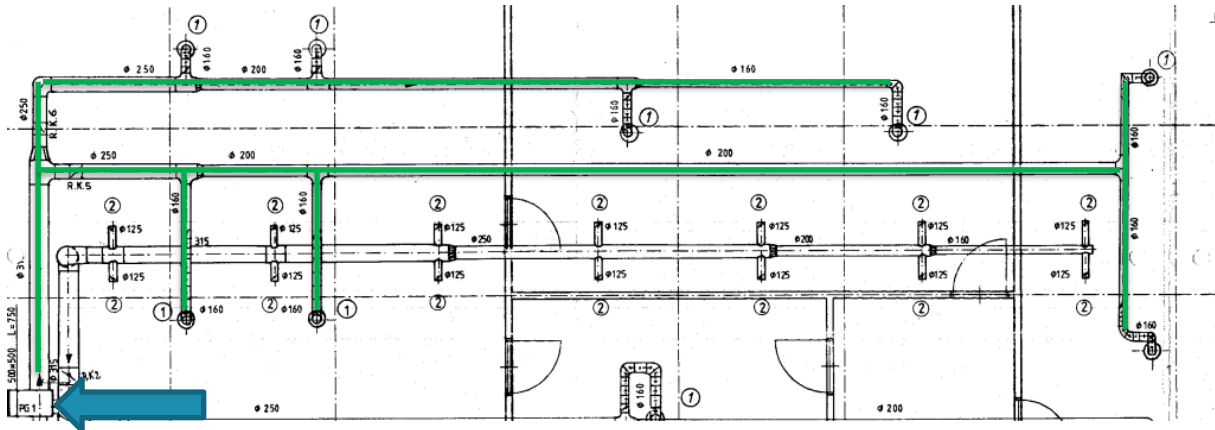
De luchtgroepen op verdieping 4 staan zo dicht mogelijk bij hun respectievelijke schacht. Hun luchtkanalen gaan naar die schacht en gaan daar verticaal naar beneden. Voor sommige luchtgroepen moeten die luchtkanalen echter eerst helemaal naar de andere kant van het gebouw om de juiste schacht te bereiken. De oorzaak is de plaatsing van EG's en PG's aan tegengestelde kanten van het gebouw. Dat is het geval voor de kanalen van PG's die naar de Z-O-schacht moeten (kant vrij technisch instituut).

De 4 hoofdluchtgroepen moeten op verdiepingen 1, 2 en 3 lucht toevoeren en afvoeren. Dat betekent dat die luchtkanalen veel afsplitsingen hebben in de schacht waarin ze lopen. Op Figuur 4-8 is bijvoorbeeld te zien hoe PG2 zich verdeelt over de verschillende modules. De figuur laat ook zien dat de lucht naar module 0 de grootste afstand moet afleggen en dus het meeste weerstand ondervindt. Dat zorgt ervoor dat de debieten voor de beneden verdiepingen lager kunnen liggen dan voor de hoger gelegen verdiepingen. Tijdens het ontwerp van de ventilatie moet men hier rekening mee houden door de diameters en de regelkleppen zo te kiezen dat de debieten voor bijvoorbeeld module 0 toch nog voldoende zijn.



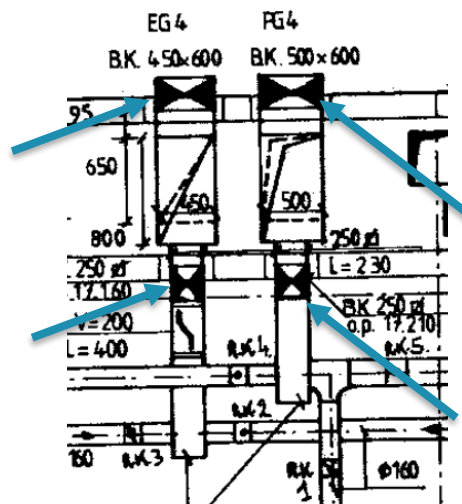
**Figuur 4-8 Schets hoofdkanaal PG2**

Nadat de luchtkanalen zijn afgesplitst van het hoofdkanaal in de schacht, moeten de luchtkanalen de lucht nog verdelen over de verschillende lokalen. Figuur 4-9 geeft een voorbeeld van hoe dat de luchtkanalen van de pulsie over verschillende lokalen kunnen lopen (groene lijnen). Bij de afsplitsing van het hoofdkanaal (blauwe pijl) loopt er een kanaal dat opsplijst in 2 kanalen en zo zich verspreidt over meerdere lokalen. Daardoor wordt duidelijk dat meerdere lokalen van dezelfde module met elkaar verbonden zijn. Dat gegeven maakt het moeilijker om het luchtdebiet van elk lokaal apart te regelen.



**Figuur 4-9 Verdeling luchtkanalen boven de lokalen**

Bij elke afsplitsing van de hoofdschacht naar een module staat er nog een component in het kanaal. Die component is een brandklep, zie Figuur 4-10 (pijlen). Brandkleppen hebben als functie om de ventilatie af te sluiten zodat een brand zich niet kan verspreiden via de ventilatie. Brandkleppen staan in het ventilatiekanaal als het kanaal door een brandwerende muur loopt. Indien de brandklep niet aanwezig zou zijn, is de functie van de muur weg. Brandkleppen staan in normale werking helemaal open en sluiten enkel als de temperatuur te hoog wordt (bijvoorbeeld  $70^{\circ}\text{C}$ ) [40]. Een smeltlood kan de brandkleppen laten sluiten. Bij te hoge temperaturen smelt het onderdeel weg en sluit de klep. Na een brand kan het smeltlood opnieuw worden aangekocht en vervangen. De rest van de brandklep kan behouden blijven. Modernere brandkleppen hebben ook een connectie met het brandalarm, zodat de kleppen ook sluiten wanneer het brandalarm afgaat [40].



**Figuur 4-10 Brandkleppen bij afsplitsing**

Deze paragraaf lichtte toe hoe de lucht van de PG's naar de lokalen gaat en omgekeerd. Daarnaast is duidelijkheid geschept over hoe de kanalen zich verspreiden doorheen het gebouw. In de volgende paragraaf verschuift de focus naar de manier om het debiet nog te regelen net voordat de toevoerlucht het lokaal binnenstroomt.

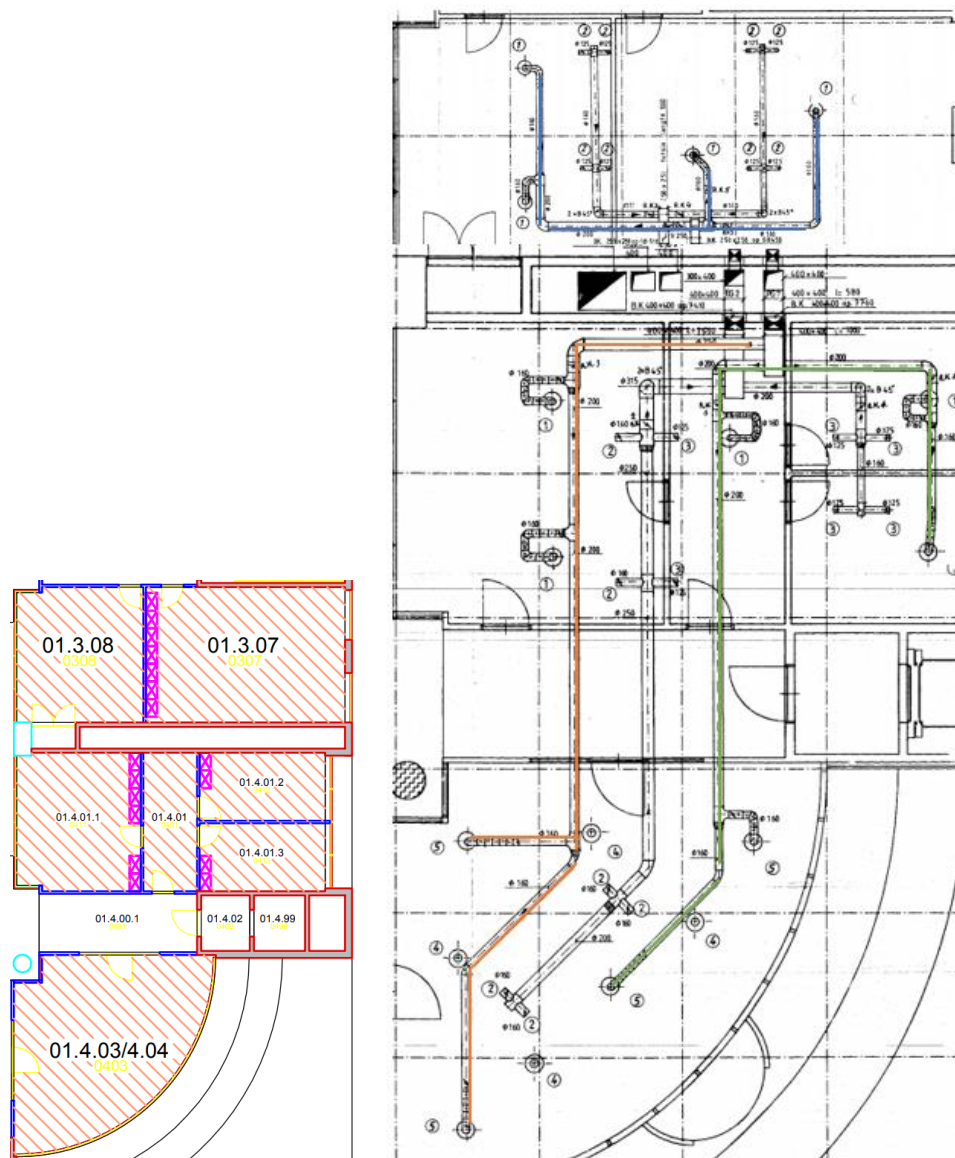
### 4.1.3 Regelkleppen

Net nadat het kanaal is afgesplitst in de schacht en in het vals plafond van het lokaal toekomt, zijn er nog regelkleppen voorzien in de luchtkanalen. De regelkleppen gebruikt in Campus Groep T zijn iriskleppen (zie Figuur 4-11). Die kleppen zijn voorzien van een conische sluiting. De regelkleppen hebben 6 standen. Bij stand 6 is de sluiting helemaal open en bij stand 1 is de sluiting zoveel mogelijk gesloten. Die regelkleppen hebben een uitgebreide datasheet [41] met voor elke stand de K-waarde om te berekenen wat de weerstand is die de lucht zal ondervinden door de klep. De installatiefirma van de ventilatie, in dit geval GEA Happel, stelde de iriskleppen af bij de plaatsing van het ventilatiesysteem. De firma berekende wat de stand van elke klep moest zijn om genoeg debiet te voorzien in elk lokaal. Iriskleppen blijven die stand behouden doorheen het gebruik van de ventilatie. Het is niet de bedoeling om met die kleppen het debiet constant te kunnen te regelen. Dat kan men echter wel doen met VAV-kleppen die automatisch het debiet aanpassen.



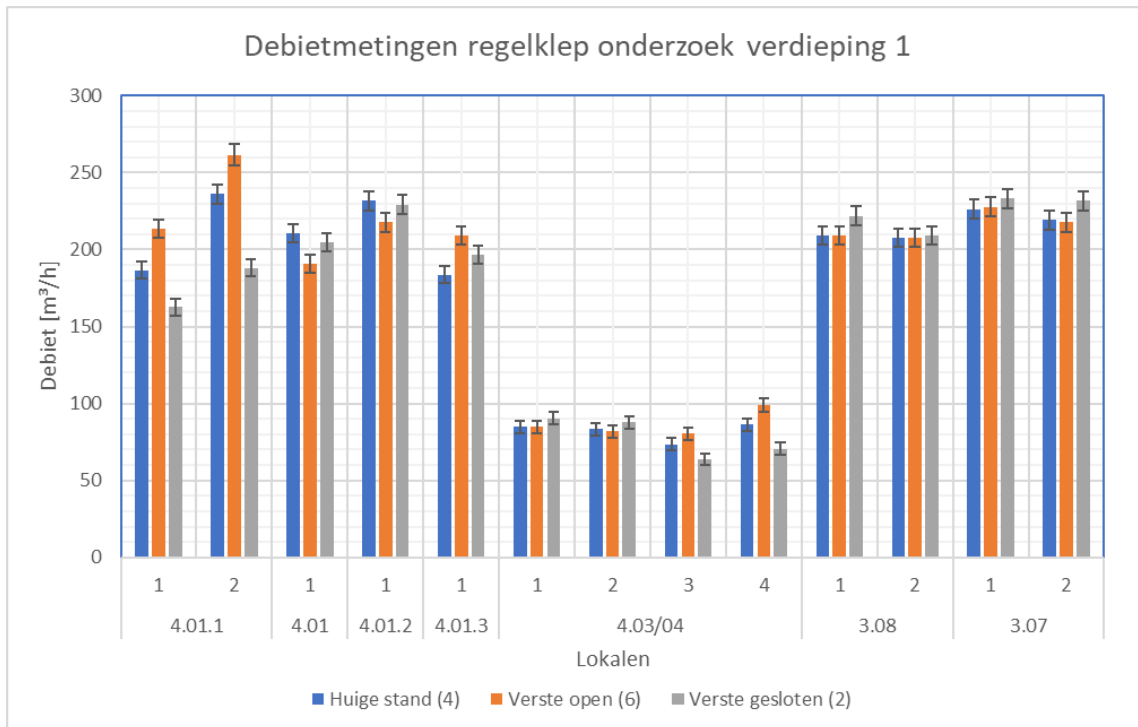
**Figuur 4-11 Irisregelklep [41]**

De invloed van de irisregelkleppen op het ventilatiesysteem is echter wel onderzocht. Figuur 4-12 geeft de plattegrond weer van de onderzochte lokalen. De regelklep die lokaal 01.4.01.1 en deels 01.4.03/04 van lucht voorziet (oranje lijnen), is de regelklep die in het onderzoek verandert van stand. De debieten van de naburige lokalen (groene lijnen) zijn ook gemeten. Daarmee wordt nagegaan hoeveel die debieten veranderen door een regelklep te wijzigen die niet rechtstreeks in verbinding staat met dat lokaal. De 2 lokalen aan de andere kant van de schacht (blauwe lijnen) zijn ook gemeten om de invloed van de regelklep te kennen aan de andere kant van de schacht.



**Figuur 4-12 Lokalen regelkleponderzoek**

Figuur 4-12 toont dus aan welke lokalen tot het regelkleponderzoek behoren. Zoals reeds vermeld, regelt de aangepaste klep het debiet van de luchtkanalen naar de roosters van lokaal 01.4.01.1 en naar roosters 3 en 4 van lokaal 01.4.03/04. Voor die regelklep zijn de debieten gemeten bij de huidige stand van de regelklep (stand 4), bij de meest open stand van de regelklep (stand 6) en bij de meest gesloten stand van de regelklep (stand 2). De draaiknop van de regelklep was stroef en stand 1 was niet mogelijk. Figuur 4-13 toont de resultaten van de debietmetingen. Sommige lokalen hebben meerdere roosters en in de figuur zijn die dus genummerd weergegeven. De figuur vergelijkt de debieten van de rechtsreeks beïnvloede lokalen, de naburige lokalen en de lokalen aan de andere kant van de schacht om het effect van de stand van de regelklep te achterhalen.



**Figuur 4-13 Debietmetingen regelkleponderzoek**

De foutmarge van het meettoestel is opgenomen in de grafiek om na te gaan of de verandering in het gemeten debiet niet kan liggen aan de fout op het toestel. Voor de roosters die rechtstreeks in contact staan met de regelklep verandert het debiet zoals verwacht. Indien de klep meer openstaat, verhoogt het debiet en omgekeerd.

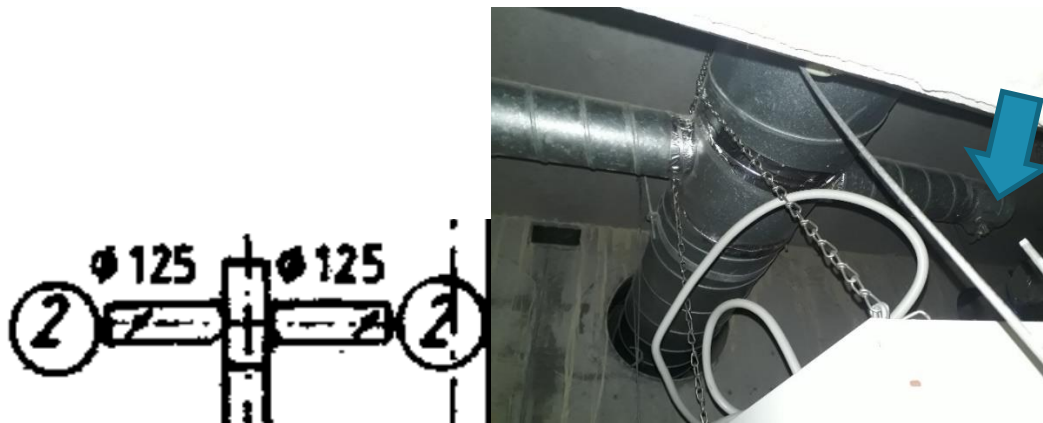
Bij de lokalen die zich langs dezelfde kant van de schacht bevinden, is te zien dat het debiet daalt indien de regelklep meer opengaat. Dat komt omdat lokalen 01.4.01.1 en 01.4.03/04 meer debiet krijgen en er dus minder debiet overblijft voor de andere lokalen. Dat is echter niet het geval bij lokaal 01.4.01.3. Het debiet van dat lokaal steeg namelijk terwijl een daling werd verwacht. Daar is dus mogelijk een foute meting gedaan aangezien de resultaten niet consistent zijn met de resultaten van de andere naburige lokalen. Die inconsistentie is pas bij het verwerken van de resultaten opgemerkt en de meettoestellen waren toen niet meer beschikbaar voor een nieuwe meting. Indien de regelklep meer gesloten is, is het verschil in debiet voor de naburige lokalen kleiner dan indien de regelklep meer openstaat.

Voor de lokalen aan de andere kant van de schacht (01.3.07 en 01.3.08) is de invloed van de regelklep minder groot. Het verschil in debiet is telkens binnen de foutmarge. Het is dus niet mogelijk om duidelijk de invloed van de regelklep op die lokalen te bepalen. Zoals uitgelegd in paragraaf 2.3.4 is de invloed van de verandering in weerstand van een kanaal steeds minder beduidend indien de afstand tussen de 2 regio's vergroot.

Uit het onderzoek blijkt dat de verandering van de regelkleppen een duidelijke invloed heeft op de lokalen die rechtstreeks geregeld worden door diezelfde regelklep. De debieten van de naburige lokalen, op dezelfde module, moeten telkens ook gemeten worden om na te gaan of die nog voldoende debiet krijgen. Het nakijken van debieten op andere modules is minder van belang omdat de invloed van de regelkleppen daar kleiner is, maar voor de zekerheid is het wel aangeraden.

#### 4.1.4 Roosters

In het onderzoek naar het effect van de regelkleppen kwamen de roosters al ter sprake. In dit deel komen de eigenschappen en de types roosters die aanwezig zijn op de campus aan bod. Er is een verschil tussen de pulsie- en extractieroosters. Over heel Campus Groep T, behalve voor de lokalen in de vorm van een vierde van een cirkel bijvoorbeeld lokaal 01.4.03/04 te zien op Figuur 4-12, zijn de lokalen voorzien van een vals plafond met spleten. De extractieroosters bevinden zich in het vals plafond en zijn dus niet zichtbaar (zie Figuur 4-14). De extractie zorgt ervoor dat het vals plafond in onderdruk komt te staan. Daardoor wordt de lucht aangezogen doorheen de spleten van het plafond en doorheen de voorziene gaten in de behuizing van de TL-lampen.



Figuur 4-14 Extractierooster

De pulsieroosters van Campus Groep T zijn wervelroosters (zie Figuur 4-15) die zichtbaar in het vals plafond zijn ingebouwd. De roosters hebben aan hun uiteinde vastgemaakte schoepen. Die buigen de luchtstroom af zodat de toevoerlucht zich zo meer evenwaardig over het lokaal verspreidt. Indien de schoepen er niet waren, zou de toevoerlucht rechtstreeks naar beneden blazen en zou dit een tocht geven. Aangezien de roosters geen asymmetrische stroming hebben, is de meetmethode met een trechter en een vleugelradsonde geschikt voor de debietmetingen uit te voeren.

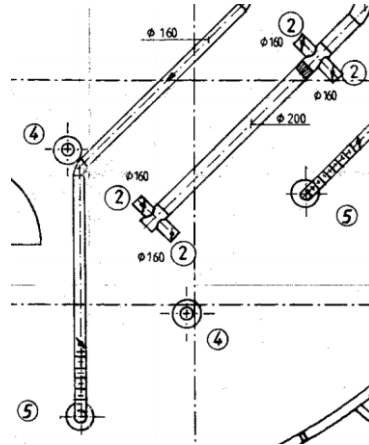


Figuur 4-15 Pulsierooster [42]

Zoals reeds aangehaald hadden niet alle lokalen een vals plafond met spleten. Er zijn 8 lokalen die dat niet hebben. Dat zijn lokalen: 01.4.03/04, 02.8.03/04, 02.8.03.1, 02.8.03.2, 03.12.04/05, 03.12.03, 03.12.04.2 en 03.12.06. Bij die lokalen zijn zowel de pulsie- als extractieroosters zichtbaar, zie Figuur 4-16. De effectieve extractieroosters (aanduiding 2 op Figuur 4-16) bevinden zich in die 8 lokalen nog altijd in het vals plafond zoals bij de andere lokalen. Aangezien het vals plafond in die lokalen geen spleten heeft, is het dus nodig om extra roosters in het plafond te plaatsen (aanduiding 4 op Figuur 4-16) om een verbinding te maken tussen



het lokaal en de ruimte boven het vals plafond. Het is niet mogelijk om op het zicht te zeggen welke roosters voor pulsie (aanduiding 5 op Figuur 4-16) en welke roosters voor extractie dienen, aangezien er in die ruimtes voor beiden een wervelrooster is gebruikt. Dit is te bepalen via de as-built plannen of door te controleren of er toevoer of afvoer van lucht aan het rooster is.



**Figuur 4-16 Luchtkanalen lokaal zonder vals plafond met spleten**

Nu alle mechanische componenten van het ventilatiesysteem van Campus Groep T zijn behandeld en de weg die de lucht aflegt van buiten tot in de lokalen in kaart is gebracht, gaat de masterproef dieper in op de as-built plannen van Campus Groep T.

## 4.2 As-built plannen versus de realiteit

Campus Groep T is gebouwd in 1996, dit is intussen 25 jaar geleden. In 25 jaar tijd zijn er heel wat aanpassingen gebeurd aan het gebouw. Dit subhoofdstuk beschrijft of de ventilatie ook veel is veranderd doorheen de jaren. Allereerst is er gecontroleerd of de luchtdebieten van de lokalen voldoen aan de huidige norm. Als laatste komen de afwijkingen aan bod tussen de bouwplannen en de huidige toestand van het gebouw.

### 4.2.1 Vereiste debieten en actuele debieten

In dit deel van de masterproef gaat het over de luchtdebieten. De studie onderzoekt of de gemeten debieten voldoen aan de huidige wetgeving. De KU Leuven past een recentere versie van de NBN EN 13779-norm, besproken in paragraaf 2.2, toe op haar lokalen. Die norm geeft voor elk soort lokaal hoeveel debiet het lokaal moet krijgen. Voor dit onderzoek zijn er maar een paar lokaaltypen van belang en Tabel 4-3 geeft de norm voor die lokalen weer. Het volledige overzicht van de norm is te vinden in Bijlage A. Voor een bureau of vergaderzaal is er de keuze tussen 30 of 72 m<sup>3</sup>/h per persoon. Een debiet van 72 m<sup>3</sup>/h geldt voor ruimtes die geen ramen en dus geen toegang tot buitenlucht hebben. Voor ruimtes die wel ramen hebben, is het benodigde debiet in deze masterproef ook op 72 m<sup>3</sup>/h per persoon verondersteld. Aangezien de ramen niet altijd openstaan, moet de ventilatie de ruimtes ook voldoende verluchten zonder ramen.

**Tabel 4-3 Luchtdebiet normen toegepast door de KU Leuven**

Lokaaltype	Ventilatievoud [1/h]	Debiet per persoon [m <sup>3</sup> /h.pers]	Debiet per oppervlakte [m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ]	Ontwerppoppervlakte per persoon [m <sup>2</sup> /pers]
Gang	/	/	2,5	15
Leslokaal	/	40	/	2,5
Bureau	/	30/72	/	10
Vergaderzaal	/	30/72	/	3
Labo (beperkt risico)	5	/	/	/
Computerklassen	/	50	/	4

In de literatuurstudie, sectie 2.2, kwam de wetgeving rond luchtdebieten ter sprake. Tabel 4-4 geeft nog een overzicht van de luchtdebieten volgens de wettelijke norm. Daarin is te zien dat de debieten uit Tabel 4-3 voor de leslokalen stroken met de verplichte debieten van een IDA 2 klasse. Voor de bureaus en vergaderlokalen zonder ramen stroken de debieten met debieten van een IDA 1 klasse.

**Tabel 4-4 Ventilatie-debiet gelinkt aan het aantal mensen [15]**

KLASSE	VENTILATIEVOUD MET BUITENLUCHT PER PERSOON (m <sup>3</sup> /h)			
	NIET-ROKERSZONE		ROKERSZONE	
	Typische waarden	Standaardwaarde	Typische waarden	Standaardwaarde
IDA 1	> 54	72	> 108	144
IDA 2	36 - 54	45	72 - 108	90
IDA 3	22 - 36	29	43 - 72	58
IDA 4	< 22	18	< 43	36

Voor deze masterproef is voor een deel lokalen onderzocht of de actuele debieten stroken met de normen die de KU Leuven hanteert. Zoals eerder besproken in 4.1.1 heeft Campus Groep T 4 hoofdlichtgroepen die de meeste lokalen voorzien van lucht. Er is gekozen om per lichtgroep voor minstens 1 module de debieten na te meten. Paragraaf 3.2.1 legde uit hoe die metingen verliepen. Via KU Loket is er voor elk lokaal nagegaan wat de oppervlakte is en hoeveel personen er in het lokaal aanwezig mogen zijn. Voor de bureaus op de campus staat de capaciteit niet op KU Loket. Om de bezetting van die lokalen te weten, zijn het aantal stoelen en bureautafels geteld. Wat opvalt is dat KU Loket de menselijke capaciteit van de lokalen overschat. Hierdoor zijn er 2 soorten vereiste debieten. Beiden bepalen ze het vereiste debiet van een lokaal op basis van het aantal toegelaten personen.

Het vereiste debiet met actuele bezetting is het debiet waarbij de menselijke capaciteit rechtstreeks van KU Loket komt of ter plaatse is geteld op basis van het aantal aanwezige bureautafels. Campus Groep T gebruikt de toegelaten menselijke bezetting voor een lokaal bepaald door KU Loket voor het inplannen van de lessen. Dit vereiste debiet is bij normale omstandigheden (geen Covid-19) dus de gewenste norm.

Het vereiste debiet met genormeerde bezetting is het debiet waarbij de menselijke capaciteit berekend is via de oppervlakte van het lokaal en de ontwerppoppervlakte per persoon. De ontwerppoppervlakten per persoon komen voort uit een advies van de Vlaams overheid. De



ontwerpoppervlakte voor leslokalen is volgens de Vlaamse overheid rond de 2 m<sup>2</sup> per persoon [43]. Voor bureaus is de ontwerpoppervlakte 10 m<sup>2</sup> per persoon en voor vergaderzalen 2 m<sup>2</sup> [44]. Die waarden komen goed overeen met de gehanteerde norm van de KU Leuven. Er valt echter wel op dat de gehanteerde norm van de KU Leuven iets hogere ontwerpoppervlakten heeft dan de Vlaamse overheid voorschrijft. Als gevolg zijn doorheen de masterproef berekende menselijke bezettingen aan de hand van de ontwerpoppervlakten naar boven afgerond. De menselijke bezetting kan dus 1 persoon hoger liggen dan de gehanteerde norm eigenlijk toelaat.

Voor alle gemeten lokalen is de omzetting van de gemeten luchtsnelheden naar het luchtdebiet te vinden in Bijlage B. Al de berekeningen omtrent de vereiste debieten voor alle gemeten lokalen zijn te vinden in Bijlage D. Voor de omzetting van luchtsnelheid en voor beide vereiste debieten is een voorbeeldberekening uitgewerkt voor leslokaal 03.13.01 op basis van de formules uit paragraaf 3.2.1.

Omzetting van de luchtsnelheid naar het luchtdebiet voor rooster 1 van leslokaal 03.13.01.

$$Q = 3600 \cdot \frac{d_{sen}^2 \cdot \pi}{4} \cdot v = 3600 \cdot \frac{(0,1m)^2 \cdot \pi}{4} \cdot \frac{9,1m}{s} = 257,3 \text{ m}^3/h$$

Vereist debiet met actuele bezetting:

$$Q_{act} = M_{cap} Q_p = 80 \text{ personen} \cdot 40 \frac{\text{m}^3}{\text{h} \cdot \text{personen}} = 3200 \text{ m}^3/h$$

Vereist debiet met genormeerde bezetting:

$$Q_{gen} = \frac{A_r}{A_p} Q_p = \frac{129 \text{ m}^2}{2,5 \frac{\text{m}^2}{\text{personen}}} \cdot 40 \frac{\text{m}^3}{\text{h} \cdot \text{personen}} = 52 \text{ personen} \cdot 40 \frac{\text{m}^3}{\text{h} \cdot \text{personen}} = 2080 \text{ m}^3/h$$

Er zijn 3 mogelijkheden bij het vergelijken van de metingen met de 2 vereiste debieten. De eerste mogelijkheid is dat de metingen hoger zijn dan de 2 vereiste debieten. De tweede mogelijkheid is dat de metingen lager zijn dan het ene vereiste debiet, maar hoger dan het andere vereiste debiet. De laatste mogelijkheid is dat de metingen lager zijn dan de 2 vereiste debieten. Tabel 4-5 geeft de legende voor die 3 mogelijkheden weer. De fout op de meting per rooster ligt rond de 10 m<sup>3</sup>/h. Voor het debiet per lokaal vergroot die fout met een factor gelijk aan het aantal roosters in dat lokaal. De fout op de metingen is telkens meegegeven om te controleren of de vereiste debieten niet in de zone van de fout liggen van de metingen.

**Tabel 4-5 Legende debietmetingen**

Metingen hoger dan de 2 vereiste debieten	
Metingen lager dan het ene vereiste debiet, maar hoger dan het andere	
Metingen lager dan de 2 vereiste debieten	

De eerste debietmeting controleerde PG 4 die module 13 en 14 voorziet van verse lucht. Tabel 4-6 geeft de gemeten debieten weer. Bij de 4 onderzochte lokalen is de weergegeven capaciteit door KU Loket overschat als men die vergelijkt met de ontwerpoppervlakte. Hoewel dat het geval is, liggen de debieten op module 14 hoger dan de norm voorschrijft. De lokalen van module 14 zijn de enige waarbij het verschil zo groot is over heel het onderzoek. De lokalen op module 13 daarentegen hebben te weinig debiet om de norm te halen.

**Tabel 4-6 Debieten PG4 module 13/14**

Lokaal	Vereist debiet actuele bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Vereist debiet genormeerde bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Debiet metingen [m <sup>3</sup> /h]
03.13.07	1000	920	496 ± 14
03.13.08	1000	520	472 ± 13
03.14.03	1008	576	1380 ± 38
03.14.01	720	432	1035 ± 27

Tijdens de metingen voor PG4 werden er vreemde resultaten verkregen. De metingen die gebeurden op die roosters gaven een debiet rond de 50 m<sup>3</sup>/h of lager. Dat was veel lager dan verwacht. Als controle gebeurde er metingen op roosters van een andere PG. Bij die metingen lag het debiet rond de 200 m<sup>3</sup>/h per rooster. Om na te gaan of het probleem effectief bij PG4 lag, werd er ook een lokaal gemeten op module 10. Dat lokaal krijgt ook lucht van PG4 en ook daar lagen de debieten rond de 50 m<sup>3</sup>/h. De technische dienst vond een probleem bij PG4 en loste het op. Het probleem was dat de servomotor die de inlaatklep opent en sluit kapot was waardoor die klep toe bleef. Hierdoor kon PG4 geen buitenlucht aanzuigen en waren al de lokalen die PG4 debiet levert, niet voorzien van toevoerlucht. Het was niet duidelijk hoelang dat probleem zich al voordeed. Nadat het probleem opgelost was, waren gemeten debieten van PG4 in dezelfde grootteorde als die van de andere lokalen.

De tweede debietmeting voor een van de hoofdlichtgroepen vond plaats op module 3. Tabel 4-7 geeft de resultaten weer voor PG1 gemeten op module 3. Lokalen 01.3.01 en 01.3.02/03 zijn labo's en hebben geen 2 vereiste debieten omdat de gehanteerde norm geen ontwerppoppervlakte oplegt voor labo's. Voor de labo's zijn de gemeten debieten te laag. Die voldoen niet aan de norm. Voor lokaal 01.3.05 is het gemeten debiet hoger dan de 2 vereiste waardes. Er werken voor beide bureaus (01.3.04, 01.3.05) te veel personen in de ruimte volgens de ontwerppoppervlakte per persoon uit Tabel 4-3. Hoewel er niet aan de ontwerppoppervlakte voldaan is levert de ventilatie voor de lokaal 01.3.05 wel voldoende debiet. Voor bureau 01.3.04 is dat niet het geval.

**Tabel 4-7 Debieten PG1 module 3**

Lokaal	Vereist debiet actuele bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Vereist debiet genormeerde bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Debiet metingen [m <sup>3</sup> /h]
01.3.01	1950		1499 ± 40
01.3.02/03	1365		1004 ± 27
01.3.04	504	360	345 ± 11
01.3.05	360	288	498 ± 14

De derde debietmeting testte of PG2 aan de huidige norm voldoet. Tabel 4-8 geeft de resultaten van de metingen op module 7 en 8. Lokaal 02.8.01 is een gang en heeft geen 2 vereiste debieten omdat de gehanteerde norm geen ontwerppoppervlakte oplegt voor gangen. Van de 8 gemeten ruimtes voldoen er 5 aan geen enkel vereist debiet. Enkel de gang en lokaal 02.8.01.2/3 hebben voldoende debiet in alle situaties. Voor Lokaal 02.7.05 voldoet het gemeten debiet niet aan de vereiste norm die zich baseert op actuele bezetting. Als men

rekening houdt met het debiet op basis van de ontwerppoppervlakte per persoon is het debiet wel voldoende voor lokaal 02.7.05.

**Tabel 4-8 Debieten PG2 module 7 en 8**

Lokaal	Vereist debiet actuele bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Vereist debiet genormeerde bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Debiet metingen [m <sup>3</sup> /h]
02.8.01.1	936	864	464 ± 13
02.8.01	42		221 ± 7
02.8.01.2/3	288	288	325 ± 11
02.8.03.1	72	144	66 ± 4
02.8.03/04	432	360	147 ± 8
02.8.03.2	144	144	68 ± 4
02.7.04	600	700	404 ± 12
02.7.05	504	288	416 ± 12

De vierde debietmeting controleerde ook PG2 maar op andere modules. Tabel 4-9 geeft de resultaten voor de metingen op module 3 en 4. Lokaal 01.4.01 is ook een gang en heeft dus geen 2 vereiste debieten. Er zijn 3 van de 7 gemeten ruimtes die aan beide vereiste debieten voldoen. Daarnaast zijn er 2 lokalen die momenteel ver onder de norm liggen. Lokaal 01.4.01.1 is het lokaal waar het presidium van Industria zich bevindt. In dat lokaal zijn er stoelen en tafels voorzien voor ongeveer 14 personen. Er zouden echter maar 4 personen mogen zitten volgens de norm die rekening houdt met de ontwerppoppervlakte. In dat geval is het debiet wel voldoende. Lokaal 01.3.08 haalt geen van de vereiste debieten. Het is een leslokaal waar volgens KU Loket 25 personen aanwezig mogen zijn. Volgens de ontwerppoppervlakte zouden hier maar 14 personen mogen werken.

**Tabel 4-9 Debieten PG2 module 3 en 4**

Lokaal	Vereist debiet actuele bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Vereist debiet genormeerde bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Debiet metingen [m <sup>3</sup> /h]
01.4.01.1	1008	288	423 ± 12
01.4.01	42		211 ± 6
01.4.01.2	72	144	232 ± 7
01.4.01.3	72	144	184 ± 6
01.4.03/04	504	504	328 ± 17
01.3.07	720	432	417 ± 13
01.3.08	1000	560	445 ± 12

De laatste debietmeting testte of PG3 de huidige norm haalt voor enkele lokalen. Tabel 4-10 toont de resultaten van de meting op module 13. Geen enkel gemeten lokaal haalt de norm op basis van het toegelaten aantal personen volgens KU Loket. De menselijke capaciteit is telkens overschat en er zouden zich niet zoveel mensen in die lokalen mogen bevinden. Indien men het gemeten debiet vergelijkt met de norm die rekening houdt met de ontwerppoppervlakte is het probleem minder groot. Toch is voor alle gemeten ruimtes het debiet dan nog steeds niet voldoende.

**Tabel 4-10 Debieten PG3 module 13**

Lokaal	Vereist debiet actuele bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Vereist debiet genormeerde bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Debiet metingen [m <sup>3</sup> /h]
03.13.01	3200	2080	1484 ± 40
03.13.02	1600	760	455 ± 13
03.13.03	1200	680	465 ± 13
03.13.04	864	432	410 ± 13
03.13.05	1000	720	444 ± 13

Om de toestand van de ventilatie te kunnen beschrijven vergelijkt men de gemeten volumestromen met de vereiste volumestromen op basis van de actuele bezettingsgraad gegeven door KU Loket. Die vereiste volumestromen geven de norm weer die de ventilatie moest halen bij normale omstandigheden (geen Covid-19). Uit dit onderzoek blijkt dat voor 20 van de 28 onderzochte ruimtes de debieten lager liggen dan die norm. Daarnaast liggen voor 18 van de onderzochte ruimtes de debieten lager dan de 2 vereiste debieten. Er waren slechts 8 van de onderzochte ruimtes waarvoor de volumestromen beide situaties van de norm haalden. Voor 10 van de onderzochte ruimtes die het vereiste debiet met actuele bezetting niet halen is het verschil 50% of meer met de norm. Dat impliceert dat in die ruimtes minder dan de helft van de mensen zou mogen plaatsnemen.

Losstaand van de ventilatie is er een algemene conclusie over de menselijke bezetting. KU Loket overschat het aantal toegelaten mensen per lokaal. Volgens de oppervlakte en de ontwerppoppervlakte per persoon van de norm, zouden er voor elk lokaal minder mensen aanwezig mogen. Als men de bezetting op KU Loket aanpast zouden de gemeten debieten ook dichterbij de vereiste debieten met genormeerde bezetting komen. Het is dus aangeraden om KU Loket aan te passen zodat de bezetting van de lokalen conform is met de norm van de ontwerppoppervlakte.

Bijkomend valt op dat de onderhoudsdienst van de KU Leuven geen melding kreeg over een probleem met PG4. PG4 heeft geen frequentiesturing en drukmeting, dus niemand wist dat PG4 door de gesloten inlaatklep zich vacuüm zoog. Dat is een probleem, aangezien veel lokalen zonder luchttoevoer zaten en niemand wist hoelang dat al gaande was. Momenteel hebben 10 van de 31 luchtgroepen een frequentieregelaar, wat minder dan de helft is. Bij de luchtgroepen zonder frequentieregelaar zou dat probleem ook onopgemerkt kunnen gebeuren. Het toevoegen van frequentieregelaars wordt dus aangeraden.

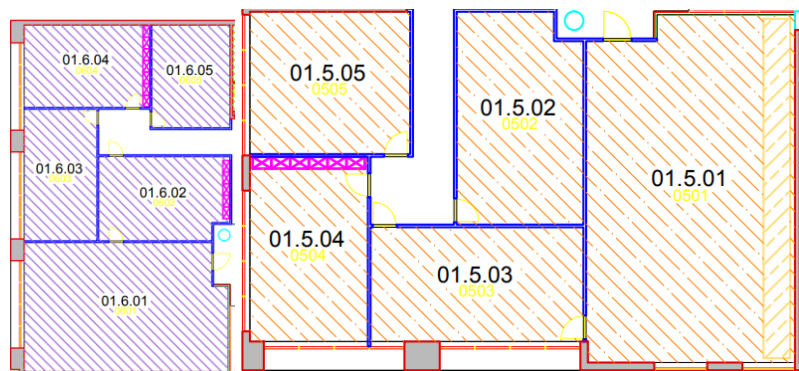
De initiële ontwerpdebieten in 1996 voor alle lokalen apart zijn niet beschikbaar. Enkel de nominale debieten van elke luchtgroep zijn beschikbaar. De mogelijkheid om die te meten viel buiten de capaciteiten van dit onderzoek. Aangezien de ventilatie type D is zou ook telkens de extractie nagemeten moeten worden. Extractie is even belangrijk als pulsie aangezien al de vervuilde lucht ook afgezogen moet worden. Type D is een balansventilatie en pulsie en extractie zouden zoveel mogelijk gelijk moeten zijn. Met de beschikbare meettoestellen kon de extractie niet nagemeten worden. Dat is interessant voor verder onderzoek.

## 4.2.2 Afwijkingen t.o.v. as-built plannen

De voorbije 25 jaar zijn er heel wat aanpassingen gebeurd aan het gebouw. De vraag is of die aanpassingen ook terug te vinden zijn in de bouwplannen van Campus Groep T. In dit deel komen de afwijkingen aan bod die opgemerkt zijn tijdens het bestuderen van de plannen en tijdens de debietmetingen.

Lokaalaanpassingen:

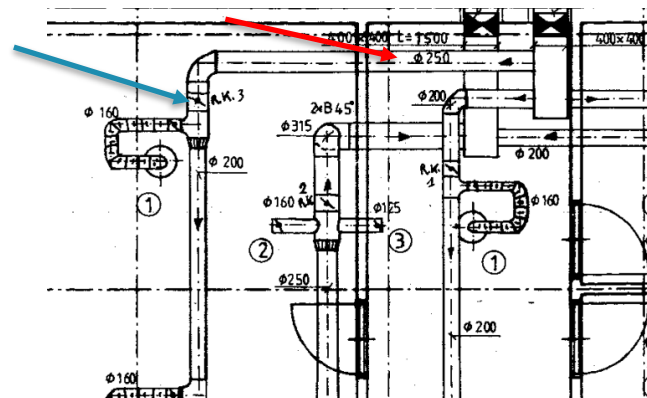
In de loop van de jaren zijn heel wat lokalen aangepast aan nieuwe noden. De muren tussen de lokalen zijn gemaakt van gyproc platen en zijn eenvoudig te verwijderen. De plattegrond, te zien op Figuur 4-17, is dus niet meer accuraat. Op module 5 zijn bijvoorbeeld lokalen 01.5.02, 01.5.03, 01.5.04 en 01.5.05 omgevormd tot 1 groot lokaal. Aan de ventilatie zelf is er niets veranderd, maar de technische dienst zou moeten nakijken of de debieten nog voldoen aan de norm overeenkomstig met de nieuwe grootte van het lokaal. Hetzelfde is gebeurd op module 6 waarbij lokalen 01.6.02, 01.6.03, 01.6.04 en 01.6.05 zijn samengevoegd.



Figuur 4-17 Veranderingen lokalen module 5/6

Regelkleppen:

De tweede afwijking is ontdekt tijdens het onderzoek naar het effect van de regelkleppen. Figuur 4-18 laat zien welke plannen zijn gebruikt tijdens het regelkleponderzoek. De linkse pijl laat zien waar de regelklep zich zou moeten bevinden. Dat is in lokaal 01.4.01.1. Tijdens het onderzoek is er daar naar die regelklep gezocht, maar niet gevonden. Die regelklep bevond zich in de hoek van de gang ernaast, 01.4.01 (zie rechtse pijl). Dat komt niet overeen met de plannen want op de plannen staan er geen kleppen in die buurt. Die afwijking geeft aan dat er mogelijk nog regelkleppen verkeerd staan op de plannen en dus moeilijk te vinden zijn.



Figuur 4-18 Afwijking regelklep lokaal 01.4.01.1

De laatste afwijking heeft ook met regelkleppen te maken. Deze keer gaat het over auditorium 00.2.02. De plaats van de regelkleppen is niet nagekeken en dus kunnen de kleppen mogelijk anders staan. Het lokaal is langs 2 kanten verlucht door PG6. De kanalen naar het auditorium zijn ook voorzien van regelkleppen. Die kleppen hebben nummers en normaal zijn die nummers uniek per regelklep. Bij het auditorium is dit niet het geval en zijn de nummers 4, 5, 6 en 7 gegeven aan telkens 2 kleppen. Dit maakt het moeilijk om een lijst te maken van de kleppen voor een duidelijk overzicht te hebben.

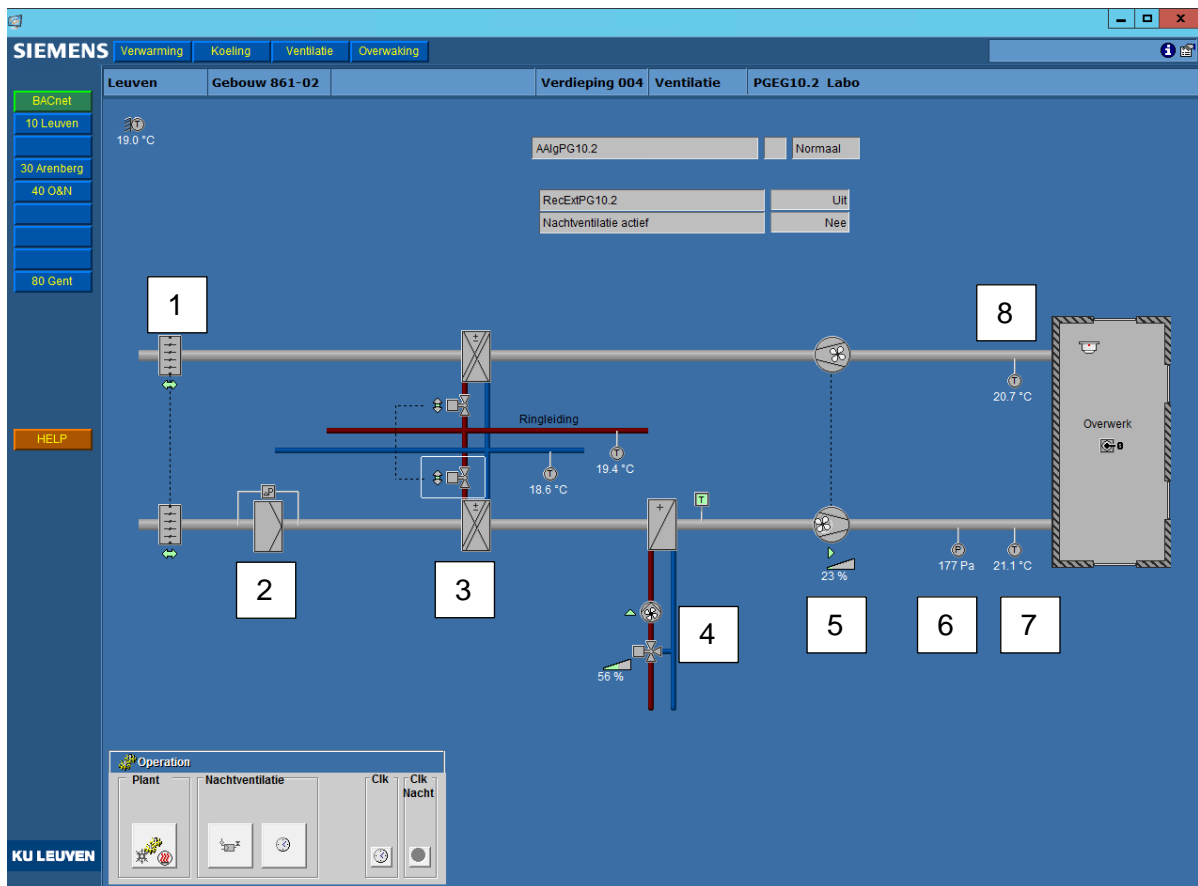
### **4.3 Regeling van de ventilatie**

Er is nog een belangrijk onderdeel van de ventilatie niet besproken, namelijk hoe de technische dienst van de KU Leuven de ventilatie regelt. Dat gebeurt via een gebouwbeheersysteem dat alle parameters van Campus Groep T opvolgt. Op basis daarvan kan de technische dienst de gewenste temperaturen, werkuren en snelheden van de ventilatoren ingeven. Het programma stuurt dan de lokale actuatoren van de ventilatie aan.

#### **4.3.1 Gebouwbeheersysteem**

KU Leuven beschikt over een gebouwbeheersysteem van 'SIEMENS', 'Desigo Insight'. Campus Groep T is aangesloten op dat systeem en zo beheert de technische dienst de ventilatie van de campus. Ook de verwarming is daarmee verbonden. Figuur 4-19 is een voorbeeld van de user interface van het gebouwbeheerssysteem. Hier ziet men een specifieke PG en EG die aan elkaar gekoppeld zijn. De luchtgroepen op die figuur beschikken over een frequentiesturing.

Aanduiding 1 op de figuur duidt de inlaatkleppen van de luchtgroepen aan. Die zijn gelijktijdig aangestuurd door elk een servomotor. Het gebouwbeheersysteem krijgt geen info over de toestand van de in- en uitlaatkleppen. Om te kunnen weten of de kleppen open of toe staan is er een sensor nodig die dat aangeeft en doorstuurt naar het beheersysteem. Aanduiding 2 toont de drukmeter over de filter van de PG. Als die een verhoogde druk weergeeft, betekent dit dat de filter aan vervanging toe is. Het vuil dat zich opstapelt in de filter zorgt namelijk voor een drukverhoging over de filter. Aanduiding 3 verwijst naar de warmterecuperatie. De temperaturen van de warme en koude leiding zijn hier af te lezen, alsook de ventielen die het glycolwaterdebiet door de luchtgroepen bepalen. Aanduiding 4 duidt het extra verwarmingselement met bijhorend circuit aan. De extra verwarming zorgt ervoor dat de toevoerlucht de gewenste temperatuur heeft. Bij die verwarming is er een pomp en een 3-wegkraan aanwezig. De stand van de kraan geeft aan hoeveel warm water naar de verwarming stroomt om de temperatuur van de lucht te verhogen. In het beheersysteem geeft de technische dienst de grenzen van de temperatuur van de lucht aan. Op basis hiervan bepaalt het beheersysteem hoever de kraan open moet staan. Aanduiding 5 toont de frequentiesturing die zowel de ventilator van de PG als die van de EG aanstuurt. Het percentage van vollast is af te lezen op het systeem. Ook hier is de druk van de ventilator regelbaar tussen 2 gekozen grenzen. Afhankelijk van de gemeten druk zal de frequentiesturing indien nodig bijsturen. De drukmeting is te zien bij aanduiding 6. De combinatie van drukmeting en frequentiesturing maakt het mogelijk om het debiet door de luchtgroep precies te kennen en indien nodig aan te passen. Aanduiding 7 en 8 geven respectievelijk de temperatuurmetingen van de lucht die de PG verlaat en de lucht die de EG binnenkomt.



**Figuur 4-19 Interface gebouwbeheersysteem**

In het systeem is het ook mogelijk om de uren wanneer de luchtgroepen moeten draaien individueel aan te passen. De werkuren staan standaard van 6:30 tot 19:30. Indien de campus langer gebruikt wordt, kan de technische dienst dat aanpassen. Tijdens de warme zomermaanden zijn de werkuren van de ventilatie anders. De ventilators starten dan al rond 4:30 's morgens om de koudere ochtendlucht naar binnen te blazen en de warme binnenlucht naar buiten te brengen. Dat is een soort natuurlijke koeling die de campus afkoelt zodat er een aangename binnentemperatuur heerst wanneer studenten en personeel toekomen.

Het beheersysteem maakt het mogelijk om de luchtdebieten en componenten van de ventilatie constant te monitoren. Het systeem geeft al die informatie door aan de actuatoren gelegen op de campus. Hierdoor zijn veel aspecten van de ventilatie geautomatiseerd.

### 4.3.2 Lokale regeling

Het gebouwbeheersysteem is de 'Master-component' van de ventilatieregeling. De 'Slave-componenten' zijn de actuatoren die het beheersysteem aanstuurt. Er zijn verschillende actuatoren die elk hun functie hebben: frequentiesturingen, pompen, ventielen en regelkleppen.

Daarnaast is er op Campus Groep T ook een schakelkast (zie Figuur 4-20) waarmee een medewerker van de technische dienst alle PG's en EG's manueel kan aan- en afschakelen. Elke luchtgroep heeft een schakelaar met 3 standen: 'stop', 'automatisch' en 'handmatig'. In normale gevallen staat de luchtgroep op stand automatisch, ze wordt dan bestuurd via het gebouwbeheersysteem. Elke luchtgroep heeft ook 3 indicatorlampen die weergeven of de



luchtgroep in werking is, in storing is of een afwijking vertoond. De PG's hebben ook een extra indicatorlamp om aan te geven of de filter aan vervanging toe is.

Tijdens het nameten van de luchtdebieten van de lokalen werd al uitgelegd dat er toen een probleem met PG4 was. Terwijl dat probleem zich voordeed, gaf de indicatorlamp van PG4 aan dat er geen probleem was met de luchtgroep. Een probleem dat ervoor zorgt dat lokalen geen debiet meer krijgen is nochtans belangrijk om op te merken.



**Figuur 4-20 Schakelbord verdieping 4 luchtgroepen**

Nu komen alle actuators die hun signalen krijgen van het gebouwbeheersysteem via de schakelkast aan bod.

Frequentieregelaars:

De eerste soort actuators zijn de frequentieregelaars. Die regelen de snelheid van de asynchrone motor die op zijn beurt via een riemoverbrenging de ventilator aandrijft. De regelaars maken het mogelijk om het werkingpunt van het ventilatiesysteem te verschuiven. Ze passen de frequentie aan om de druk in de luchtgroep binnen bepaalde grenzen te behouden. Dat zorgt ervoor dat de ventilator steeds in een efficiënt punt van de ventilatorcurve kan werken. Niet elke luchtgroep heeft een frequentieregelaar. Een overzicht van welke luchtgroepen er al 1 hebben is dus noodzakelijk. Tabel 4-11 geeft het overzicht weer. Uit de tabel valt op dat er 10 van de 31 luchtgroepen voor lokalen met menselijke bezetting, beschikken over een frequentieregelaar. Van de luchtgroepen zonder regelaar is er eigenlijk niet geweten op welk punt van de curve de ventilatoren werken. Het debiet is niet aanpasbaar en is volledig afhankelijk van de weerstand van de luchtkanalen.

**Tabel 4-11 Lijst met luchtgroepen die frequentieregelaar hebben**

PG met frequentieregelaar	EG met frequentieregelaar
PG5	EG1
PG6	EG5
PG10/1	EG6
PG10/2	EG16
PG15	EG26



Het gebruik van frequentieregelaars brengt ook aandachtspunten en mogelijke problemen met zich mee. Af en toe gaat er namelijk een frequentieregelaar stuk. Dat zorgt ervoor dat de ventilator niet meer controleerbaar is en bijvoorbeeld te warme lucht door de lokalen begint te blazen. Een aandachtspunt is dat de sturingskabels van de regelaar ver genoeg van de voedingskabels moeten liggen in de kabelgoot. Dat is op de campus niet het geval, aangezien alle gebruikte kabels in een smalle kabelgoot bij elkaar liggen. Dat kan zorgen voor elektromagnetische interferentie (EMI) met als resultaat dat het signaal van de schakelkast naar de regelaar kan veranderen.

Pompen:

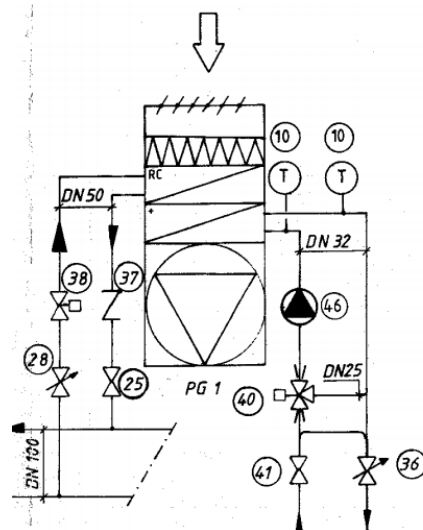
De tweede soort actuatoren zijn de pompen gebruikt in het ventilatiesysteem. De warmterecuperatie bevat 1 pomp die al het glycolwater naar de luchtgroepen stuurt. Bijkomend heeft elke PG een aparte pomp (Figuur 4-21, nummer 46) om warm water te vervoeren naar de extra verwarmingscomponent. Dat warm water warmt de toevoerlucht extra op tot de juiste temperatuur. Het beheersysteem stuurt ook al die pompen aan.

Ventielen:

De derde soort actuatoren zijn de ventielen. Zowel voor de warmterecuperatie als voor de extra verwarming heeft de luchtgroep ventielen nodig. Figuur 4-21 toont een schema van de ventielen van de PG's. De linkse ventielen zijn voor de warmterecuperatie en de rechtse voor de extra verwarming. Tabel 4-12 geeft een overzicht van de ventielen die te zien zijn op de figuur. Zowel het ventiel voor de aanvoer van glycolwater als dat voor de aanvoer van warm water zijn gemotoriseerd en aangestuurd door het gebouwbeheersysteem.

**Tabel 4-12 Componenten verwarming luchtgroep**

Nummer	Component
10	Thermometer
46	Pomp
40	3-wegventiel (aangestuurd)
41	Afsluitkraan
36	Regelafsluiter
28	Regelafsluiter
38	Gemotoriseerde vlinderklep
37	Terugslagklep
25	Vlinderklep



**Figuur 4-21 Ventielen pulsiegroep**

Op de figuur is te zien dat er net voor het 3-wegventiel (40) van de extra verwarming een bypass staat. In die bypass staat geen ventiel dus water kan vrij door dit stuk stromen. Dat betekent dat het warm water dat in de richting van de PG stroomt al terug naar de ketel kan stromen zonder dat het langs de PG is gepasseerd. Als gevolg kan het warm water de lucht minder efficiënt verwarmen. De bypass, een T-stuk, heeft een weerstandsfactor (K-waarde) van 1 en het 3-wegventiel heeft een K-waarde van 9,76. De waarde van het 3-wegventiel is berekend uit de technische informatie van het ventiel (zie Bijlage C). De K-waarde van de

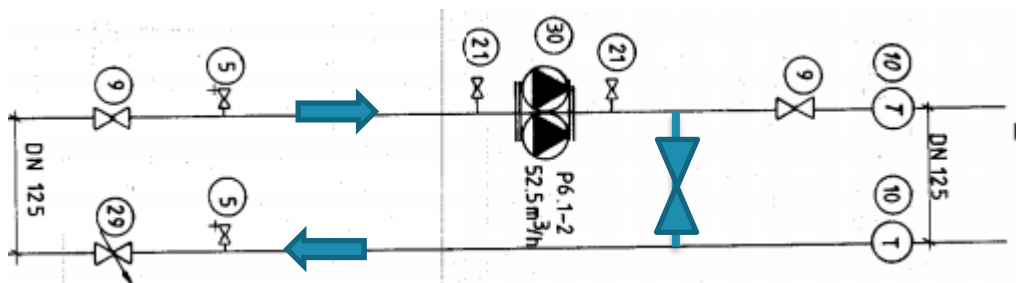
bypass is lager dus de bypass heeft minder weerstand dan het 3-wegventiel. Bijgevolg stroomt een deel van het warm water door de bypass en niet door de luchtgroep. Aangezien het debiet van het water naar de PG daalt, moet de temperatuur van het water stijgen voor dezelfde hoeveelheid warmte te leveren aan de toevoerlucht. Om een hogere temperatuur te bekomen, moeten de ketels meer aardgas verbranden en stijgt het energieverbruik van Campus Groep T dus onnodig. De ketels zijn vernieuwd in 2019, maar het verbruik is sindsdien alleen maar gestegen [intern verkregen]. De technische dienst is hiervan op de hoogte en gaat de bypass in juli 2021 verwijderen.

De bypass had echter wel een nut. Vanuit de verwarmingsketels is er een hoofdpomp die het warm water naar alle PG's pompt. Als de PG geen warm water nodig heeft sluit de 3-wegkraan. De hoofdpomp blijft echter wel water pompen dus bouwt er druk op aan de PG. De bypass zorgt er dan voor dat er nog altijd recirculatie is en dat de druk niet kan opbouwen aan de PG. De bypass dus zomaar verwijderen kan niet omdat het systeem dan in overdruk kan staan. Daarom gaat de technische dienst een bypass met een drukventiel plaatsen aan de hoofdpomp zelf, zoals te zien is op Figuur 4-22.



**Figuur 4-22 Algemeen drukventiel verwarming luchtgroepen**

Hierdoor is er een verbinding tussen het heengaand en het teruggaand water. Indien de vraag naar warm water daalt, maar de hoofdpomp blijft water pompen kan de druk aan de PG met de gesloten 3-wegkraan stijgen en zal het drukventiel opengaan. Zo ontstaat er toch recirculatie en treedt er geen drukopbouw op. Op Figuur 4-23 is de hoofdpomp van de luchtgroepen te zien en is aangeduid waar de bypass met het drukventiel dan zou komen (blauwe zandloper).



**Figuur 4-23 Hoofdpomp warm water luchtgroepen**

Volgens de technische dienst zal op die manier het gasverbruik van de campus dalen en zal de toevoerlucht op een efficiëntere manier opwarmen.

## Regelkleppen:

De laatste soort actuatoren zijn de regelkleppen net voor de lokalen. Die kunnen lokaal de debieten van het ventilatiesysteem regelen om het debiet aan te passen naar de noden van het lokaal. Zoals reeds vermeld beschikt de campus momenteel over manuele iriskleppen, instelbaar via een draaiknop. Die kleppen zijn moeilijk bereikbaar in het vals plafond en draaien stroef. Ze zijn niet gebruiksvriendelijk als regelmethode. Dat is dus ook niet het doel van de kleppen op Campus Groep T. Ze zijn bij het ontwerp ingesteld om de installatie uit te balanceren en kunnen niet gebruikt worden om de debieten via het gebouwbeheersysteem te regelen. Ze horen dus niet van stand te veranderen. Dat beperkt de lokale regeling van de ventilatie voor het gebouw.

Alle soorten actuatoren van het ventilatiesysteem van Campus Groep T die het gebouwbeheersysteem regelt, zijn hierboven besproken. Het is mogelijk om het regelsysteem uit te breiden met meer automatisatie. Eerst en vooral is het aangeraden om alle luchtgroepen van frequentieregelaars te voorzien zodat de luchtgroepen op een efficiënt punt kunnen werken. Een andere mogelijke aanpassing is om de manuele regelkleppen te vervangen door automatische kleppen zoals VAV-kleppen. Die kleppen worden gekoppeld met sensoren die bijvoorbeeld de CO<sub>2</sub> in een lokaal meet, de aanwezigheid van personen kan detecteren of de temperatuur kan meten. De kleppen meten ook het debiet en dat geeft extra info voor het gebouwbeheersysteem. Zo kan men voor elk lokaal apart nagaan of de debieten voldoen aan de norm. Een bijkomend voordeel is dat de sensoren gekoppeld aan de VAV-kleppen de bezetting van de lokalen kunnen aantonen. Daaruit volgt dat de ventilatie niet 'full-time' lucht moet voorzien voor lokalen die leegstaan. De ventilatie werkt dan efficiënter omdat het debiet dan kan verdeeld worden over de lokalen die wel bezet zijn. Er moet echter wel steeds een minimum debiet voorzien worden voor lege lokalen aangezien de ventilatie ook instaat voor de verwarming van de lokalen.

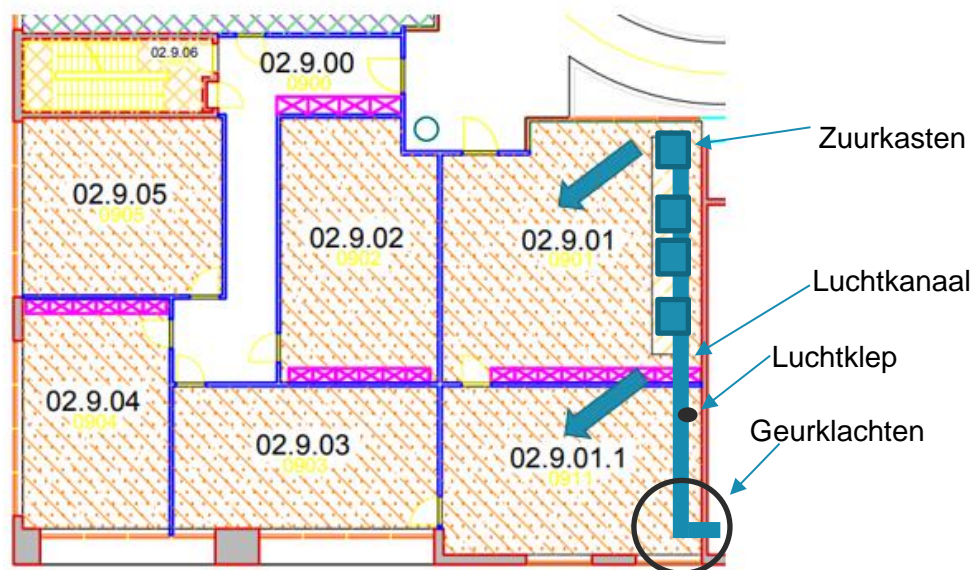
Samengevat is de ventilatie van Campus Groep T al grotendeels geautomatiseerd, maar kan het efficiënter door onder andere de bypass te verwijderen, alle luchtgroepen te voorzien van frequentieregelaars en door een systeem te implementeren dat het debiet meer per lokaal kan regelen zoals een VAV-systeem.

## 5 LOKALEN MET PROBLEMEN INCL. AANBEVELINGEN

Op Campus Groep T zijn er een paar lokalen die door de jaren heen problemen hadden met de ventilatie. De preventieadviseur van de campus, Meneer Vuylsteke, heeft een overzicht van die lokalen en de optredende problemen gegeven. Die informatie vormt de basis om de problemen in kaart te brengen en mogelijke oplossingen te zoeken. Hieronder volgt een overzicht van de problemen per lokaal

### 5.1 Lokaal 02.9.01.1

Lokaal 02.9.01.1 is een ruimte voor onderzoek van doctoraat- en masterstudenten op module 9. Het lokaal ernaast 02.9.01 (zie Figuur 5-1) is een chemielokaal met 4 zuurkasten. Vroeger vormden lokalen 02.9.01.1 en 02.9.01 één groot lokaal maar nu staat er een valse wand tussen. Hierbij is er mogelijk schade aangericht aan het kanaal van de zuurkasten van lokaal 02.9.01. Dit kanaal loopt van 02.9.01 door de valse muur naar 02.9.01.1 en gaat in de hoek van dit lokaal (bij het raam) in de hoofdschacht. Sinds de verbouwingen en bij het uitvoeren van experimenten die veel geur vrijgeven in de zuurkasten van 02.9.01, is er tijdens die proeven op onregelmatige momenten sprake van geurhinder in 02.9.01.1.



Figuur 5-1 Plattegrond lokaal 02.9.01.1

Normaal zuigt de zuurkast de gecreëerde gassen tijdens de experimenten rechtsreeks af naar de EG16 en zou er dus geen geurhinder mogen zijn. De meest logische verklaring voor de geurhinder is dus dat er ergens een lek in het extractiekanaal zit. Een paar jaar geleden heeft de technische dienst van de KU Leuven een rookbom afgestoken in een van de zuurkasten om na te gaan waar die mogelijke lek zich situeert. De rook werd afgezogen en was in het lokaal ernaast nergens te zien. Een uitdaging bij dit probleem is de onzekerheid over het optreden ervan. De geurhinder komt niet altijd voor bij het uitvoeren van experimenten onder de zuurkast waarbij veel geur vrijkomt, waardoor het moeilijk is om het probleem in kaart te brengen. Voor deze masterproef zijn er 2 pogingen ondernomen om het mogelijke lek te zoeken zoals uitgelegd in sectie 3.3. De eerste poging maakte gebruik van Bengaals vuurwerk

omdat gekleurde rook beter op te merken zou zijn in lokaal 02.9.01.1. De proef had geen succes aangezien er niets van gekleurde rook te bespeuren was in 02.9.01.1. De tweede poging was een CO<sub>2</sub>-experiment en heeft ook niet gewerkt.



**Figuur 5-2 Luchtklep zuurkastenkanaal lokaal 02.9.01.1**

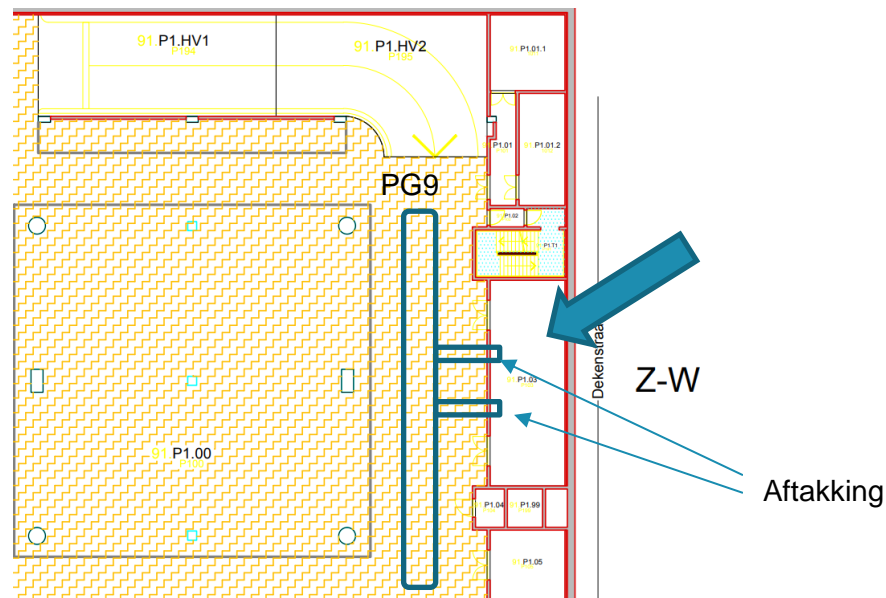
In lokaal 02.9.01.1 is er een klep die open en toe kan om in het extractiekanaal van de zuurkast te geraken (zie Figuur 5-2). Om na te gaan of de CO<sub>2</sub> meetbaar was in het kanaal, werd de meter in het kanaal gehouden via de klep. De meter gaf geen verschil aan. Dat betekent dat de CO<sub>2</sub> niet meetbaar was in het kanaal. Het was dus onmogelijk om een verhoogde CO<sub>2</sub>-concentratie waar te nemen ergens buiten het kanaal.

Het CO<sub>2</sub>-experiment heeft wel nog steeds potentieel om het mogelijke lek te vinden. De hoeveelheden CO<sub>2</sub> die nodig zijn om enige concentratie te meten in het aangrenzend lokaal zijn te hoog en vallen niet binnen de capaciteiten van dit onderzoek. Een andere optie is om de technische dienst het debiet van de EG16 te laten dalen tijdens de proef zodat de zuurkast niet te veel CO<sub>2</sub> afzuigt. Zo kan de concentratie rond het mogelijke lek voldoende opbouwen. Voor dit probleem is dus verder onderzoek nodig.

Tijdens het onderzoek viel op dat die klep (Figuur 5-2), makkelijk open en toe kon. Het zou kunnen dat de klep niet helemaal toe was en dat de geur zo in de ruimte kwam. Dat lijkt eerder onwaarschijnlijk omdat de geurklachten vooral zijn waargenomen in de hoek aan de ramen en dus niet in de buurt van de klep. Bijkomstig gaat het over een extractie groep en zou er door die klep juist lucht aangezogen worden in plaats van ontsnappen.

## 5.2 Lokaal P1.03

Lokaal P1.03 is het labo van materiaaltechnologie op verdieping -1, zie Figuur 5-3. Die verdieping is voorbestemd voor parking en fietsenstalling. Tijdens de bouw van Campus Groep T in 1996, was het niet de bedoeling dat op die plaats een lokaal zou komen met menselijke bezetting. Bijgevolg heeft lokaal P1.03 geen luchttoevoer. Het lokaal heeft wel een trekkast die extractie voorziet en die zorgt voor een onderdruk in het lokaal. Dat betekent dat het labo lucht, gemend met uitlaatgassen, van de parking aanzuigt. In het kader van deze masterproef is er nagegaan of het mogelijk is om het labo te voorzien van verse lucht.



**Figuur 5-3 Grondplan labo materiaaltechnologie**

Eerst is het nodig om te weten hoeveel debiet vereist is voor het lokaal. Volgens KU Loket heeft lokaal P1.03 een oppervlakte van 79 m<sup>2</sup> en een veronderstelde hoogte van 3m. Dat geeft een volume van 237 m<sup>3</sup>. Het labo heeft weinig risico aangezien er geen gevaarlijke gassen of stoffen aanwezig zijn. Uit de normen die de KU Leuven toepast (Bijlage A) blijkt dat voor een labo met weinig risico 5 luchtwisselingen per uur moeten gebeuren. Dat geeft een vereist debiet van 1185 m<sup>3</sup>/h.

Nu dat het vereist debiet gekend is, moet er gekeken worden naar een mogelijke toevoer van verse lucht. Op de as-built plannen is te zien dat de kanalen van zowel PG9 als van PG12 in de buurt van het labo komen. PG9 is de PG van de parking op verdieping -1 en PG12 is de luchttoevoer van de trappenhal naast het labo. PG9 heeft een debiet van 20.000 m<sup>3</sup>/h en PG12 heeft een debiet van 5.000 m<sup>3</sup>/h. Aangezien PG9 een hoger debiet heeft, zou er procentueel meer debiet overblijven voor de parking als de PG ook debiet levert aan het labo materiaaltechnologie. Het is dus mogelijk om van het debiet van PG9 (20.000m<sup>3</sup>/h) 1185 m<sup>3</sup>/h af te takken naar het labo van materiaaltechnologie (zie Figuur 5-3). Dat resulteert in een overblijvend debiet van 18.815 m<sup>3</sup>/h voor de parking op verdieping -1. Volgens Leefmilieu Brussel heeft een parking een theoretisch debiet van 200 m<sup>3</sup>/h per auto nodig [45]. Het overblijvende debiet kan 94 parkeerplaatsen voorzien van gefilterde lucht. Campus Groep T heeft slechts 28 parkeerplaatsen op verdieping -1.

Nu dat de toevoer van lucht gekend is, moet er gekeken worden hoe de lucht afgetakt kan worden van PG9 naar het labo. Volgens het WTCB moet de snelheid van de lucht aan de



uiteinde van de luchtkanalen onder de 2 m/s zijn om akoestisch comfort te behouden [46]. Formule (5-1) bepaalt de vereiste diameter van het luchtkanaal om 1185 m<sup>3</sup>/h te voorzien met een snelheid van 2 m/s.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{3600 \cdot \pi \cdot \text{aantal kanalen} \cdot v}} \quad (5-1)$$

waarbij D: de diameter van het luchtkanaal

v: snelheid van de lucht

Q: het debiet door het kanaal

Nu is het nog nodig om te bepalen hoeveel aftakkingen er naar het labo gaan. Om het luchtkanaal van PG9 niet te beschadigen, gebeuren de aftakkingen aan de pulsieroosters. Via een overgangstuk zou de aftakking verbonden worden aan het rooster.



**Figuur 5-4 Overgangstuk tussen aftakking en rooster [47]**

Het luchtkanaal van PG9 in de parking heeft 2 pulsieroosters (zie Figuur 5-3 en Figuur 5-5) ter hoogte van het labo die geschikt zijn om een kanaal aan te koppelen. Volgens de as-built plannen, zijn de roosters ontworpen voor een debiet van 1000 m<sup>3</sup>/h. Het gebruiken van maar 1 kanaal is dus niet mogelijk, want een nieuw luchtkanaal plaatsen op het rooster verhoogt de weerstand. Er zou in dat geval minder dan 1000m<sup>3</sup>/h naar het labo gaan. Dat is onvoldoende volgens de norm en dus is het noodzakelijk om 2 kanalen te voorzien die beiden een debiet van 593 m<sup>3</sup>/h hebben. Er is gekozen voor ronde luchtkanalen omdat die geometrie de kans op lekken minimaliseert [13]. De theoretische diameter bij het gebruik van 2 kanalen is bepaald uit formule (5-1) en is gelijk aan 324 mm



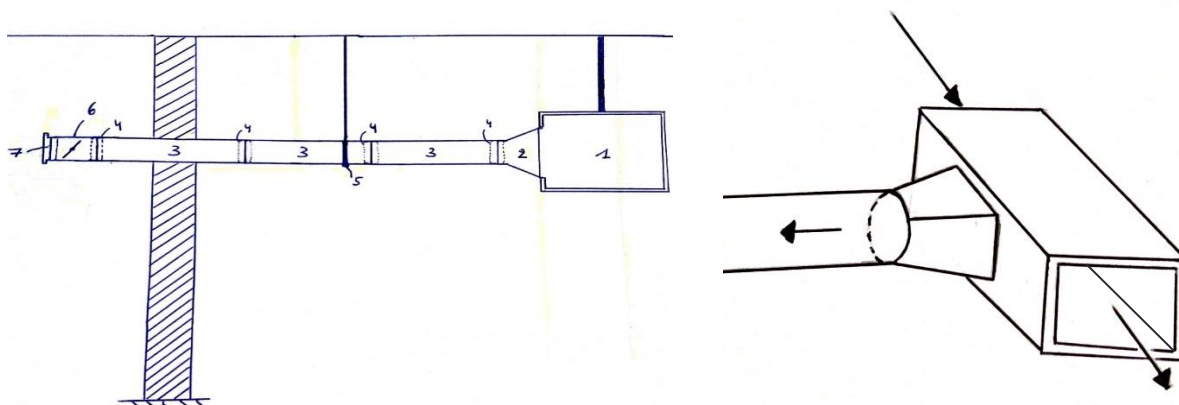
**Figuur 5-5 Rooster PG9 parking -1**

De eerste stap van de kostenanalyse is een overzicht geven van de componenten die nodig zijn voor extra luchtkanalen toe te voegen. De opsomming van de componenten is hieronder te zien.

- Pulsieroosters om het labo en het luchtkanaal te scheiden
- Regelkleppen om het debiet door de kanalen af te stellen
- Luchtkanalen die elk ongeveer 9 meter moeten afleggen van de aftakking tot het labo
- Ophangbeugels om de kanalen te ondersteunen
- Binnenmoffen om de kanaalstukken aan elkaar te zetten
- Overgangsstuk van rechthoek naar rond om het kanaal van PG9 te verbinden met de nieuwe kanalen

De kostenanalyse is gebaseerd op de prijslijst van de componenten van ClimaConstruct [47]. Die firma zal als referentie dienen voor de totale kost. De theoretisch berekende diameters zijn er niet verkrijgbaar, waardoor het nodig is om een standaard maat te gebruiken. Voor de 2 kanalen is de nieuwe diameter 0.315m, dat is lager dan de berekende diameter. Het totaal debiet van het lokaal verandert hierdoor met 5%, wat aanvaardbaar is. De luchtkanalen bestaan uit stukken van telkens 3 meter die tijdens de installatie met binnenmoffen aan elkaar gezet worden.

Op Figuur 5-6 is links het zijaanzicht van 1 nieuw kanaal weergegeven. Op die schets is te zien hoeveel stuks van elke component er nodig zijn. Het gearceerde deel is de muur van het labo materiaaltechnologie. Het rechtse deel van de figuur toont in 3D hoe de aftakking wordt gerealiseerd. Tabel 5-1 geeft een overzicht van de componenten te zien op die schets en Tabel 5-2 geeft de materiaalkosten weer voor de 2 nieuwe kanalen.



**Figuur 5-6 schets nieuw kanaal**

**Tabel 5-1 Componenten schets nieuw kanaal**

1	Luchtkanaal van PG9	5	Ophangbeugel
2	Overgangsstuk (rechthoek-rond)	6	Regelklep
3	Stuk luchtkanaal (3 meter)	7	Pulsierooster
4	Binnenmof		



**Tabel 5-2 Kostenanalyse luchttoevoer lokaal P1.03**

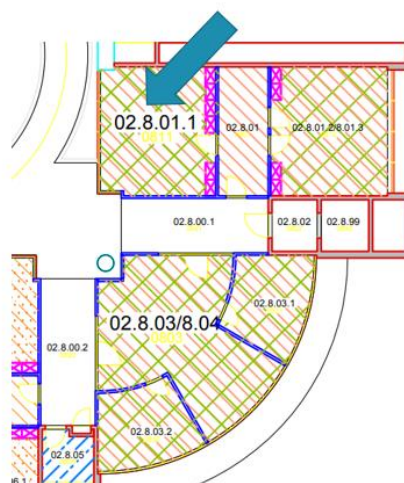
Eigenschappen	Kostprijs/component (€/comp)	Kostprijs voor alle componenten (€)
Diameter : 0,324m→0,315m Totaal debiet 1185m <sup>3</sup> /h→ 1122 m <sup>3</sup> /h	Rooster = 52,87 Regelklep = 43,99 Luchtkanaal (3 meter) = 71,34 Ophangbeugel = 6,45 Binnenmof = 9,5 Overgang (rechthoek-rond) = 130,68	2 roosters = 105,74 2 regelkleppen = 87,98 6 luchtkanalen (3 meter) = 427,8 2 ophangbeugels = 12,9 8 binnenmoffen = 76 2 overgangen = 261,36 <b>Totaal = 971,78</b>

Er moeten ook 2 gaten in de muur van het labo komen voor de nieuwe kanalen. Dat kan de technische dienst doen door bakstenen uit de muur te halen. Voor andere leidingen die naar het labo gaan is die techniek ook toegepast. De technische dienst van de KU Leuven schatte de kosten voor het plaatsen van de kanalen. De installatie zou met 2 werknemers in een dag van 8 uur moeten lukken. De kostprijs van de werkuren wordt op ongeveer €50 per uur geschat en de totale installatiekost komt dan neer op ongeveer €800.

Het voorzien van luchttoevoer voor het labo materiaaltechnologie is dus zeker mogelijk en relatief goedkoop. De nieuwe kanalen schaden de werking van de PG van de parking niet. PG9 levert na de aanpassingen nog 3 keer het luchtdebiet dat de norm voorschrijft voor een parking met 28 parkeerplaatsen. De aanpassing is dus zeker aan te raden.

### 5.3 Lokaal 02.8.01.1

Lokaal 02.8.01.1 (zie Figuur 5-7) is momenteel een vergaderruimte, dit was vroeger niet het geval. Een aantal jaar geleden werd dit lokaal gebruikt als bureau voor 4 doctoraatsstudenten. Tijdens die periode klaagden de studenten dat er te weinig lucht was in het lokaal. Als oplossing is het lokaal een vergaderruimte geworden. Op die manier is de bezetting van het lokaal lager. De debieten van het lokaal zijn gemeten om die te kunnen vergelijken met de vereiste debieten volgens de norm die de KU Leuven toepast.



**Figuur 5-7 Plattegrond lokaal 02.8.01.1**

Het lokaal heeft een oppervlakte van 34,7 m<sup>2</sup>. Volgens de norm heeft een vergaderlokaal een ontwerppoppervlakte van 3 m<sup>2</sup> per persoon. Aangezien de KU Leuven de ontwerppoppervlakte, die de norm voorschrijft, telkens licht overschat, is de capaciteit van een lokaal telkens naar boven afgerond. Dat betekent dat er ongeveer 12 mensen kunnen plaatsnemen in de vergaderzaal. Voor een vergaderlokaal schrijft de norm voor dat er een debiet van 72 m<sup>3</sup>/h per persoon nodig is. Stel dat het lokaal toch een bureau was gebleven. Dan zouden er net 4 personen in het lokaal mogen, aangezien de ontwerppoppervlakte voor een bureau 10 m<sup>2</sup> per persoon is. Het ontwerpdebiet per persoon (72m<sup>3</sup>/h) blijft hetzelfde.

Als vergaderzaal heeft de ruimte, indien ze in gebruik is, een debiet van 864 m<sup>3</sup>/h nodig. Als bureau heeft de ruimte een debiet van 288 m<sup>3</sup>/h nodig. Het gemeten debiet was 464 m<sup>3</sup>/h. Dat is een te laag debiet om de ruimte te gebruiken als een vergaderzaal, maar het debiet is ongeveer anderhalve keer meer dan nodig voor een bureau waar 4 personen kunnen werken. Het is dus niet logisch dat de doctoraatsstudenten last hadden van te weinig verse lucht. Het kan zijn dat er op dat moment een probleem was met de luchtgroep (PG2) en dat er daardoor niet genoeg luchtdebiet naar het lokaal ging.

Als verder onderzoek is er ook nagegaan wat het effect op het debiet zou zijn indien de regelklep, die het lokaal voorziet van lucht, meer open zou staan. De regelklep heeft 6 standen, waarbij 6 de stand is die het meeste debiet doorlaat. De klep staat momenteel op stand 5, dus er is niet veel ruimte om het debiet nog te vergroten. Bij een stand 6 heeft het lokaal een debiet van 471 m<sup>3</sup>/h in plaats van 464 m<sup>3</sup>/h. Dit verschil is binnen de ±13 m<sup>3</sup>/h fout van het meettoestel. De stand van de regelklep vergroten geeft een verwaarloosbaar verschil. Dat is dus geen oplossing om het debiet van het lokaal te verhogen om aan de norm voor vergaderruimtes te voldoen. Indien de aanpassing van de regelklep een oplossing zou zijn, is het nodig om de debieten van de omliggende lokalen na te kijken. Het is immers niet de bedoeling om het probleem naar een ander lokaal te verschuiven.

Uit de vereiste en gemeten debieten is af te leiden dat het lokaal best terug een bureauruimte zou worden in plaats van een vergaderzaal. Het debiet is te laag om een vergadering met 12 personen te houden, een maximum van 7 personen daarentegen is wel volgens de norm. Als de toelaatbare bezetting wijzigt, kan de ruimte een vergaderzaal blijven.

## 6 VERSPREIDING BEPERKEN VAN COVID-19

---

Sinds maart 2020 is de invloed van Covid-19 overal ter wereld te merken. Het virus zorgt ervoor dat de interesse in ventilatie in gebouwen toeneemt. Indien de ventilatie niet goed afgeregeld of onderhouden is, kan dat een gevaar vormen voor de aanwezigen in het gebouw. De ventilatie zal dan niet functioneren zoals het hoort en hierdoor zal de binnenlucht veel aerosolen met viruspartikels bevatten. Het aantal toegelaten mensen in de lokalen verminderen is een tijdelijke oplossing, maar is niet wenselijk voor een langere periode van ettelijke jaren. Het gebouw verliest immers haar nut door de beperkte bezetting. Dit hoofdstuk gaat over welke aanpassingen de verspreiding van Covid-19 kunnen beperken. Het hoofdstuk gaat specifiek in op de aanpassingen die mogelijk en haalbaar zijn voor Campus Groep T.

### 6.1 Te behalen objectief

Uit sectie 2.3.2 van de literatuurstudie blijkt dat 6 ACH per lokaal, met het dragen van mondkapjes, het risico op besmetting met 75% kan doen dalen. Covid-19 is een zeer recent virus en nog niet alles is er over geweten, ook niet hoe besmettelijk het virus is voor mensen die verder dan 1,5 meter van elkaar binnen zitten. Er is dus een zekere foutenmarge aanwezig. Die foutenmarge is te zien in Figuur 2-15.

Voor de gecontroleerde lokalen is er nagegaan hoeveel ACH er zijn bij de huidige luchtdebieten. Formule (6-1) toont algemeen hoe het aantal ACH voor een lokaal berekend wordt. De oppervlakten van de lokalen komen van KU Loket en de technische dienst van de KU Leuven. Voor die lokalen is er een hoogte van 3 meter geschat om zo het volume te kennen van de lokalen. Tabel 6-1 geeft een overzicht van het aantal luchtwissels per uur.

$$ACH = \frac{Q_r}{A_r * h_r} \quad (6-1)$$

waarbij  $Q_r$ : huidige luchtdebiet van een ruimte

$h_r$ : hoogte van een ruimte

$A_r$  : de oppervlakte van de ruimte

**Tabel 6-1 ACH van de gemeten lokalen**

ACH ≥ 6	6 > ACH ≥ 4	4 > ACH ≥ 2	2 > ACH ≥ 0

	Lokaal	Oppervlak [m <sup>2</sup> ]	Gemeten debiet [m <sup>3</sup> /h]	ACH		Lokaal	Oppervlak [m <sup>2</sup> ]	Gemeten debiet [m <sup>3</sup> /h]	ACH
PG1	01.3.01	130	1499	3,8	PG2	02.8.01.1	35	464	4,4
	01.3.02/03	91	1004	3,7		02.8.01	15	221	4,9
	01.3.04	42	345	2,7		02.8.01.2/3	35,5	325	3,1
	01.3.05	38	498	4,4		02.8.03.1	17	66	1,3
					02.8.03/04	50	147	1,0	
PG3	03.13.01	128,5	1484	3,9	02.8.03.2	17	68	1,3	
	03.13.02	47,5	455	3,2	02.7.04	55	404	2,5	
	03.13.03	41,5	465	3,7	02.7.05	35	416	4,0	
	03.13.04	52	410	2,6	01.4.01.1	35	423	4,0	
	03.13.05	44,5	444	3,3	01.4.01	15	211	4,7	
					01.4.01.2	17,5	232	4,4	
PG4	03.13.07	56,5	496	2,9	01.4.01.3	17,5	184	3,5	
	03.13.08	31	472	5,1	01.4.03/04	63	328	1,7	
	03.14.03	74,5	1380	6,2	01.3.07	55	417	2,5	
	03.14.01	51	1035	6,8	01.3.08	35	445	4,2	

Uit de resultaten blijkt dat enkel de 2 lokalen op module 14 meer dan 6 ACH hebben. Er zijn 9 lokalen die tussen de 4 en 6 ACH hebben, 13 lokalen die tussen de 2 en 4 ACH hebben en 4 lokalen die onder de 2 ACH hebben. Er is een lokaal dat zelfs onder de 1 luchtwissel per uur zit en dat is lokaal 02.8.03/04. De tabel laat duidelijk zien dat de lokalen van Campus Groep T niet genoeg debiet krijgen om de verspreiding van Covid-19 te beperken. Uit sectie 4.2.1 bleek dat de huidige luchtdebieten van de lokalen niet voldoen aan de ventilatienormen.

Echter moet er nog nagekeken worden dat indien de lokalen wel het vereiste debiet krijgen, de lokalen ook effectief 6 ACH krijgen. Zoals bij sectie 4.2.1 zijn er 2 soorten vereiste debieten. De eerste met de menselijke capaciteit gevonden op KU Loket en de tweede met de menselijke capaciteit bepaald op basis van de ontwerppoppervlakte per persoon. Tabel 6-2 geeft een vergelijking van de luchtdebieten die nodig zijn voor de 6 ACH te behalen en de vereiste debieten die de norm voorschrijft. Formule (6-2) geeft de algemene berekening van het theoretisch debiet voor 6 ACH weer.

$$Q_{6ACH} = 6 \cdot A_r \cdot h_r \quad (6-2)$$

waarbij  $Q_{ACH}$ : luchtdebiet voor 6 ACH te halen voor een ruimte

**Tabel 6-2 gemeten lokalen nieuw vereiste debiet voor 6 ACH**

		Debiet 6 ACH [m <sup>3</sup> /h]	vereist ACH actuele bezetting	vereist ACH genorme erde bezetting			Debiet 6 ACH [m <sup>3</sup> /h]	vereist ACH actuele bezetting	vereist ACH genorme erde bezetting
	Lokaal					Lokaal			
PG1	01.3.01	2339	5,0		PG2	02.8.01.1	625	8,9	8,2
	01.3.02/03	1641	5,0			02.8.01	273	0,9	
	01.3.04	759	2,8	2,0		02.8.01.2/3	639	1,9	1,9
	01.3.05	685	2,2	1,8		02.8.03.1	301	1,0	2,0
						02.8.03/04	894	2,0	1,7
PG3	<b>03.13.01</b>	2314	8,3	5,4		02.8.03.2	309	2,0	2,0
	<b>03.13.02</b>	853	11,2	5,3		02.7.04	993	3,6	4,2
	<b>03.13.03</b>	748	9,6	5,5		02.7.05	625	4,8	2,7
	03.13.04	934	3,9	2,0		01.4.01.1	625	9,6	2,7
	<b>03.13.05</b>	801	7,5	5,4		01.4.01	273	0,9	
PG4	<b>03.13.07</b>	1015	5,9	5,4		01.4.01.2	314	1,0	1,9
	<b>03.13.08</b>	554	10,8	5,6		01.4.01.3	313	1,0	1,9
	03.14.03	1342	3,2	1,8		01.4.03/04	1128	1,9	1,9
	03.14.01	913	4,7	2,8		01.3.07	993	3,1	1,9
						<b>01.3.08</b>	625	9,5	5,3

Uit de tabel blijkt dat de luchtnormen die de KU Leuven toepast voor leslokalen ongeveer overeenkomen met het benodigd debiet voor 6 ACH te hebben. De leslokalen (vetgedrukt) zijn 01.3.08, 03.13.01, 03.13.02, 03.13.03, 03.13.05, 03.13.07 en 03.13.08. Het vereiste debiet met actuele bezetting is zelfs hoger voor leslokalen dan het vereiste debiet voor 6 ACH. Indien er meer studenten in de leslokalen plaats nemen dan de ontwerppoppervlakte voorschrijft, moet de ventilatie zelfs meer dan 6 ACH voorzien voor die lokalen.

Voor de 2 labo's, 01.3.01 en 01.3.02/03, zijn 5 ACH vereist volgens de norm. Dat is niet problematisch maar de campus kan de vereiste luchtwisselingen per uur best naar 6 verhogen voor de labo's. De overige lokalen in de tabel zijn bureauimte en vereiste debieten die de norm voorschrijft leveren geen 6 ACH. Bij het behalen van de vereiste debieten voor bureauimtes zijn er dus geen 6 ACH voorzien voor die ruimtes en zou het debiet nog meer moeten stijgen. Het is dus nodig om voldoende luchttoevoer te voorzien om de 6ACH te behalen. Daarnaast is er om de verspreiding van Covid-19 tegen te gaan ook een goede extractie nodig om de aerosolen af te zuigen. Het was niet mogelijk om die na te meten. Dat is dus zeker van belang voor verder onderzoek.

Zoals uitgelegd in sectie 2.3.1 heeft de ventilatie geen invloed op mogelijke besmettingen via direct contact van personen. Het is dus aangeraden om wel zoveel mogelijk 1,5m afstand van elkaar te houden en mondkmaskers te dragen. Studenten kunnen wel samenwerken maar moeten de handen ontsmetten om besmetting door direct contact te beperken.

Indien de luchtdebieten van de lokalen toenemen is het ook nodig om na te gaan of de snelheid door de luchtkanalen en de roosters niet te hoog is. Voor elk luchtkanaal controleren of de luchtsnelheid erdoor de EN-1505 norm [48] haalt, is materie voor verder onderzoek. Er

bestaan daarvoor online rekentools die de beste dimensionering voor de luchtkanalen van de ventilatie bepalen.

Indien de luchtsnelheden te hoog zouden worden, moeten de kanalen vervangen worden om 6 ACH te garanderen bij voldoende lage luchtsnelheden. De snelheden door de roosters om geluidsoverlast te vermijden is wel gecontroleerd. Geluidsoverlast door de roosters maakt het moeilijk voor de aanwezigen om geconcentreerd te blijven doorwerken of zorgt ervoor dat docenten veel luider moeten praten om verstaanbaar te zijn. Volgens het WTCB moet de luchtsnelheid gelijk zijn aan of onder de 2 m/s liggen voor akoestisch comfort [46]. Tijdens het meten van de luchtdebieten zijn ook de diameters van de pulsieroosters opgemeten. Voor al de onderzochte lokalen is dat 0,3 meter. Tabel 6-3 geeft een overzicht voor elk gemeten lokaal wat de luchtsnelheid zou zijn door het rooster indien het luchtdebiet per lokaal zorgde voor 6 ACH. Met formule (6-3) is het mogelijk om die gemiddelde luchtsnelheid per rooster te bepalen van de lokalen.

$$v = \frac{Q}{3600 \cdot \text{aantal roosters} \cdot \frac{\pi D^2}{4}} \quad (6-3)$$

waarbij D: de diameter van het luchtkanaal

v: snelheid van de lucht

Q: luchtdebiet door het kanaal

**Tabel 6-3 Luchtsnelheden rooster bij luchtdebiet van 6 ACH**

	Lokaal	aantal roosters	Debiet [m <sup>3</sup> /h]	Snelheid [m/s]		Lokaal	aantal roosters	Debiet [m <sup>3</sup> /h]	Snelheid [m/s]
PG1	01.3.01	6	2340	1,53	PG2	02.8.01.1	2	630	1,24
	01.3.02/03	4	1638	1,61		02.8.01	1	270	1,06
	01.3.04	2	756	1,49		02.8.01.2/3	2	639	1,26
	01.3.05	2	684	1,34		02.8.03.1	1	306	1,20
PG3	03.13.01	6	2313	1,51		02.8.03/04	2	900	1,77
	03.13.02	2	855	1,68		02.8.03.2	1	306	1,20
	03.13.03	2	747	1,47		02.7.04	2	990	1,95
	03.13.04	2	936	1,84		02.7.05	2	630	1,24
	03.13.05	2	801	1,57		01.4.01.1	2	630	1,24
PG4	03.13.07	2	1017	2,00		01.4.01	1	270	1,06
	03.13.08	2	558	1,10		01.4.01.2	1	315	1,24
	03.14.03	6	1341	0,88		01.4.01.3	1	315	1,24
	03.14.01	4	918	0,90		01.4.03/04	4	1134	1,11
						01.3.07	2	990	1,95
					01.3.08	2	630	1,24	

De tabel toont dat de snelheden telkens onder 2 m/s liggen. Enkel voor lokaal 03.13.07 is de snelheid gemiddeld 2 m/s en dus nog aanvaardbaar.

De gemeten debieten tonen dat geen enkel lokaal, op uitzondering van 2 lokalen, 6 ACH halen. Er moeten echter zoveel mogelijk lokalen 6 ACH halen om - in combinatie met andere maatregelen zoals mondklappers en een lagere bezetting van lokalen - de kans op de

verspreiding van Covid-19 tot een minimum te beperken. In het volgende deel van de masterproef komen daarom aanpassingen aan bod die ervoor zorgen dat de lokalen dichterbij de 6 ACH komen.

## **6.2 Aanpassingen door verbouwing**

De eerste soort aanpassingen om de lokalen van de campus dichterbij de 6 ACH te brengen zijn aanpassingen waarbij er verbouwingen nodig zijn. Luchtkanalen vervangen om componenten in de kanalen bij te plaatsen of nieuwe luchtgroepen plaatsen zijn hier voorbeelden van.

### **6.2.1 VAV-kleppen**

De eerste aanpassing is het plaatsen van VAV-kleppen. Die soort kleppen zijn al vaak aan bod gekomen doorheen de masterproef. Sectie 2.3.4 legt uit hoe die kleppen precies werken. Campus Groep T gebruikt momenteel manueel regelbare iriskleppen waarbij het niet de bedoeling is om de stand van de kleppen aan te passen tijdens het gebruik van de ventilatie. Dus wanneer de luchtgroepen werken, voorzien ze elk lokaal van lucht ongeacht of de lokalen bezet zijn of niet. Bijgevolg verbruiken de luchtgroepen energie voor lokalen die leeg staan en nemen die leegstaande lokalen een deel van het debiet in beslag dat voor lokalen die wel bezet zijn kon dienen.

VAV-kleppen zorgen er niet rechtstreeks voor dat de luchtgroepen meer debiet leveren, maar wel dat het totale debiet onder minder lokalen verdeeld wordt. Het debiet per lokaal is beter regelbaar en daarnaast meten de kleppen het debiet. Dat geeft extra informatie aan de technische dienst van de KU Leuven om sneller problemen te kunnen opmerken. Een VAV-klep is te combineren met een sensor. Op basis van de informatie van de sensor regelt het beheersysteem dan het debiet. Als sensor is er gekozen voor een CO<sub>2</sub>-meter aangezien CO<sub>2</sub> wordt gebruikt als equivalent de bezetting van een lokaal te bepalen. Het is dan ook nodig om elk lokaal te voorzien van een CO<sub>2</sub>-meter om de bezetting van elk lokaal te kennen.

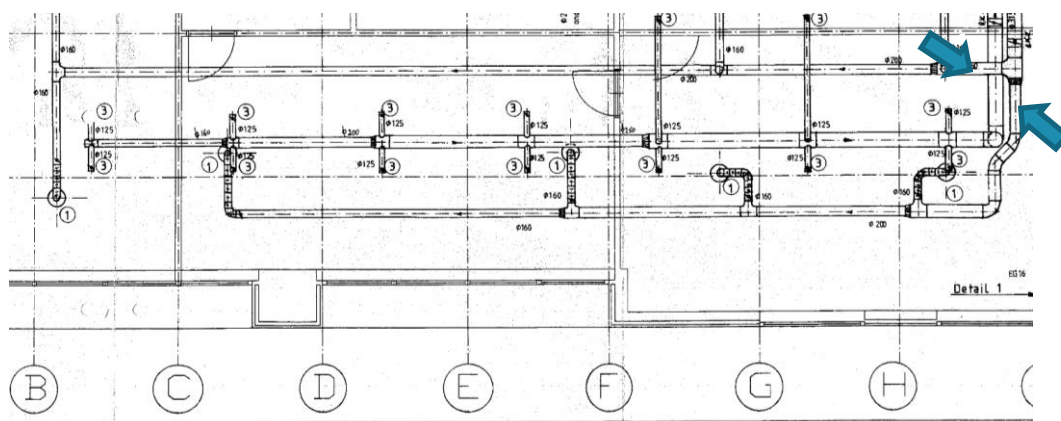
Elke module op de campus is voorzien van lucht door 1 of 2 luchtgroepen. Er is voor elke module nagegaan hoeveel VAV-kleppen er nodig zijn om zoveel mogelijk onafhankelijkheid per lokaal te creëren. Tabel 6-4 geeft het aantal benodigde VAV-kleppen en CO<sub>2</sub>-meters weer per module. Bij de kleppen is er onderscheid gemaakt tussen kleppen voor luchttoevoer en afvoer.

**Tabel 6-4 Aantal VAV-kleppen en CO<sub>2</sub>-meters per module**

Module en luchtgroep	Aantal VAV-kleppen PG/EG	Aantal CO <sub>2</sub> -meters	Module en luchtgroep	Aantal VAV-kleppen PG/EG	Aantal CO <sub>2</sub> -meters
Module 0 PG2	2/2	2	Module 8 PG3	2/2	3
Module 0 PG3	2/2	2	Module 9 PG3	4/2	6
Module 2 PG6	0/0	2	Module 9 PG4	1/1	1
Module 3 PG1	4/2	5	Module 10 PG4	4/2	5
Module 3 PG2	2/2	2	Module 11 PG5	2/2	2
Module 4 PG2	3/2	4	Module 11 PG2	1/2	1
Module 4 PG3	2/2	3	Module 12 PG2	3/2	7
Module 5 PG3	1/1	2	Module 12 PG3	2/3	2
Module 5 PG4	1/1	1	Module 13 PG3	4/2	5
Module 6 PG4	1/1	2	Module 13 PG4	3/2	2
Module 7 PG1	1/1	2	Module 14 PG4	4/2	6
Module 7 PG2	2/2	2	<b>Totaal</b>	<b>54/42</b>	<b>75</b>
Module 8 PG2	3/2	6			

Het auditorium is een groot lokaal dat 2 meters nodig heeft om mogelijke onbalans in de bezetting van het lokaal te meten en te filteren. Het auditorium heeft geen VAV-kleppen nodig aangezien PG6 enkel voor het auditorium is. Het is dus mogelijk om de CO<sub>2</sub>-meters rechtstreeks te koppelen aan de frequentieregelaar van die luchtgroep om het debiet te regelen.

In Tabel 6-4 is er voor gekozen om per module zo weinig mogelijk VAV-kleppen te gebruiken en toch zoveel mogelijk onafhankelijkheid per lokaal te creëren. Die aanpak minimaliseert het aantal kleppen en de kosten, maar hierdoor daalt de flexibiliteit. De aanpak zorgt er ook voor dat de VAV-kleppen meer in het begin van een luchtkanaal staan. Op Figuur 6-1 is met een pijl de gekozen positie voor de VAV-klep aangeduid. Er is te zien dat het luchtkanaal zich uitstrekt over verschillende lokalen en verschillende aftakkingen met roosters heeft.



**Figuur 6-1 Gemeenschappelijk luchtkanaal voor verschillende lokalen**



De andere aanpak is om effectief net voor elke rooster een VAV-klep te plaatsen. Die aanpak biedt maximale onafhankelijkheid per lokaal. Het aantal benodigde VAV-kleppen is wel meer dan verdubbeld ten opzichte van de vorige aanpak, aangezien bijna elk lokaal beschikt over minstens 2 roosters van zowel PG als EG.

Om de werking van VAV-kleppen volledig te begrijpen behandelt de masterproef alle componenten die bij het systeem horen. De eerste component is een servomotor die een signaal tussen de 0 en 10 V (gesloten en open) krijgt en de VAV-klep aanstuurt. Men kan via het gebouwbeheersysteem van de KU Leuven de grenzen van 0-10 V linken aan de grenzen 400-600 ppm van de CO<sub>2</sub>-meter. De tweede component is de CO<sub>2</sub>-meter wiens meetwaarde overeen komt met een hoeveelheid luchtdebiet dat door de klep moet. Een VAV-klep is ook voorzien van een meetkruis dat het luchtdebiet meet en dat doorgeeft aan de controller aanwezig in het beheersysteem. Er is dus sprake van een 'closed loop' systeem waarbij de servomotor de stand van de klep gaat aanpassen op basis van het gemeten debiet om tot het gewenste debiet te bekomen. Door VAV-kleppen toe te voegen, beschikt de technische dienst ook over informatie van de signalen naar de servomotor, het debiet door de klep en het CO<sub>2</sub>-gehalte per lokaal. Volgens het bedrijf dat de CO<sub>2</sub>-meters kan leveren, is het belangrijk om de meter op een hoogte van 1,5 meter van de grond te plaatsen [49]. De positie van de CO<sub>2</sub>-meter mag niet in de buurt van een PG-rooster zijn maar moet wel voldoende luchtcirculatie hebben. Zoals is uitgelegd in sectie 2.3.4 is het nodig om elke luchtgroep, die verbonden is met VAV-kleppen, te voorzien van een frequentieregelaar om de druk in de luchtkanalen te regelen. Van alle PG's en EG's gaande van 1 tot en met 6, hebben PG1, 2, 3 en 4 nog geen regelaar en EG2, 3 en 4 ook nog niet. Er zouden dus nog 7 regelaars nodig zijn.

De technische dienst gaf wel aan dat er door de VAV-kleppen wel telkens een minimumdebiet moet lopen, aangezien de meeste lokalen zijn verwarmd via de luchttoevoer. Indien een lokaal geen debiet zou krijgen, betekent dit echter ook dat het lokaal zonder verwarming valt. Dat moet vermeden worden dus is een minimumdebiet vereist.

Om de oplossing te kunnen implementeren, moet een initiële schatting gemaakt worden van de kosten. Eerst komen de aankoopkosten aan bod.

De soort VAV-kleppen blijven hetzelfde maar de vereiste afmetingen per module verschillen. De aankoopprijs van een VAV-klep ligt in de grootteorde van €580 [50]. Daarnet is weergegeven dat Campus Groep T 54 VAV-kleppen voor luchttoevoer en 42 voor luchtafvoer nodig heeft. Dat komt neer op een aankoopprijs in de grootteorde van €55.680 voor de kleppen.

Elk lokaal heeft ook een CO<sub>2</sub>-meter nodig voor feedback naar de VAV-kleppen te sturen en op die manier de stand van de kleppen aan te passen. Naast al de kleppen zijn er ook 75 CO<sub>2</sub>-meters nodig. De meters kosten ongeveer €400 per stuk en dus is de totale kost voor de meters €30.000 [49].

De VAV-kleppen hebben ook een frequentieregelaar nodig aan de luchtgroepen en niet elke luchtgroep heeft al een frequentieregelaar. In deze paragraaf was besproken dat er nog 7 frequentieregelaars nodig zijn. Uit de technische data van de luchtgroepen (Bijlage E) blijkt dat elke luchtgroep rond de 3 kW aan elektrisch vermogen heeft. Een regelaar die 5,5 kW aan vermogen kan verwerken, zal voldoende zijn en heeft een kostprijs van €1237 [51]. Voor de 7 regelaars is dat een bedrag van €8659. De totale aankoopkost voor alle onderdelen komt dan neer op €55.680+30.000+€8659=€94.339.

Dat is enkel de aankoopkost en de installatiekosten horen daar niet bij. De technische dienst deed een ruwe schatting waaruit blijkt dat er per module ongeveer 10 dagen van 8 uur werk met 2 personen nodig is om de VAV-systeem te installeren. In die 2 werkweken worden de kleppen en CO<sub>2</sub>-meters geplaatst, met alle benodigde bekabeling. Er zijn 13 modules die aanpassingen nodig hebben dus dit komt neer op 2080 werkuren. De kostprijs voor een werkuur schatte de technische dienst op ongeveer €50, wat neer komt op een installatiekost van €104.000. De plaatsing van de frequentieregelaars hoort hier niet bij. Er moeten 7 frequentieregelaars geplaatst worden, wat nog een week in beslag zou nemen met 2 personen. Dat is een extra kost van €4000. Als alle componenten geplaatst zijn, moet het VAV-systeem nog geïmplementeerd worden in het gebouwbeheersysteem. SIEMENS zal die software wijzigingen uitvoeren. De technische dienst schatte dat het programmeren 2 dagen in beslag zou nemen. SIEMENS rekent voor zo'n wijzigen ongeveer €1500 per dag aan. Dat komt neer op €3000 extra. De totale kost wordt dus rond de €207.000 geschat. Dat is een ruwe schatting, de echte kost kan nog hoger liggen. Het is echter duidelijk dat de installatiekosten hoger zullen liggen dan de materiaalkosten.

## **6.2.2 Luchtgroepen vervangen en toevoegen**

Dit deel van de masterpoef beschrijft 3 mogelijke oplossingen om 6 ACH te behalen door luchtgroepen te vervangen of toe te voegen. De eerste oplossing is het vervangen van 1 luchtgroep door meerdere kleine luchtgroepen. De tweede oplossing is het vervangen van een luchtgroep door een luchtgroep met een groter nominaal debiet. De laatste oplossing is het behouden van de luchtgroepen en kleinere luchtgroepen bijplaatsen. Iedere oplossing maakt gebruik van nieuwe luchtgroepen. Voor geschikte luchtgroepen te vinden is gezocht in het assortiment van 'FläktGroup'. Dat bedrijf is het vroegere 'GEA Happel' die de luchtgroepen in 1996 aan Campus Groep T hebben geleverd. Voor elke oplossing zijn de modulaire CAIRplus luchtgroepen geschikt. Om de kostprijs van de benodigde luchtgroepen te bepalen gebeurt er een interpolatie van de prijzen voor een CAIRplus met een debiet van 1000m<sup>3</sup>/h en 85.000m<sup>3</sup>/h. De bekomen prijzen zijn niet exact maar geven de juiste grootteorde van de kostprijs weer.

De thesis start met het bespreken van de eerste mogelijke oplossing. In paragraaf 2.3.3 ging het over de flexibiliteit van een ventilatiesysteem. Om meer onafhankelijkheid per lokaal te krijgen, is het een optie om luchtgroepen met een hoog debiet te vervangen door meerdere luchtgroepen met een lager debiet. Die optie is vooral interessant als de luchtgroep met het hoog debiet aan vervanging toe is.

Dit deel van de thesis focust op PG2 en EG2 om het gebruik van kleinere luchtgroepen te analyseren. Van de 29 lokalen die PG2 aanstuurt zijn er voor 15 lokalen debietmetingen gedaan. Tabel 4-2 geeft weer voor welke lokalen PG2 allemaal luchtdebiet voorziet. Op basis van die tabel en de ligging van de lokalen is er gekozen om een kleine luchtgroep te voorzien per 2 modules. Tabel 6-5 geeft het overzicht van welke lokalen tot welke PG en EG zouden behoren bij die aanpassing.

**Tabel 6-5 nieuwe indeling luchtgroepen en lokalen bij vervanging PG2**

PG	EG	Lokalen
PG 2.1	EG 2.1	00.0.01 00.0.02 00.0.03 00.0.03.2 00.0.05 00.0.07 00.0.07.1
PG 2.2	EG 2.2	01.3.07 01.3.08 01.4.01.1 01.4.01 01.4.01.2 01.4.01.3 01.4.03/04
PG 2.3	EG 2.3	02.7.04 02.7.05 02.8.01.1 02.8.01 02.8.01.2/3 02.8.03/04 02.8.03.1 02.8.03.2
PG 2.4	EG 2.4	03.11.04/05 03.12.01.1 03.12.01.4 03.12.04/05 03.12.03 03.12.04.2 03.12.06

Tabel 6-6 geeft het benodigd debiet om 6 ACH te halen voor alle lokalen van PG2 alsook de debietmetingen gedaan voor lokalen van PG2. Aan de hand van de benodigde debieten om 6 ACH te halen, is er opzoek gegaan naar geschikte luchtgroepen in het assortiment van 'FläktGroup'.

**Tabel 6-6 overzicht debietmetingen voor PG 2.1, PG2.2, PG2.3 en PG2.4**

PG	lokaal	debiet voor 6 ACH [m <sup>3</sup> /h]	PG	lokaal	huidig debiet [m <sup>3</sup> /h]	debiet voor 6 ACH [m <sup>3</sup> /h]
PG2.1	00.0.01	423	PG2.2	01.3.07	417	993
	00.0.02	1271		01.3.08	445	625
	00.0.03	97		01.4.01.1	423	625
	00.0.03.2	574		01.4.01	211	273
	00.0.05	1004		01.4.01.2	232	314
	00.0.07	386		01.4.01.3	184	313
	00.0.07.1	499		01.4.03/04	328	1128
	<b>totaal</b>	<b>4254</b>		<b>totaal</b>	<b>2239</b>	<b>4271</b>
PG2.4	03.11.04/05	2719	PG2.3	02.7.04	404	993
	03.12.01.1	764		02.7.05	416	625
	03.12.01.4	639		02.8.01.1	464	625
	03.12.04/05	497		02.8.01	221	273
	03.12.03	380		02.8.01.2/3	325	639
	03.12.04.2	732		02.8.03.1	66	309
	03.12.06	380		02.8.03/04	147	894
	<b>totaal</b>	<b>6112</b>		<b>totaal</b>	<b>2111</b>	<b>4667</b>

Uit de tabel blijkt dat voor PG2.1 een kleine luchtgroep met een debiet van 4254 m<sup>3</sup>/h, voor PG2.2 een kleine luchtgroep met een debiet van 4271 m<sup>3</sup>/h, voor PG2.3 een kleine luchtgroep met een debiet van 4667 m<sup>3</sup>/h en voor PG2.4 een kleine luchtgroep met een debiet van 6112 m<sup>3</sup>/h nodig is. Zoals eerder vermeld, is het vervangen van de huidige PG met een ontwerpdebiet van 11.250 m<sup>3</sup>/h door 4 compactere PG's enkel een mogelijke optie als de luchtgroep aan het einde van de levensduur is.

Voor zowel PG2.1, PG2.2 als voor PG2.3 is de CAIRplus 096-064 een geschikte luchtgroep om voldoende debiet te voorzien om 6 ACH te behalen. De luchtgroep heeft een debiet van

5000 m<sup>3</sup>/h [52]. Voor PG2.4 is de CAIRplus 128-064 een geschikte luchtgroep om voldoende debiet te voorzien om 6 ACH te behalen. De luchtgroep heeft een debiet van 6500 m<sup>3</sup>/h [52].

Het nadeel bij die aanpassingen is de hoge kostprijs. De prijzen van de nieuwe luchtgroepen zijn berekend via interpolatie. De prijs voor 1 CAIRplus 096-064 luchtgroep bedraagt namelijk €10.360 en de prijs van 1 CAIRplus 128-064 komt neer op €11.557 [53]. De totale kostprijs voor de 4 kleinere PG's die PG2 zouden vervangen bedraagt dan €42.638. De kostprijs van de bijhorende EG's was niet te vinden maar zal in dezelfde grootteorde liggen. Die zal wel iets lager zijn aangezien EG's geen verwarmingscomponent hebben. Als de aanpassing voor alle hoofd luchtgroepen (PG1,2,3,4 en EG1,2,3,4) moet gerealiseerd worden, zal de kostprijs hoog zijn.

Naast de hoge prijs voor de kleine luchtgroepen moeten ook de luchtkanalen van de PG tot de juiste verdieping gewijzigd worden. De kanalen van de lokalen per module blijven dezelfde als ze 6 ACH aankunnen, maar de verbinding tussen de modules en de luchtgroepen moet veranderen. De technische dienst gaf aan dat het vervangen van de kanalen in de hoofdschachten mogelijk is, maar raadt dit ten zeerste af. De verbouwingen zijn te ingrijpend en de kost zou dus erg oplopen. De oplossing is niet zo interessant aangezien de kostprijs te hoog is voor de flexibiliteit van het debiet per lokaal die verkregen wordt.

De tweede oplossing die de thesis bespreekt is het vervangen van een luchtgroep door een luchtgroep met een groter nominaal debiet. Tabel 6-7 geeft voor de 4 hoofdpulsiegroepen het benodigd debiet om voor elk lokaal 6 ACH te voorzien. Op basis van die tabel kunnen de luchtgroepen met het hoger nominaal debiet gezocht worden in de catalogus van Fläktgroup.

Tabel 6-7 Debieten van de hoofdlichtgroepen om in ieder lokaal 6ACH te halen

PG	lokaal	inhoud [m <sup>3</sup> ]	debiet voor 6 ACH [m <sup>3</sup> /h]	PG	lokaal	inhoud [m <sup>3</sup> ]	debiet voor 6 ACH [m <sup>3</sup> /h]	PG	lokaal	inhoud [m <sup>3</sup> ]	debiet voor 6 ACH [m <sup>3</sup> /h]
PG1	01.3.01	389,9	2339	PG3	00.0.08	61,2	367	PG2	00.0.01	70,5	423
	01.3.02/03	273,6	1641		00.0.08.1	93,5	561		00.0.02	211,8	1271
	01.3.04	126,4	759		01.4.06	45,5	273		00.0.03	16,1	97
	01.3.05	114,2	685		01.4.06.1	52,2	313		00.0.03.2	95,7	574
	02.7.01	654,1	3924		01.4.06.2	52,3	314		00.0.05	167,3	1004
	02.7.02	358,2	2149		01.4.06.3	104,1	625		00.0.07	64,4	386
	<b>totaal</b>		<b>11498</b>		01.5.01	385,5	2313		00.0.07.1	83,1	499
PG4	01.5.07	263,7	1582	01.5.02	142,2	853	01.3.07	165,5	993		
	01.6.01	366,0	2196	02.8.06	45,5	273	01.3.08	104,2	625		
	01.6.02	153,1	918	02.8.06.1	52,2	313	01.4.01	45,5	273		
	02.9.07	263,7	1582	02.8.06.2	52,3	314	01.4.01.1	104,2	625		
	02.10.01	366,0	2196	02.8.06.3	104,1	625	01.4.01.2	52,3	314		
	02.10.02	153,1	918	02.9.01	228,5	1371	01.4.01.3	52,2	313		
	02.10.03	136,9	821	02.9.01.1	153,9	923	01.4.03/04	188,0	1128		
	02.10.04	148,0	888	02.9.02	142,2	853	02.7.04	165,5	993		
	02.10.05	114,5	687	02.9.03	132,5	795	02.7.05	104,2	625		
	03.13.07	169,2	1015	02.9.04	118,8	713	02.8.01.1	104,2	625		
	03.13.08	92,3	554	02.9.05	124,4	746	02.8.01	45,5	273		
	03.14.01	152,1	913	03.12.08	159,2	955	02.8.01.2/3	106,5	639		
	03.14.02	198,5	1191	03.12.09	132,3	794	02.8.03/04	149,0	894		
	03.14.03	223,7	1342	03.13.01	385,7	2314	02.8.03.1	51,5	309		
	03.14.04	132,7	796	03.13.02	142,2	853	02.8.03.2	51,5	309		
	03.14.05	202,8	1217	03.13.03	124,6	748	03.11.04/05	453,1	2719		
	03.14.06	23,3	140	03.13.04	155,7	934	03.12.01.1	127,3	764		
	03.14.07	83,4	501	03.13.05	133,4	801	03.12.01.4	106,6	639		
	<b>totaal</b>		<b>19457</b>	<b>totaal</b>		<b>19944</b>	03.12.04/05	82,8	497		
							03.12.03	63,4	380		
						03.12.04.2	122,1	732			
						03.12.06	63,4	380			
						<b>totaal</b>		<b>19304</b>			

De tabel toont het debiet aan dat de nieuwe lichtgroepen moeten hebben om 6 ACH te behalen. PG1 heeft momenteel een debiet van 7200 m<sup>3</sup>/h en zou bij vervanging een debiet van 11.498 m<sup>3</sup>/h moeten krijgen. Het huidige debiet van PG2 is 11.250 m<sup>3</sup>/h en zou bij vervanging moeten stijgen naar 19.304 m<sup>3</sup>/h. PG3 en PG4 hebben beide een huidig debiet van 13.950 m<sup>3</sup>/h. Bij vernieuwing van de lichtgroepen moet het debiet van PG3 tot 19.944 m<sup>3</sup>/h en dat van PG4 tot 19.457 m<sup>3</sup>/h stijgen. Aangezien er sprake is van balansventilatie moet het nominaal debiet van de EG's dus ook stijgen. Als de huidige lichtgroepen aan het einde van de levensduur zijn kunnen ze dus vervangen worden. Voor PG1 is de CAIRplus 160-096 met een debiet van 12.500 m<sup>3</sup>/h [52] een geschikte vervanging. PG2, PG3 en PG4 hebben een lichtgroep met een debiet van dezelfde grootteorde nodig. Voor die PG's is de CAIRplus

188-128 met een debiet van 20.000 m<sup>3</sup>/h [52] geschikt. Voor al die PG's heeft Fläktgroup telkens bijhorende EG's maar daarover stond in de catalogus weinig info.

Om de kosten te bepalen voor die aanpassing, zijn de prijzen van de nieuwe luchtgroepen berekend via interpolatie. De kostprijs van de CAIRplus 160-096 met een debiet van 12.500 m<sup>3</sup>/h bedraagt dan €16.345 en de kostprijs van 1 CAIRplus 188-128 met een debiet van 20.000 m<sup>3</sup>/h komt dan op €22.331 [53]. De totale kostprijs van de nieuwe PG's bedraagt €83.338. De prijs van de bijhorende EG's was niet te vinden maar zal in dezelfde grootteorde liggen. Die zal wel iets lager zijn aangezien EG's geen verwarmingscomponent hebben. De installatie- en transportkosten horen hier niet bij.

De laatste oplossing is om luchtgroepen bij te plaatsen die op dezelfde schacht als de PG's en EG's toekomen en zo het tekort aan te vullen om 6 ACH te behalen. Tabel 6-8 toont hoeveel extra debiet de 4 hoofdpusliegroepen nodig hebben. Met dat debiet kan er in de catalogus van Fläktgroup een gepaste PG met bijhorende EG gekozen worden.

**Tabel 6-8 Extra benodigd debiet voor PG1,2,3 en 4**

PG	huidige debiet [m <sup>3</sup> /h]	debiet voor 6 ACH [m <sup>3</sup> /h]	verschil [m <sup>3</sup> /h]
PG1	7200	11498	4298
PG2	11250	19304	8054
PG3	13950	19944	5994
PG4	13950	19457	5507

Voor PG1 die een tekort van 4298 m<sup>3</sup>/h heeft kan een CAIRplus 096-064 met een debiet van 5000 m<sup>3</sup>/h het tekort opvullen [52]. De CAIRplus 096-096 met een debiet van 8000 m<sup>3</sup>/h kan PG2 het nodige extra debiet leveren [52]. Voor PG3 aan te vullen met 5994 m<sup>3</sup>/h en PG4 met 5507 m<sup>3</sup>/h kan een CAIRplus 128-064 met een debiet van 6500 m<sup>3</sup>/h gebruikt worden [52].

Om de kosten van die aanpassing te schatten wordt gekeken naar kostprijs van de toegevoegde luchtgroepen gevonden via interpolatie. De prijs van een CAIRplus 096-064 bedraagt €10.360, die van de CAIRplus 096-096 is €12.754 en de prijs van de CAIRplus 128-064 komt neer op €11.557. De totale kostprijs van de nieuwe PG's komt dan op €46.228. De kostprijs van de bijhorende EG's was niet te vinden maar zal in dezelfde grootteorde liggen. Die zal wel iets lager zijn aangezien EG's geen verwarmingscomponent hebben. De installatie- en transportkosten horen hier niet bij. Daarnaast is er ook een connectie nodig van die extra luchtgroepen op de hoofdschachten van de luchtgroepen. De kosten daarvoor horen ook niet bij dat bedrag.

Bij de 3 soorten oplossingen moeten telkens luchtgroepen geïnstalleerd worden. Volgens de technische dienst is het installeren van nieuwe luchtgroepen zeker mogelijk. De installatiekost kan echter hoog oplopen aangezien de luchtgroepen via een hijskraan op het dak van de campus geplaatst worden. De straat aan de campus moet echter dan ook afgesloten worden.

Elke soort aanpassing beoogt hetzelfde resultaat en dat is de lokalen van 6 ACH voorzien. Dat is nu niet het geval, dus de luchtdebieten door de kanalen gaan stijgen. De lichtsnelheden in de kanalen mogen een bepaalde limiet niet overschrijden. Het is dus nodig om voor elke soort aanpassing na te gaan of de debieten door de kanalen niet te groot zijn. Indien de debieten te hoog zijn moeten de kanalen vervangen worden. Dat valt echter buiten scope van deze masterproef, maar is interessant voor verder onderzoek.

In deze paragraaf kwam ter sprake om zorgvuldig te kiezen voor een nieuwe luchtgroep met een groter debiet, indien de bestaande luchtgroepen aan vervanging toe zijn. Campus Groep T en de ventilatie bestaan al 25 jaar en dus is het noodzakelijk om na te gaan wat nu precies de levensduur van de ventilatie is. Na contact met een medewerker van 'FläktGroup', werd duidelijk dat luchtgroepen een levensduur van ongeveer 10 à 15 jaar hebben. Dat hangt af van hoe goed de luchtgroepen zijn onderhouden. De contactpersoon maakte duidelijk dat na 10 à 15 jaar de lagers en kleppen van een luchtgroep zeker aan vernieuwing toe zijn. Bijkomstig specificeerde de medewerker dat een jaarlijkse controle van componenten zoals lagers, trillingsdempers en kleppen essentieel is voor een lange levensduur. Gebrek aan preventief onderhoud van de luchtgroepen, zorgt ervoor dat bij een faling de schade van de luchtgroep groot is. Waardoor de luchtgroep dan vervangen zou moeten worden.

De technische dienst van de KU Leuven doet aan preventief onderhoud voor de installaties van de campus. Jaarlijks gebeurt hierbij de vervanging van de filters van de PG's. Om de 2 maand is er ook een inspectie door de technische dienst om na te gaan of er bepaalde luchtgroepen rare geluiden maken of niet functioneren zoals het hoort. Indien er zich een probleem voordoet en dat kleine reparaties vraagt zoals kleppen, lagers, servomotoren of frequentieregelaars vervangen, zal de technische dienst dat zelf doen.

Wanneer de technische dienst merkt dat er grote onderdelen aan vervanging toe zijn of zelfs een hele luchtgroep, dan geven zij hun bevindingen door aan de dienst 'groot onderhoud' van de KU Leuven. Die dienst houdt zich bezig met grote aanpassingen binnen de KU Leuven. De grote aanpassingen hebben een grotere kost en dus is het nodig om na te gaan of die aanpassingen passen binnen het budget. De dienst Groot onderhoud beslist dan of de aanpassing meteen gebeurt of pas na enkele jaren.

Dat is ook afhankelijk van gebouw tot gebouw. Als er voor een gebouw een complete renovatie op de planning staat, is een grote aanpassing niet dringend en kan die tegelijk plaatsvinden met de renovaties. Campus Groep T is een recenter gebouw van de KU Leuven en heeft geen grote renovaties in het vooruitzicht. De technische dienst maakte bovendien duidelijk dat er door de jaren heen al verschillende vervangingen van lagers en servomotoren zijn gedaan, maar nog geen grote zoals het vervangen van een ventilator bijvoorbeeld.

Volgens de technische dienst zijn de luchtgroepen nog niet aan vervanging toe en is de levensduur ervan nog niet verstreken. Dat betekent dat de vervanging van luchtgroepen nog niet aan de orde is. Binnen ettelijke jaren wanneer de luchtgroepen aan vervanging toe zijn is het aangeraden om dan zorgvuldig nieuwe luchtgroepen te kiezen.

## **6.3 Aanpassingen zonder verbouwing**

Deze sectie gaat over aanpassingen die aan de ventilatie kunnen gebeuren zonder verbouwingen om de gewenste luchtdebieten te halen.

### **6.3.1 Draagbare luchtfilters**

Draagbare luchtfilters kunnen 6 ACH voorzien zonder dat er verbouwingen nodig zijn. In sectie 2.3.3 kwamen die reeds oppervlakkig aan bod. De filters zijn in alle ruimtes bruikbaar om zo bovenop de aanwezige centrale ventilatie de lucht te verversen. De centrale ventilatie heeft op die manier geen aanpassingen nodig en de extra filters leveren het tekort aan luchtdebiet.

Een ander voordeel van de filters is dat ze verplaatsbaar zijn. Het is mogelijk om voor elk lokaal een filter te voorzien of een beperkt aantal filters te gebruiken voor meerdere lokalen. Als referentie is het model 'AC2887/10' van het merk 'Philips' gekozen. (zie Figuur 6-2) [54].



**Figuur 6-2 Draagbare luchtfilter [54]**

Die filter heeft een CADR van 333 m<sup>3</sup>/h, met een HEPA-filter en actieve koolstoffilter, op de maximum snelheid. Dat betekent dat er per uur 333 m<sup>3</sup> aan gefilterde (secundaire) lucht terug in het lokaal komt. Voor de gemeten lokalen is er onderzocht hoeveel extra filters nodig zijn per lokaal om ze van minstens 6 ACH te voorzien.

Tabel 6-9 geeft de resultaten weer. Formule (6-4) toont de algemene berekening voor het aantal benodigde filters voor een ruimte om 6 ACH te behalen.

$$F = \frac{Q_{6ACH} - Q_r}{CADR_f} \quad (6-4)$$

waarbij F: aantal benodigde luchtfilters om 6 ACH voor een ruimte te voorzien

$CADR_f$ : Gefilterde luchtdebiet van een luchtfilter

**Tabel 6-9 Aantal extra luchtfilters nodig per lokaal**

	Lokaal	Huidig debiet [m <sup>3</sup> /h]	Debiet 6ACH [m <sup>3</sup> /h]	Aantal filters		Lokaal	Huidig debiet [m <sup>3</sup> /h]	Debiet 6ACH [m <sup>3</sup> /h]	Aantal filters
PG1	01.3.01	1499	2339	3	PG2	02.8.01.1	464	625	1
	01.3.02/03	1004	1641	2		02.8.01	221	273	1
	01.3.04	345	759	2		02.8.01.2/3	325	639	1
	01.3.05	498	685	1		02.8.03.1	66	301	1
						02.8.03/04	147	894	3
PG3	03.13.01	1484	2314	3		02.8.03.2	68	309	1
	03.13.02	455	853	2		02.7.04	404	993	2
	03.13.03	465	748	1		02.7.05	416	625	1
	03.13.04	410	934	2		01.4.01.1	423	625	1
	03.13.05	444	801	2		01.4.01	211	273	1
						01.4.01.2	232	314	1
PG4	03.13.07	496	1015	2		01.4.01.3	184	313	1
	03.13.08	472	554	1		01.4.03/04	328	1128	3
	03.14.03	1380	1342	0		01.3.07	417	993	2
	03.14.01	1035	913	0	01.3.08	445	625	1	



De tabel toont aan dat voor de 28 gemeten lokalen er in totaal 42 extra luchtfilters nodig zijn. Voor de andere lokalen is het huidige luchtdebiet niet gekend en dus valt het aantal extra luchtfilters ook niet exact te bepalen. Uit de resultaten van de 28 lokalen is af te leiden dat er ongeveer 2 extra luchtfilters nodig zijn per lokaal. Aangezien de onderzochte mix van lokalen van elk type zijn (groot, klein, bureau, labo, leslokaal) is het een aanvaardbare veronderstelling om het aantal van 2 te extrapoleren naar alle lokalen van de campus. Heel Campus Groep T beschikt over ongeveer 73 lokalen dus het totaal aantal filters zou rond de 146 liggen. Dat aantal is natuurlijk een schatting. Mochten de luchtfilters effectief aangekocht worden, dan is het eerst nodig om de luchtdebieten van de andere lokalen te meten om zo het echte aantal luchtfilters te kennen.

Volgens de specificaties produceert de Philips luchtfilter op de maximum stand een geluid van 62 dB. Het geluidsniveau tijdens een gesprek tussen 2 personen is rond de 62 dB [55]. Het apparaat maakt op de maximum stand dus evenveel geluid als een gesprek tussen 2 personen. Voor een lokaal waarbij het geluidsniveau normaal lager is dan 62 dB zou het toestel dus te veel lawaai maken en moet de filter op een lagere stand werken.

Op de hoogste stand heeft het apparaat een vermogen van 56 W. Het apparaat is aan te sluiten op het stopcontact in het lokaal waar het staat. Er is dus geen aanpassing aan het aanwezige elektriciteitsnet nodig.

De filter is handmatig of automatisch te besturen. Handmatig heeft het toestel 3 standen (slaap, snelheid 1 en turbo). Het is ook mogelijk om alle luchtfilters te verbinden met een centrale app via een wifi-netwerk. Elk apparaat krijgt een aanpasbare naam, zoals bijvoorbeeld de naam van het lokaal waarin het toestel staat. Via de app is het mogelijk om elke luchtfilter apart te besturen en een timer in te stellen zodat de luchtfilters na een bepaalde tijd uitschakelen.

Er is ook onderhoud nodig voor de luchtfilters. De handleiding van het toestel schrijft voor om de actieve koolfilters om het jaar en de HEPA-filter om de 2 jaar te vervangen. De onderhoudsdienst van Campus Groep T, kan dan de filters van de centrale ventilatie gelijktijdig met die van de draagbare luchtfilters vervangen. De kostprijs van de HEPA-filter is €43 [56] en van de actieve koolfilter €28 [57]. De gemiddelde kostprijs per jaar voor het vervangen van de filters bedraagt dus €49,5.

Voor de totale kost van de luchtfilters te kennen is als referentie model 'AC2887/10' van 'Philips' gekozen. Dat model kost €350 euro per apparaat [54]. Voor de 28 gemeten lokalen zijn 42 extra luchtfilters nodig om 6 ACH te behalen. Dat komt neer op een aankoop prijs van €14.700. Op de maximale stand verbruikt elke filter een vermogen van 56 W. Indien de filters tijdens alle lessen werken, komt dit neer op een werkduur van 10 uur per dag (8 uur tot 18 uur). De kost per kWh is €0,091/kWh [intern verkregen] en voor 42 filters komt dat neer op €2,14 per dag aan elektriciteit.

De technische dienst van de KU Leuven kan de filters zelf naar de gewenste lokalen brengen en het apparaat verbinden met het stopcontact en de app. Hierdoor is er praktisch geen installatiekost.

Tabel 6-10 geeft een overzicht van de kosten. De kosten zijn berekend voor 1 luchtfilter, voor 42 filters en een schatting voor 146 filters.

**Tabel 6-10 Kosten analyse draagbare filter**

Aantal filters	Aankoopkost (€)	Verbruikskosten (€/dag)	Onderhoudskosten (€/jaar)
1	350	0,05	49,5
42	14.700	2,14	2079
146	51.100	7,44	7227

Om de oplossing te implementeren is het nodig om de debieten van alle lokalen na te meten. Zo kan het precieze aantal filters berekend worden en is de totale kost gekend.

### 6.3.2 Luchtdebiet verhogen van luchtgroep

De tweede aanpassing zonder verbouwingen is het verhogen van de luchtdebieten van de huidige luchtgroepen. Zoals uit Tabel 6-1 bleek hebben 26 van de 28 gemeten lokalen van PG1, 2, 3 en 4 te weinig debiet om 6 ACH te behalen. Tabel 6-11 toont het extra benodigde debiet van iedere luchtgroep rekening houdend met de gemeten lokalen. Formule (6-5) toont de algemene berekening van het extra debiet.

$$Q_{L-extra} = \sum_{\text{lokaal}} (Q_{6ACH} - Q_r) \quad (6-5)$$

waarbij  $Q_{L-extra}$ : extra benodigde debiet per luchtgroep voor 6ACH

**Tabel 6-11 Extra debiet luchtgroepen**

Luchtgroep	Extra debiet (m <sup>3</sup> /h)
PG1	2078
PG2	4579
PG3	2392
PG4	441

De technische gegevens van luchtgroep PG2 (Bijlage E) documenteren dat het nominaal debiet van de luchtgroep 11.050 m<sup>3</sup>/h bedraagt en de nominale drukval over die luchtgroep 631 Pa bedraagt. Volgens de as-built plannen is het nominaal debiet van PG2 gelijk aan 11.250 m<sup>3</sup>/h. Dat betekent dat de ventilatie ontworpen is op dat debiet. Aangezien het verschil tussen 11.050 en 11.250 relatief klein is, wordt er verondersteld dat 11.250 m<sup>3</sup>/h en 631 Pa het nominaal werkingpunt is. De ventilator draait op een nominaal toerental van 1692 tr/min en heeft een nominaal elektrisch vermogen van 3 kW.

Indien PG2 een frequentieregelaar heeft, is het mogelijk om het toerental van de ventilator te wijzigen waardoor de ventilatorcurve verschuift. Figuur 6-3 laat zien hoe het nominaal werkingpunt van de ventilator van luchtgroep PG2 kan verschuiven om tot een nieuw luchtdebiet te komen. Aangezien de weerstandscurve van de kanalen door de oorsprong gaat en niet wijzigt bij een debietverandering, kan die curve dienen als een gelijkvormigheidslijn. Hierdoor is formule (6-6) geldig. Met het extra debiet uit de tabel en het echte werkingpunt van 11.250m<sup>3</sup>/h zou PG2 een debiet van 15.829 m<sup>3</sup>/h moeten leveren.

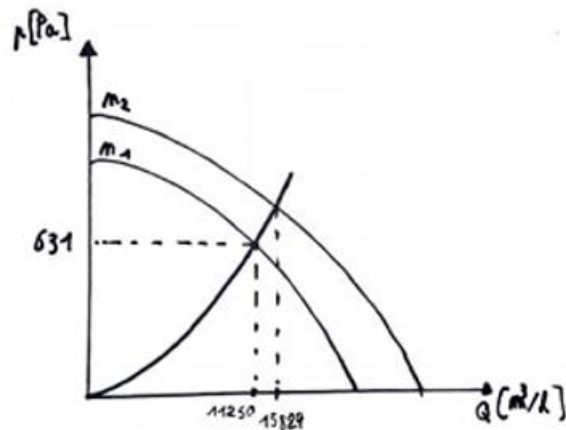
$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (6-6)$$

waarbij  $Q_1$ : het oorspronkelijk debiet door de ventilator

$Q_2$ : het nieuwe debiet door de ventilator

$n_1$ : de oorspronkelijke snelheid van de ventilator

$n_2$ : de nieuwe snelheid van de ventilator



**Figuur 6-3 PG2 nieuwe snelheid voor hoger debiet**

Aangezien het debiet verhoogt van 11.250 m<sup>3</sup>/h naar 15.829 m<sup>3</sup>/h, zal de snelheid verhoogt worden van 1692 naar 2381 tr/min. Dat is een toename van de snelheid met een factor 1,4. In de technische gegevens van de luchtgroep staat niet wat de maximale snelheid van de ventilator is, maar een toename van 40% kan voor ventilator- of motorproblemen zorgen. Op het einde van de paragraaf wordt een schatting gemaakt van de maximale snelheid. Om het benodigd vermogen van de ventilator te berekenen, is het eerst nodig om de nieuwe drukval over de ventilator te berekenen. Aangezien de weerstandscurve door beide werkingpunten gaat en niet verandert, is het mogelijk om daaruit de nieuwe druk te bepalen. Dat gebeurt aan de hand van de volgende formule.

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{Q_2^2}{Q_1^2} \quad (6-7)$$

waarbij  $p_1$ : de oorspronkelijke over de ventilator

$p_2$ : de nieuwe drukval over de ventilator

De druk bij het nieuwe debiet is dan gelijk aan 1249 Pa. Volgens de technische data heeft de ventilator bij een nominaal toerental van 1692 tr/min een rendement van 75% en de inductiemotor een rendement van 86%. Normaal wijzigen die rendementen bij een ander toerental, maar door een gebrek aan gegevens zijn ze voor deze berekening constant verondersteld. Nu zijn alle parameters gekend om het nieuwe elektrische vermogen te bepalen van de luchtgroep. De volgende formule toont de berekening.

$$P = \frac{p_2 \cdot \frac{Q_2}{3600}}{0,75 \cdot 0,86} \quad (6-8)$$

De nieuwe druk en het nieuwe debiet laten de ventilator een vermogen van 5,49 kW aan de lucht leveren. Met een rendement van 75% en 86% verhoogt het totale elektrische vermogen

van de inductiemotor naar 8,52 kW. Dat is meer dan een verdubbeling van de originele 3kW aan elektrisch vermogen. In de technische data staat ook niet wat het maximale elektrische vermogen is van de inductiemotor, maar de verdubbeling is ook een indicatie dat de inductiemotor die de ventilator aandrijft het nieuwe vermogen niet aankan.

De aanpassing van het debiet van PG2 is enkel voor 15 van de 29 lokalen, die PG2 van lucht voorziet. PG2 zou dus mogelijk nog meer dan 4579 m<sup>3</sup>/h aan debiet moet bijleveren om 6 ACH te bekomen voor alle lokalen.

Enkel frequentieomvormers gebruiken om het debiet te verhogen tot 6 ACH per lokaal, kan zorgen voor overbelasting van de inductiemotor die de ventilator aandrijft. Door de beperkte info in de technische gegevens over de ventilator en motor (3 kW, 1430 tr/min, 400/690 V, 50 Hz en 7,14 A) van PG2, is er gebruik gemaakt van de gegevens van een gelijkaardige inductiemotor (3 kW, 1445 tr/min, 400/690 V, 50 Hz en 6,18 A) en de gebruikte frequentieregelaar. De gegevens van de AESV2E inductiemotor van TECO [58] en de gegevens van de ATV 61WU30N4 frequentieregelaar [59] worden gebruikt.

Met die extra gegevens is het mogelijk om na te kijken of de uitgewerkte verhoging van het luchtdebiet voor PG2 realiseerbaar is. Een elektrische motor heeft 2 soorten limieten. De eerste is een thermische limiet, die de maximale stroom door de motor voorschrijft. Uit de gegevens van de frequentieregelaar voor een motor van 3 kW blijkt dat de maximale lijnstroom die de frequentieregelaar kan leveren bij 400 V 6,95 A is. Dit is ook ongeveer de nominale stroom van de motor. Daarnaast heeft de motor een  $\cos \varphi$  van 0,82. Volgende formule geeft de berekening van het maximum toegelaten vermogen van de inductiemotor waarvoor geen overbelasting optreedt.

$$P_m = \sqrt{3} I_{lijn} V_{lijn} \cos \varphi \quad (6-9)$$

waarbij  $P_m$ : maximale elektrisch vermogen van de inductiemotor

$I_{lijn}$ : Lijnstroom van de inductiemotor

$V_{lijn}$  Lijnspanning van de inductiemotor

$\cos \varphi$ : power factor van de inductiemotor

Het maximum elektrisch vermogen van de motor om geen overbelasting te hebben is 3,95 kW Dat is minder dan de helft van de 8,52 kW gevonden met formule (6-8). Het mechanisch vermogen van de motor is dan 3,40 kW en het vermogen van de ventilator om debiet te leveren is dan 2,55 kW.

De andere limiet is een mechanische limiet, die de maximale snelheid voor de mechanische onderdelen van de motor zoals de lagers weergeeft. Uit de gegevens van de AESV2E inductiemotor bleek dat de motor voor 2 minuten aan 120% van de synchrone snelheid kan werken. Na de 2 minuten moet de motor terug dalen naar een lagere snelheid of er zal schade optreden. Het synchrone toerental van de inductiemotor is 1500 tr/min en dat toerental maal een factor 1,2 geeft 1800 tr/min. Het maximale toerental voor de ventilator is dus 2106 tr/min, aangezien de ventilator 1,17 keer (verhouding nominaal toerental motor en ventilator) sneller draait dan de motor. Door de gevonden snelheid in te vullen bij formule (6-6) en dan gebruik te maken van formules (6-7) en (6-8) is het mogelijk om het maximale vermogen van de motor te bepalen. Het maximale vermogen voor de mechanische limiet is 5,89 kW. De mechanische limiet geldt slecht voor 2 minuten en ligt dus eigenlijk lager, maar aangezien de thermische limiet de beperkende term is maakt dat niet uit.

Het uiteindelijke maximaal vermogen van de ventilator om PG2 van extra debiet te voorzien is 2,55 kW. Dat komt overeen met een debiet van 12.257 m<sup>3</sup>/h en een snelheid van de ventilator van 1843 tr/min. Om die waarden te bekomen zijn formules (6-6), (6-7) en (6-8) omgerekend.

Het maximale extra debiet dat de ventilator van PG2 dus kan leveren door de snelheid aan te passen via de frequentieregelaar is 1007 m<sup>3</sup>/h. Dat is niet voldoende om alle lokalen van 6 ACH te voorzien. De berekeningen van de limieten zijn in de juiste orde grootte maar niet exact door de beperkte info bij technische gegevens.

De kost van deze oplossing is zowel de verbruikskost als de aankoopkost. Elektriciteitsleverancier 'Engie' heeft een systeem dat het elektrisch vermogen van de gebouwen van de KU Leuven om het kwartier meet. Dat is ook het geval voor Campus Groep T. Dat verbruik omvat de luchtgroepen, maar ook al de verlichting en elektrische apparaten. Het systeem meet niet apart het verbruik van de luchtgroepen dus daar is een schatting voor nodig. De luchtgroepen starten op rond 6:30. Het verschil in vermogen rond 6:30 en het kwartier ervoor is 32 kW. De verwarming slaat ook aan om 6:30 en Engie schat dat vermogen rond de 2 kW.

De luchtgroepen hebben een vermogen van ongeveer 30 kW. Bij een werkingsregime van 13 uur komt dit neer op 390 kWh per dag. Dat is ongeveer €35,5 per dag. Bij het voorbeeld van PG2 was het toegelaten maximum elektrisch vermogen een factor 1,32 hoger dan het nominaal elektrisch vermogen. Als die relatie voor alle luchtgroepen geldt, zou het elektriciteitsverbruik en de bijhorende kost voor de luchtgroepen ook met een factor 1,32 verhogen tot een bedrag van €46,9 per dag. Door de aanpassing stijgt de kost dus met €11,4 per dag. Dat dit voor alle luchtgroepen geldt is echter een veronderstelling en mocht Campus Groep T die oplossing willen toepassen moeten ze voor alle luchtgroepen het maximum toelaatbaar vermogen controleren.

Zoals bij de oplossing van de VAV-kleppen, moeten de luchtgroepen nog van een frequentieregelaar voorzien worden. Dat komt dan neer op een aankoopkost van €8659. Het implementeren van de oplossing is het aansluiten van de frequentieregelaars. Zoals bij de oplossing van de VAV-kleppen, kwam dit neer op een installatie kost van €4000 en een programmatiekost van €1500.

De oplossing is echter op zichzelf niet genoeg om alle lokalen van 6 ACH te voorzien. Het is wel mogelijk om deze oplossing te combineren met andere oplossingen.

Nu zijn alle oplossingen besproken en worden alle voor- en nadelen ervan samengebracht in een tabel om ze beter met elkaar te kunnen vergelijken. Tabel 6-12 geeft een kort overzicht van de criteria per oplossing die belangrijk zijn om een beslissing te maken welke oplossing het best wordt toegepast.

**Tabel 6-12 Overzicht van de verschillende oplossingen**

<b>Oplossing</b>	<b>Kost</b>	<b>Flexibiliteit</b>	<b>Verbouwingen</b>	<b>Onderhoud</b>
VAV-kleppen	-Aankoopkost: ±€95.000  -Installatiekost: ±€112.000	Zeer veel flexibiliteit tussen verschillende lokalen	Veel verbouwingen om kleppen in luchtkanalen te brengen + bekabeling. Vals plafond moet telkens open en toe	Per jaar een controle uitvoeren of systemen nog werken
Luchtgroepen vervangen en opsplitsen	-Aankoopkost: ±€80.000 enkel PG2	Extra flexibiliteit tussen modules	Veel kanalen vervangen in de schachten en muren openbreken + installatie luchtgroepen	Extra luchtgroepen om te onderhouden
Luchtgroepen bijplaatsen	-Aankoopkost: ±€86.000	Geen extra flexibiliteit	Extra kanalen plaatsen op verdieping van de luchtgroepen + installatie luchtgroepen	Extra luchtgroepen om te onderhouden
Luchtgroepen vervangen	-Aankoopkost: ±€160.000	Geen extra flexibiliteit	Geen verbouwingen. Wel installatie luchtgroepen	Geen extra onderhoud
Extra draagbare filters	-Aankoopkost: ±€51.100  -Verbruikskost: ±€7,44 per dag  -Onderhoudskost: ±€7227 per jaar	Elk lokaal heeft eigen filters dus veel flexibiliteit	Geen verbouwingen	Elk jaar extra onderhoud nodig voor vervanging filters
Debiet verhogen via frequentieregelaars	-Aankoopkost: ±€8700  -Installatiekost: ±€5500  -Verbruikskost: ±€12 per dag extra	Weinig extra flexibiliteit	Geen verbouwingen. Enkel installatie frequentieregelaars	Bij elke controle 7 extra regelaars nakijken

De beste oplossing is om een combinatie van enkele oplossingen te gebruiken. Zo kunnen alle voordelen van de verschillende oplossingen gebruikt worden. De technische dienst melde dat de luchtgroepen nog niet aan vervanging toe zijn. De installatie van VAV-kleppen is een efficiënte oplossing maar erg ingrijpend en duur. Dus is het aangeraden om enkel frequentieregelaars te installeren. Met die regelaars kunnen de debieten van de luchtgroepen zoveel mogelijk opgedreven worden. Hierna moet voor elk lokaal het debiet gemeten worden en het tekort valt dan weg te werken met extra luchtfilters. Op die manier moeten er geen

ingrijpende verbouwingen gebeuren, de ventilatie heeft toch meer flexibiliteit per lokaal en elk lokaal behaald 6 ACH op een relatief goedkope manier.

## 7 DISCUSSIE

---

Campus Groep T werd gebouwd in 1996 en behoort dus tot de modernere gebouwen van de KU Leuven. Voor een gebouw is 25 jaar niet zo lang, maar in die tijd kan er aan de ventilatie heel wat veranderd zijn. Momenteel is er op de campus niemand die volledig weet hoe de ventilatie precies werkt. Het was ook niet zeker of de ventilatie voldoet aan de huidige normen en wetgeving aangezien het gebouw 25 jaar oud is.

### 7.1 Luchtdebieten verhogen

Uit het onderzoek blijkt dat 20 van de 28 gemeten lokalen een lager debiet hebben dan de norm voorschrijft. Die norm is opgesteld zonder rekening te houden met Covid-19. Indien de ventilatie de overdracht van Covid-19 moet beperken, zijn 6 ACH per lokaal gewenst. Het onderzoek toont aan dat dan 26 van de 28 lokalen geen 6 vereiste ACH halen. De debieten naar de lokalen liggen dus te laag en aanpassingen om die debieten te doen stijgen zijn noodzakelijk.

In hoofdstuk 6 kwamen 4 oplossingen aan bod om de luchtdebieten te doen stijgen. Daar viel meteen op dat 2 van de 4 oplossingen frequentieregelaars gebruiken. Het is dus zeker aanbevolen om de luchtgroepen die momenteel niet over een frequentieregelaar beschikken te voorzien van een regelaar. Op die manier kunnen de debieten van de luchtgroepen beter geregeld worden en heeft het gebouwbeheersysteem meer informatie. De regelaar werkt samen met een drukmeter om zo altijd te weten in welk werkingpunt de luchtgroep zich bevindt. Momenteel is de werkingstoestand van de 4 hoofd luchtgroepen niet gekend.

Een andere aanbeveling is de plaatsing van VAV-kleppen. Die kleppen geven de meeste flexibiliteit en onafhankelijkheid aan de ventilatie. Het beheersysteem kan het debiet naar elke module automatisch en onafhankelijk van andere modules wijzigen. Binnen de modules is er zo ook meer onafhankelijkheid tussen de verschillende lokalen. Bijkomstig beschikt de technische dienst van de KU Leuven ook over meer informatie over de luchtdebieten naar de modules en de lokalen op die module. Met die oplossing is het niet nodig om elk lokaal constant van 6 ACH te voorzien. Het gebouwbeheersysteem detecteert dan met CO<sub>2</sub>-meters of een lokaal meer of minder debiet nodig heeft en zo is de bijhorende PG ook minder belast.

Voor de luchtgroepen die aan het einde van hun levensduur komen, is het aangeraden om te kiezen voor een nieuwe luchtgroep met een hoger nominaal debiet. Dat is een efficiënte oplossing om lokalen die nu de norm niet halen wel te voorzien van voldoende debiet. Bij elke rechtstreekse aanpassing aan de ventilatie moet wel gecontroleerd worden of de lichtsnelheden in de kanalen niet te sterk stijgen. Dat is nodig om het akoestisch comfort te waarborgen en de drukval in de kanalen te begrenzen. Indien de snelheid door de luchtkanalen te hoog is voor het gewenste debiet, moeten die kanalen vervangen worden door een kanaal met grotere afmetingen zodat de snelheid daalt.

De enige aanbeveling die geen rechtstreekse invloed heeft op de centrale ventilatie zijn de draagbare luchtfilters. Indien er geen aanpassingen gebeuren aan de centrale ventilatie en ieder lokaal moet 6 ACH krijgen, kan dat door de lokalen te voorzien van luchtfilters. Om het exacte aantal luchtfilters te kennen, moeten de debieten van alle lokalen gemeten worden. Zo kan de prijs voor deze aanbeveling vrij exact bepaald worden. De oplossing vergt echter weinig



installatie. Het nadeel is wel dat de machines geluid maken en dat ze plaats innemen in de lokalen.

Het idee om extra filters te plaatsen is combineerbaar met de andere oplossingen. Het is mogelijk om de centrale ventilatie aan te passen om het debiet te verhogen en daarna alle lokalen na te meten. Bij de lokalen waar nog steeds een tekort heerst, kan dan een extra luchtfilter komen. Zo wordt de centrale ventilatie niet te hard belast en zijn er minder filters nodig.

De ideale oplossing is een combinatie van alle aanbevelingen. Zo verhoogt de flexibiliteit van de ventilatie en hebben alle lokalen gegarandeerd 6 ACH.

## **7.2 Andere aanbevelingen**

Buiten het tekort aan luchtdebiet voor verschillende lokalen, zijn er ook nog andere problemen opgedoken die een oplossing vereisen.

Tijdens het berekenen van de vereiste luchtdebieten voor elk lokaal, kwam naar voor dat KU Loket telkens het maximaal toegelaten aantal personen per lokaal overschat. De KU Leuven geeft voor elk type ruimte de oppervlakte per persoon weer in een norm. Dat betekent dat elk lokaal een bepaald aantal vierkante meter per persoon moet voorzien. KU Loket geeft de oppervlakte van elk lokaal weer en dus is ook het maximaal aantal toegelaten personen voor dat oppervlakte gekend. Die maximale capaciteit is dan te vergelijken met de maximale capaciteit van KU Loket. Hieruit volgt dat KU Loket de toegelaten menselijke capaciteit vaak 30% en soms 50% overschat. Die vergelijking heeft niks met de ventilatie te maken en hangt enkel af van de beschikbare oppervlakte. Dat betekent dat in sommige lokalen 2 keer zoveel studenten kunnen zitten dan toegelaten is. Het inplannen van lessen en reserveren van lokalen gebeurt via KU Loket. De KU Leuven moet dus best de menselijke capaciteiten op KU Loket aanpassen. Uit het onderzoek blijkt dat door die aanpassing uit te voeren er nog 2 extra lokalen voldoen aan de normen voor de luchtdebieten en er dus in totaal 10 van de 28 gemeten lokalen de norm halen. In Bijlage D staat voor de gemeten lokalen telkens de maximale capaciteit op basis van de oppervlakte.

De volgende aanbeveling volgt uit het nameten van de debieten geleverd door PG4. Zoals uitgelegd in sectie 4.2.1 was tijdens die metingen de inlaatklep van de luchtgroep gesloten. Het gebouwbeheersysteem gaf wel een signaal dat de klep open moest staan, maar de servomotor van de klep was kapot. Hierdoor zoog de ventilator vacuüm en kwam er amper toevoerlucht naar de lokalen. De gemeten debieten van PG4 lagen in die omstandigheden 75% of meer lager dan de debieten van andere luchtgroepen. De inlaatkleppen van een luchtgroep hebben geen sensor waardoor eigenlijk niet geweten is of de klep effectief openstaat of niet. De technische dienst van de KU Leuven merkte het probleem ook niet op omdat de luchtgroep geen frequentieregelaar en drukmeter heeft. Indien dit wel het geval was geweest, zou het gebouwbeheersysteem wel een melding gegeven hebben. Het is dus niet geweten hoelang de servomotor kapot was en hoelang dat de lokalen zonder verse lucht zaten. Het is dus aangeraden om de inlaatkleppen te voorzien van sensoren zodat het gebouwbeheersysteem weet of de inlaatklep effectief openstaat. Een andere mogelijkheid is - zoals in het vorige deel reeds is aanbevolen - voor elke luchtgroep een drukmeter en een frequentieregelaar voorzien.

Zoals aangegeven in paragraaf 5.2 heeft het labo van materiaaltechnologie, gelegen in de parking, geen eigen PG. Dat is het geval, aangezien die ruimte vroeger niet ontworpen was als lokaal. Het labo beschikt wel over extractie en staat dus in onderdruk waardoor er vervuilde

lucht van de parking in het labo komt. Voor dat labo is het dus aan te raden een aanpassing te doen om luchttoevoer naar dit lokaal te verwezenlijken. PG9 die de parking voorziet van toevoerlucht zou het debiet voor het labo materiaaltechnologie kunnen leveren. Er moeten 2 luchtkanalen gemonteerd worden over 2 pulsieroosters van de parking. Die ingreep kost ongeveer €1000 aan materiaal en het plaatsen van de kanalen kost ongeveer €800. De kost is relatief beperkt en het debiet van de parking voldoet nog steeds aan de norm. Het is dus zeker aan te raden om die verbouwing uit te voeren.

De laatste aanbeveling gaat over de verwarming van de luchtgroepen. De technische dienst van de KU Leuven is al op de hoogte van het probleem en gaat het in juli 2021 oplossen. Toch is het van belang om nog eens de nadruk te leggen op dit probleem aangezien hierdoor het gasverbruik van de campus hoger is dan nodig. Paragraaf 4.3.2 legde uit hoe de ventilatie te regelen is op een lokaal niveau. Het probleem doet zich voor in het circuit van het verwarmingselement om de toevoerlucht op te warmen. Die verwarming verhoogt de temperatuur van de toevoerlucht door er warm water langs te laten stromen. In de paragraaf was uitgelegd dat een pomp en een 3-wegkraan het debiet aan warm water regelen. Op de as-built plannen en in realiteit staat er echter net voor de 3-wegkraan een bypass. Die bypass zorgt ervoor dat warm water terug naar de ketel kan lopen zonder langs de luchtgroep te passeren. De bypass, een T-stuk, heeft minder weerstand dan een 3-wegkraan waardoor een deel van het warm water langs de bypass terug naar de ketel stroomt. Hierdoor is het debiet van het warm water naar de luchtgroep lager dan gewenst. De temperatuur van het water moet dus verhogen om dezelfde hoeveelheid warmte te genereren voor de luchtgroep. Een hoger gewenste temperatuur betekent meer gas verbranden in de ketel. De ketels zijn in 2019 vervangen en toch is sindsdien het gasverbruik enkel gestegen, terwijl de ketels nu efficiënter zijn. Aangezien de bypass essentieel is, maar op een minder efficiënte plaats staat, zal de technische dienst de originele bypasses verwijderen en 1 algemene bypass plaatsen, met een drukventiel, op een efficiëntere plaats.

Al de aanpassingen uit deze discussie zorgen voor een efficiënter ventilatiesysteem. Ze zorgen ervoor dat de lokalen de luchtnormen halen en dat Campus Groep T energie-efficiënter wordt.

## 8 BESLUIT

---

Uit deze masterproef blijkt dat de luchtdebieten van de lokalen niet voldoen aan de wettelijke norm. Van 28 lokalen is het debiet gemeten en 20 van die lokalen krijgen onvoldoende verse lucht via de ventilatie.

Om de kans op de verspreiding van Covid-19 in gebouwen te beperken, zijn er 6 ACH per lokaal nodig. Deze 6 ACH kunnen samen met het dragen van mondkapjes het risico op besmetting doen dalen met 75% in een gebouw. De debietmetingen toonden aan dat er 2 van de 28 lokalen 6 ACH krijgen. De debieten naar de lokalen liggen dus te laag en aanpassingen om die debieten te doen stijgen zijn noodzakelijk. Om de verspreiding tegen te gaan is ook een goede extractie nodig om de aerosolen af te zuigen. Het was niet mogelijk om dit na te meten. Dit is dus zeker ook van belang voor verder onderzoek.

Tijdens de masterproef zijn er 4 oplossingen besproken die het debiet van de ventilatie kunnen laten stijgen. De aanpassingen bevatten onder andere het installeren van VAV-kleppen, frequentieregelaars, CO<sub>2</sub>-meters en extra verplaatsbare luchtfilters. Voor elke oplossing is een initiële kostenanalyse gedaan. Het implementeren van die oplossingen vereist ook telkens een controle van de luchtsnelheden in de luchtkanalen. De luchtsnelheid in een kanaal heeft een bepaalde maximum grens. Voor alle luchtkanalen controleren of ze de luchtsnelheden voor 6 ACH aankunnen valt buiten de scope van de thesis en is materie voor verder onderzoek.

Tijdens het nameten van de lokalen en het bepalen van de vereiste luchtdebieten, viel ook op dat in KU Loket de menselijke capaciteit van de lokalen overschat wordt. Dat betekent dat er meer studenten in lokalen toegelaten worden dan de ontwerppoppervlakte van de lokalen toelaat. Het is dus zeker aangeraden om de capaciteit van elk lokaal na te kijken en aan te passen.

Tijdens de masterproef zijn niet alle lokalen gemeten, wegens beperkte beschikbaarheid van de meettoestellen. De luchtdebieten aan de lichtgroepen zelf zijn niet gemeten, dat is niet nauwkeurig mogelijk met de beschikbare meetinstrumenten. Het is dus zeker aangeraden om bij verder onderzoek alle overige lokalen en alle lichtgroepen op te meten. Op die manier worden de luchtdebieten van elk lokaal en elke lichtgroep in kaart gebracht en kan er gerichter en met meer zekerheid bepaald worden hoe de oplossingen geïmplementeerd kunnen worden.

Voor het lokaliseren van een mogelijke lek in de extractiekanalen van de zuurkasten in lokaal 02.9.01 werd een traceergas (CO<sub>2</sub>) gebruikt. De hoeveelheid CO<sub>2</sub> die vrijkwam bij die proef was echter te klein om een verschil in CO<sub>2</sub>-concentratie waar te nemen. Die proef kan bij verder onderzoek uitgevoerd worden met een CO<sub>2</sub>-bron die gedurende een lange periode een hoge hoeveelheid CO<sub>2</sub>-vrijgeeft. Een andere optie is om het debiet van EG16 te verlagen tijdens de metingen opdat de zuurkast niet te veel CO<sub>2</sub> afzuigt en de concentratie rond de mogelijke lek voldoende kan opbouwen.

Om tot een conclusie te komen is het duidelijk dat huidige ventilatie van Campus Groep T de vereiste debieten niet haalt en ook niet voldoende kan bijdragen aan het beperken van de verspreiding van Covid-19. Doorheen de masterproef zijn echter oplossingen aangeboden om van Campus Groep T toch een veilige en gezonde werkomgeving te maken voor studenten in tijden met en zonder Covid-19.

## Referenties

- [1] Vlaamse energie- en klimaatagentschap, 'Ventilatiesystemen A,B,C en D'. <https://www.energiesparen.be/ventilatie> (geraadpleegd apr. 07, 2021).
- [2] 'Soorten ventilatiesystemen: ventilatiesysteem a, b, c en d'. <https://www.airservice.be/ventilatiesystemen.html> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [3] 'Ontwerp en dimensioneringseisen • WTCB', *Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf*. <https://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=infofiches&pag=42&art=2&lang=nl> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [4] P. Evans, 'How Air Handling Units work', *The Engineering Mindset*, sep. 26, 2018. <https://theengineeringmindset.com/air-handling-units-explained/> (geraadpleegd mei 02, 2021).
- [5] 'How Do Heat Recovery Systems Work?' <https://www.bpcventilation.com/blog/do-heat-recovery-systems-work> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [6] T. Richter, 'Concerning the freezing of condensate in the plate heat exchanger'. [Online]. Beschikbaar op: [http://www.hoval-enventus.com/zoolu-website/media/document/27245/Download\\_freezing+of+condensate+in+the+plate+heat+exchanger](http://www.hoval-enventus.com/zoolu-website/media/document/27245/Download_freezing+of+condensate+in+the+plate+heat+exchanger)
- [7] 'Hoe werkt een ventilatieunit met warmtewisselaar?', *Ambrava*. <https://ambrava.be/faq/hoe-werkt-een-ventilatieunit-met-warmtewisselaar/> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [8] 'Verwarming en ventileren: De juiste verwarmingsketel kiezen', *Vochtbestrijding Snel*, mrt. 20, 2019. <https://www.vochtbestrijdingsnel.be/verwarming-en-ventilatie> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [9] 'Wat is een warmtewiel - MijnEPB', *Mijn EPB*, okt. 23, 2015. <https://www.mijnepb.be/wat-is-een-warmtewiel/> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [10] R. V. Gaever en L. Brussel, 'Ontwerp en dimensionering van ventilatie in woningen: Theorie', p. 92.
- [11] J. Cahill en M. Ilchenko, 'Controlling Surge in Centrifugal Compressors', *Emerson Automation Experts*, mei 15, 2019. <https://www.emersonautomationexperts.com/2019/control-safety-systems/controlling-surge-centrifugal-compressors/> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [12] 'Compressor characteristic', *Wikipedia*. okt. 02, 2020. Geraadpleegd: apr. 26, 2021. [Online]. Beschikbaar op: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Compressor\\_characteristic&oldid=981407777](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Compressor_characteristic&oldid=981407777)
- [13] L. Indigne, 'VENTILATIE: SYSTEMEN, NETWERKEN, REGELING', p. 63.
- [14] (C.) Delmotte, 'Berekening van drukverliezen en dimensionering van luchtdistributienetwerken - WTCB-rapport • WTCB', *Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf*. <https://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=search&id=REF00002264> (geraadpleegd apr. 07, 2021).
- [15] 'Ventilatie voor niet-residentiële gebouwen : een nieuwe norm', p. 5, 2005.
- [16] 'WEBINAR: Virus Transmission and Mitigation in Buildings: Past, Present, and Future', *College of Engineering - Purdue University*. <https://engineering.purdue.edu/Engr/rising-to-the-challenge/Events/covid19-impacts-and-strategies-for-buildings> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [17] R. Tellier, Y. Li, B. Cowling, en J. Tang, 'Recognition of aerosol transmission of infectious agents: A commentary', *BMC Infect. Dis.*, vol. 19, jan. 2019, doi: 10.1186/s12879-019-3707-y.
- [18] C. Qingyan Yan, 'CFD-simulations aerosol distribution'. 11 2020. [Online]. Beschikbaar op: <https://engineering.purdue.edu/Engr/rising-to-the-challenge/Events/covid19-impacts-and-strategies-for-buildings>

- [19] B. Zhao, Z. Zhang, X. Li, en D. Huang, 'Comparison of diffusion characteristics of aerosol particles in different ventilated rooms by numerical method', *ASHRAE Trans.*, vol. 110, pp. 88–95, jan. 2004.
- [20] M. Puttemans, 'ONTWERP EN WERKING VAN VERDRINGINGSVENTILATIE IN HISTORISCHE CONCERTZALEN', p. 171.
- [21] P. Azimi en B. Stephens, 'HVAC filtration for controlling infectious airborne disease transmission in indoor environments: Predicting risk reductions and operational costs', *Build. Environ.*, vol. 70, pp. 150–160, dec. 2013, doi: 10.1016/j.buildenv.2013.08.025.
- [22] J. Douglas, 'Risk on infection plots'. nov. 11, 2020. [Online]. Beschikbaar op: <https://engineering.purdue.edu/Engr/rising-to-the-challenge/Events/covid19-impacts-and-strategies-for-buildings>
- [23] G. N. Sze To en C. Y. H. Chao, 'Review and comparison between the Wells–Riley and dose-response approaches to risk assessment of infectious respiratory diseases', *Indoor Air*, vol. 20, nr. 1, pp. 2–16, feb. 2010, doi: 10.1111/j.1600-0668.2009.00621.x.
- [24] P. Casteels, 'Ventilatie-expert Bert Blocken: "Vaccineren én ventileren: dat is de beste exitstrategie"', *Site-Knack-NL*, mei 11, 2021. <https://www.knack.be/nieuws/wetenschap/ventilatie-expert-bert-blocken-vaccineren-en-ventileren-dat-is-de-beste-exitstrategie/article-longread-1732841.html> (geraadpleegd mei 12, 2021).
- [25] 'Wat is CADR en waarom is het belangrijk om prestaties te evalueren?', *Luchtreinigeradvies*. <https://www.luchtreinigeradvies.com/info/wat-is-cadr/> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [26] T. Brennan en L. Harriman, 'Guide to Air Cleaners in the Home', nr. 2nd, p. 7, aug. 2018.
- [27] I. Brems, 'Evaluatie van vraaggestuurde ventilatie voor scholen', p. 116, 2010.
- [28] 'VAV-regelaar werking'. <https://www.inatherm.nl/vav-regelaar> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [29] P. Evans, 'Variable Air Volume', *The Engineering Mindset*, jul. 03, 2019. <https://theengineeringmindset.com/variable-air-volume/> (geraadpleegd mei 02, 2021).
- [30] Wei Guanghua, 'Improved Air Volume Control Logic for VAV Systems', Texas A&M University, Texas. [Online]. Beschikbaar op: <https://core.ac.uk/download/pdf/147128281.pdf>
- [31] 'testo 435-4 - Multifunction indoor air quality meter | Light | CO,CO<sub>2</sub>,light and sound | Parameters | Testo Thailand'. <https://www.testo.com/en-TH/testo-435-4/p/0563-4354> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [32] R. D. Fré, J. V. Deun, en W. Swaans, 'Code van Goede Praktijk Meting van Diffuse VOS-emissies Deel 1: Meting van het volumedebiet van diffuse emissies', p. 80.
- [33] 'Vane/temperature probe (Ø 100 mm) for measurements at air outlets | Voelers - vleugelrad | Voelers | Product type | Testo BV'. <https://www.testo.com/nl-NL/vleugelradsonde-diameter-100-mm/p/0635-9435> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [34] 'testovent 417 - funnel set for volume flow measurement / Testo AG | Luchtsnelheid | CO, CO<sub>2</sub>, lux en geluid | Parameters | Testo BV'. <https://www.testo.com/nl-NL/trechterset/p/0563-4170> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [35] S. Caillou, 'Mechanische-ventilatie debieten opmeten', p. 10, mrt. 2015.
- [36] 'CO<sub>2</sub> – een écht gevaar?!', *Safety Detection*, mrt. 26, 2019. <https://www.safetydetection.be/co2-een-echt-gevaar/> (geraadpleegd nov. 14, 2020).
- [37] 'Indoor air quality probe for CO<sub>2</sub>, temperature, humidity and absolute pressure | CO<sub>2</sub> (environment) | CO,CO<sub>2</sub>,light and sound | Parameters | Testo Thailand'. <https://www.testo.com/en-TH/iaq-probe-to-assess-indoor-air-quality-co-sub-2-/sub-humi/p/0632-1535> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [38] 'Studentenaantallen KU Leuven -alle studenten met vergelijking'. KU Leuven, apr. 01, 2021. Geraadpleegd: apr. 09, 2021. [Online]. Beschikbaar op: [https://www.kuleuven.be/prodstudinfo/PDF\\_Publiek/50000050/Studentenaantallen%20KULeuven%20-%20alle%20studenten%20met%20vergelijking.pdf](https://www.kuleuven.be/prodstudinfo/PDF_Publiek/50000050/Studentenaantallen%20KULeuven%20-%20alle%20studenten%20met%20vergelijking.pdf)
- [39] 'HQ85 ePM1 A+ Zakkenfilter', *AFPRO*. <https://www.afprofilters.nl/produkt/hq-85-epm1-zakkenfilter/> (geraadpleegd apr. 26, 2021).

- [40] 'Brandwerende klep - Rf-Technologies'. <https://www.rft.be/nl-be/producten/brandwerende-klep> (geraadpleegd mei 16, 2021).
- [41] 'pra-iris-regelklep-technische-info.pdf'. Halton. [Online]. Beschikbaar op: <https://climavent.be/downloads/pra-iris-regelklep-technische-info.pdf>
- [42] 'Rond wervelrooster - PLROND'. <https://www.climaconstruct.be/documents/easyshop/template-pages/article-group.xml?open=NAV%5CROO%5CPLR%5CPLWER&master=plrond&lang=nl> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [43] 'richtwaarden', *AGION*, mei 02, 2016. <https://www.agion.be/richtwaarden> (geraadpleegd mei 10, 2021).
- [44] 'Advies bij werkplekinrichting', *Vlaanderen Intern*, jun. 27, 2011. <https://overheid.vlaanderen.be/personeel/welzijn/advies-bij-werkplekinrichting> (geraadpleegd mei 10, 2021).
- [45] rose, 'Uw parking', *Leefmilieu Brussel*, aug. 17, 2015. <https://leefmilieu.brussels/de-milieuvergunning/algemene-en-specifieke-exploitatatievoorwaarden/de-specifieke-48> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [46] 'Mechanische ventilatie: ventielen, kanalen, ventilatoren en luchtgroepen • WTCB', *Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf*. <https://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=infofiches&pag=42&art=8> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [47] 'Ventilatie - Luchttechniek'. <https://www.climaconstruct.be/documents/home.xml?lang=nl> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [48] 'EN 1505 : Ventilation of buildings - Sheet metal air ducts and fittings with rectangular section - Dimensions - Normen • WTCB', *Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf*. [https://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=services&sub=standards\\_regulations&pag=list&art=search&id=CSTC95241](https://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=services&sub=standards_regulations&pag=list&art=search&id=CSTC95241) (geraadpleegd mei 01, 2021).
- [49] D. O. B. B.V, '(Actieve) Transmitters voor CO2 en Temperatuur: voor gebruik in lucht- en ventilatiekanalen of voor wandmontage. 4-20mA of 0-10VDC. Alarmering voor te hoog CO2 niveau.', *Delta OHM Benelux B.V.* <https://www.deltaohm.nl/continu-meting/hd37-actieve-transmitters-voor-co2-en-temperatuur-voor-gebruik-in-lucht-en-ventilatiekanalen-of-voor-wandmontage-4-20ma-of-0-10vdc-alarmering-voor-te-hoog-co2-niveau> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [50] 'Ronde VAV gemotoriseerde kleppen - KLMRO'. <https://www.climaconstruct.be/documents/easyshop/template-pages/article-group.xml?open=NAV%5CKLEP%5CKLM&master=klmro&lang=nl> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [51] 'Altivar Process - variateur - 5,5Kw - 400/480V - IP21 - ATV630U55N4', *One Elec*. <https://www.one-elec.com/en/atv630u55n4-pdt-atv630u55n4-schneider.html> (geraadpleegd mei 11, 2021).
- [52] Fläktgroup, 'HET VOLLEDIGE GAMMA LUCHTBEHANDELINGSGROEPEN'. Geraadpleegd: apr. 27, 2021. [Online]. Beschikbaar op: <https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/e4f817de-1d60-4b5a-9036-97af303c26bd>
- [53] V. Verbeke, 'Offerte luchtgroepen-FläktGroup'. FläktGroup, mei 12, 2021.
- [54] 'Air Purifier 2000-serie AC2887/10 | Philips'. [https://www.philips.be/c-p/AC2887\\_10/air-purifier-2000-serie](https://www.philips.be/c-p/AC2887_10/air-purifier-2000-serie) (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [55] spmtarista, 'Hoe kan het lawaai in klaslokalen worden verminderd?', *Cohezio*, aug. 31, 2016. <https://www.cohezio.be/nl/hoe-kan-het-lawaaai-klaslokalen-woorden-verminderd> (geraadpleegd apr. 26, 2021).
- [56] 'bol.com | Philips FY2422/30 - HEPA-filter voor Philips luchtreinigers'. <https://www.bol.com/nl/p/philips-fy2422-30-hepa-filter-voor-philips-luchtreinigers/9200000072442723/?country=BE> (geraadpleegd mei 11, 2021).
- [57] 'bol.com | Philips FY2420/30 - koolstoffilter voor Philips luchtreinigers'. <https://www.bol.com/nl/p/philips-fy2420-30-koolstoffilter-voor-philips-luchtreinigers/9200000072442729/?country=BE> (geraadpleegd mei 11, 2021).

- [58] 'Standard Motor Catalogue AESV2E / AESU2E Series AESV3E / AESU3E Series'. TECO, apr. 2014. [Online]. Beschikbaar op: [https://www.teco.com.tw/fa/ecatalogue\\_file/en/\(europe\)standardie2ie3motorcatalogueaesv-aesu.pdf](https://www.teco.com.tw/fa/ecatalogue_file/en/(europe)standardie2ie3motorcatalogueaesv-aesu.pdf)
- [59] 'Altivar 61W / E5 Simplified manual'. Schneider Electric, mei 2011. Geraadpleegd: apr. 28, 2021. [Online]. Beschikbaar op: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=User+guide&p\\_File\\_Name=ATV61W\\_Simplified\\_manual\\_1760826\\_07.pdf&p\\_Doc\\_Ref=1760826](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=ATV61W_Simplified_manual_1760826_07.pdf&p_Doc_Ref=1760826)
- [60] 'M3P25G/A', *Stuhr HVAC Components*. <https://hvac.de/de/altgeraete/1144-m3p25ga.html> (geraadpleegd apr. 24, 2021).

## **Bijlagen**

Bijlage A	Luchtdebiet normen toegepast door KU Leuven
Bijlage B	Debiet metingen lokalen en omvormer resultaten
Bijlage C	Berekening K-waarde van het 3-wegventiel
Bijlage D	Theoretische debieten onderzochte lokalen
Bijlage E	Technische gegevens PG2
Bijlage F	Bouwplannen gekregen van technische dienst (USB)



# Bijlage A

# LUCHTDEBIET NORMEN TOEGEPAST DOOR KU LEUVEN

Conceptblad 8C-03 - Ontwerpluchtdebieten per lokaaltipe

Lokaaltipe <sup>(1)</sup>	Ventilatievoud (l/s)	Forfaitair luchtdbiet (m <sup>3</sup> /h)	Luchtdbiet per persoon (m <sup>3</sup> /h-pers)	Luchtdbiet per vloeroppervlakte (m <sup>3</sup> /h-m <sup>2</sup> )	Specifiek luchtdbiet	Ontwerpoppervlakte per persoon (m <sup>2</sup> /pers)
<b>Gebouwen voor huisvesting</b>						
Afvalberging voor huishoudelijk afval	1			2,5		
Berging				2,5		15
Gang			30			0,6
Gemeenschappelijke ruimte (polyvalente zaal)		75 <sup>(1)</sup>	30			10
Gemeenschappelijke keuken – 1 per leefunit				7,5		2
Omkleed- en wasruimte personeel (zonder douche)					75 m <sup>3</sup> /h-stuk	
Douche (gemeenschappelijke sanitaire ruimte)					30 m <sup>3</sup> /h-stuk	
WC (gemeenschappelijke sanitaire ruimte)				15		
Eenpersoonskamer (≥ 12 m <sup>2</sup> , aanbevolen ca. 14 m <sup>2</sup> )		50				12
Eenpersoonskamer met kookvoorziening of bad/douche (ca.15 m <sup>2</sup> )		75				15
Eenpersoonskamer met kookvoorziening en bad/douche (ca.18 m <sup>2</sup> )		100				18
Eenpersoonsstudio met keuken en badkamer (ca.25 m <sup>2</sup> )		125				25
Meerpersoonsstudio met keuken en badkamer		150				30
Technische ruimte <sup>(2)</sup>				2,5		
Hoogspanningskabine					variabel <sup>(3)</sup>	
Traphal				2,5		
Toegang traphal / gang naar leefunit				2,5		
<b>Andere gebouwen</b>						
Archief ruimte (algemeen)	2			2,5		
Archief ruimte (waardevolle objecten)						1
Auditorium			40			10
Berging				2,5		
Bibliotheek (publiek toegankelijke ruimte)	1,5		30			10
Kantoor			30 / 72 <sup>(7)</sup>			10
Landschapskantoor			30			12
Cafeteria	5		30			1,5
Computerklassen			50			4
Gang				2,5		15
Inkomhal				2,5		2
Inkomhal (er kunnen evenementen plaatsvinden)			30	15		2
Kitchenette (aparte ruimte)	2 <sup>(3)</sup>	100 <sup>(4)</sup>	30			10
Omkleed- en wasruimte personeel				7,5		2
Douche (prefab met kleedkamer of andere)					75 m <sup>3</sup> /h-stuk	
Urinoir (sanitaire ruimte)				15	30 m <sup>3</sup> /h-stuk	
WC (sanitaire ruimte)				15	30 m <sup>3</sup> /h-stuk	
Laboratorium (bepikt risico)	5					
Laboratorium (standaard)	8					
Laboratorium (verhoogd ventilatievoud)	12					
Laboratorium (luchtinertensieve zone)	18					
Opslagplaats voor chemisch afval	10					
Opslagplaats voor biologisch afval	8					
Proefdierenlokaal	15					
Ses (laboratoria)	8					
Seminarie-lokaal / leslokalen			40			2,5
Technische ruimte <sup>(2)</sup>				2,5		
Hoogspanningskabine					variabel <sup>(3)</sup>	
Onderhoudslokaal (schoonmaak)				2,5		
Traphal				2,5		
Vergaderzaal			30 / 72 <sup>(7)</sup>			3
Vestiaire			30	2,5		
Wachruimte			30			1
Dataruimte			30	2,5		25

**Opmerking:** Getalwaarden in vet hebben de voorkeur, de cursieve waarden zijn te gebruiken als alternatief

**Noten:**

<sup>(1)</sup> Luchtdbiet dat te voorzien is als basisverluchting, exclusief het extractiedbiet van keukendampkappen

<sup>(2)</sup> Uitsluitend toepasbaar op lokalen waarin geen toestellen zijn opgesteld die voor hun werking lucht onttrekken uit de ruimte zelf (vb. verbrandingsstoestellen, persluchtcompressoren, etc.)

<sup>(3)</sup> Toepasbaar voor ruimtes met een lokaalvolume ≤ 50 m<sup>3</sup>

<sup>(4)</sup> Toepasbaar voor ruimtes met een lokaalvolume > 50 m<sup>3</sup>

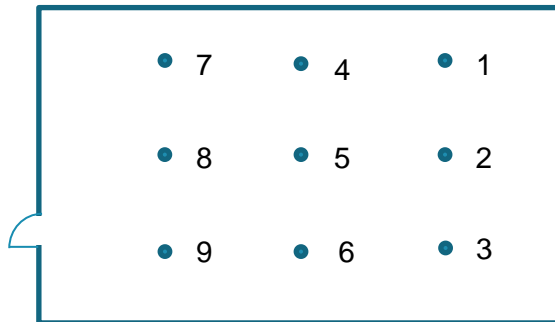
<sup>(5)</sup> Lokaalvolumes worden berekend zonder aftrek van inboedel, meubilair, etc.

<sup>(6)</sup> Zie document Conceptblad 8C-02 Ventilatie hoogspanningslokalen

<sup>(7)</sup> De hoogste waarde is van toepassing op gesloten lokalen zonder opgaand buitenverster

## Bijlage B DEBIET METINGEN LOKALEN EN OMVORMER RESULTATEN

Om de metingen gestructureerd uit te voeren, heeft elk gemeten rooster per lokaal een nummer gekregen. De rooster zijn genummerd zodat bij het binnekomen van een lokaal (aan de deur) het verste en meest linkse rooster nummer 1 heeft. Dan worden de andere roosters genummerd van links naar rechts. Dat gebeurt zoals weergegeven op onderstaande afbeelding.



Luchtgroep	Lokaal	Rooster	Snelheid gemeten [m/s]	Luchtdebiet [m³/h]	Fout op snelheid [m/s]	Fout op luchtdebiet [m³/h]
PG1	01.3.01	1	9,1	257,30	0,24	6,69
		2	10,55	298,29	0,26	7,30
		3	9	254,47	0,24	6,64
		4	7,75	219,13	0,22	6,11
		5	8,5	240,33	0,23	6,43
		6	8,1	229,02	0,22	6,26
	01.3.02/03	1	9,2	260,12	0,24	6,73
		2	8,1	229,02	0,22	6,26
		3	10,5	296,88	0,26	7,28
		4	7,7	217,71	0,22	6,09
	01.3.04	1	5,85	165,40	0,19	5,31
		2	6,35	179,54	0,20	5,52
	01.3.05	1	10,15	286,98	0,25	7,13
		2	7,45	210,64	0,21	5,99

Luchtgroep	Lokaal	Rooster	Snelheid gemeten [m/s]	Luchtdebiet [m³/h]	Fout op snelheid [m/s]	Fout op luchtdebiet [m³/h]
PG3	03.13.01	1	9,1	257,30	0,24	6,69
		2	8,8	248,81	0,23	6,56
		3	8,9	251,64	0,23	6,60
		4	8,55	241,75	0,23	6,45
		5	8,3	234,68	0,22	6,35
		6	8,85	250,23	0,23	6,58
	03.13.02	1	7,85	221,95	0,22	6,16
		2	8,25	233,26	0,22	6,33
	03.13.03	1	8,3	234,68	0,22	6,35
		2	8,15	230,44	0,22	6,28
	03.13.04	1	7	197,92	0,21	5,80
		2	7,5	212,06	0,21	6,01
	03.13.05	1	8,15	230,44	0,22	6,28
		2	7,55	213,47	0,21	6,03

Luchtgroep	Lokaal	Rooster	Snelheid gemeten [m/s]	Luchtdebiet [m³/h]	Fout op snelheid [m/s]	Fout op luchtdebiet [m³/h]
PG4	03.14.03	1	4,55	128,65	0,17	4,76
		2	9,75	275,67	0,25	6,96
		3	8,15	230,44	0,22	6,28
		4	8,9	251,64	0,23	6,60
		5	8,3	234,68	0,22	6,35
		6	9,15	258,71	0,24	6,71
	03.14.01	1	8,1	229,02	0,22	6,26
		2	7,75	219,13	0,22	6,11
		3	10,85	306,78	0,26	7,43
		4	9,9	279,92	0,25	7,03
	03.13.07	1	8,6	243,16	0,23	6,47
		2	8,95	253,06	0,23	6,62
	03.13.08	1	8,8	248,81	0,23	6,56
		2	7,9	223,37	0,22	6,18

Luchtgroep	Lokaal	Rooster	Snelheid gemeten [m/s]	Luchtdebiet [m³/h]	Fout op snelheid [m/s]	Fout op luchtdebiet [m³/h]
PG2	02.8.01.1	1	8,2	231,85	0,22	6,31
		2	8,2	231,85	0,22	6,31
	02.8.01	1	7,8	220,54	0,22	6,14
	02.8.01.2/3	1	2,3	65,03	0,13	3,80
		2	9,2	260,12	0,24	6,73
	02.8.03.1	1	2,35	66,44	0,14	3,82
	02.8.03/04	1	2,6	73,51	0,14	3,93
		2	2,6	73,51	0,14	3,93
	02.8.03.2	1	2,4	67,86	0,14	3,85
	02.7.04	1	7,95	224,78	0,22	6,20
		2	6,35	179,54	0,20	5,52
	02.7.05	1	8,2	231,85	0,22	6,31
		2	6,5	183,78	0,20	5,58

Huidige stand regelklep onderzoek:

Luchtgroep	Lokaal	Rooster	Snelheid gemeten [m/s]	Luchtdebiet [m³/h]	Fout op snelheid [m/s]	Fout op luchtdebiet [m³/h]	
PG2	01.4.01.1	1	6,6	186,61	0,20	5,63	
		2	8,35	236,09	0,23	6,37	
	01.4.01	1	7,45	210,64	0,21	5,99	
	01.4.01.2	1	8,2	231,85	0,22	6,31	
	01.4.01.3	1	6,5	183,78	0,20	5,58	
	01.4.03/04	1	3	84,82	0,15	4,10	
		2	2,95	83,41	0,14	4,08	
			3	2,6	73,51	0,14	3,93
			4	3,05	86,24	0,15	4,12
	01.3.07	1	8	226,19	0,22	6,22	
		2	7,75	219,13	0,22	6,11	
	01.3.08	1	7,4	209,23	0,21	5,97	
		2	7,35	207,82	0,21	5,94	

Stand regelklep meest open regelklep onderzoek:

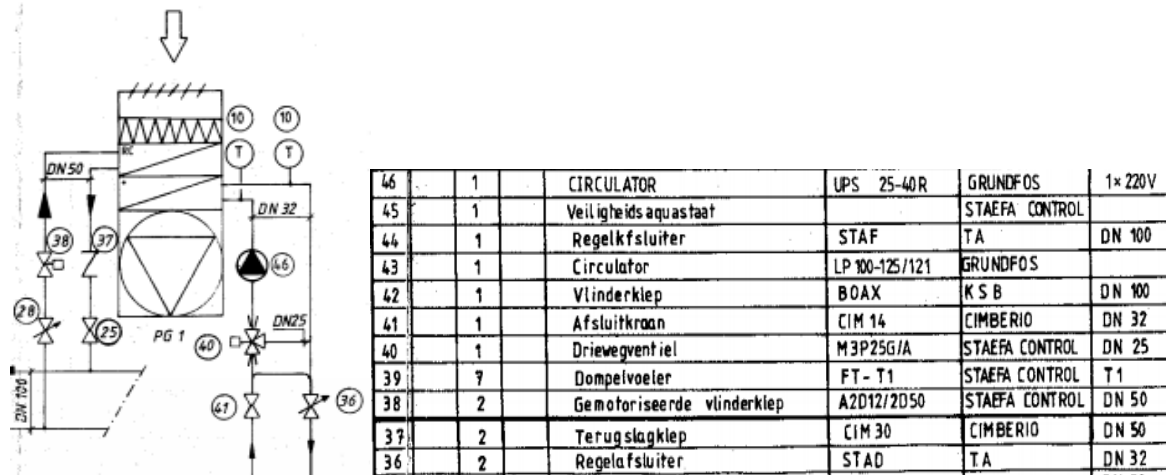
Luchtgroep	Lokaal	Rooster	Snelheid gemeten [m/s]	Luchtdebiet [m <sup>3</sup> /h]	Fout op snelheid [m/s]	Fout op luchtdebiet [m <sup>3</sup> /h]
PG2	01.4.01.1	1	7,55	213,47	0,21	6,03
		2	9,25	261,54	0,24	6,75
	01.4.01	1	6,75	190,85	0,20	5,69
	01.4.01.2	1	7,7	217,71	0,22	6,09
	01.4.01.3	1	7,4	209,23	0,21	5,97
	01.4.03/04	1	3	84,82	0,15	4,10
		2	2,9	82,00	0,14	4,06
		3	2,85	80,58	0,14	4,04
		4	3,5	98,96	0,15	4,31
	01.3.07	1	8,05	227,61	0,22	6,24
		2	7,7	217,71	0,22	6,09
	01.3.08	1	7,4	209,23	0,21	5,97
		2	7,35	207,82	0,21	5,94

Stand regelklep meest gesloten regelklep onderzoek

Luchtgroep	Lokaal	Rooster	Snelheid gemeten [m/s]	Luchtdebiet [m <sup>3</sup> /h]	Fout op snelheid [m/s]	Fout op luchtdebiet [m <sup>3</sup> /h]
PG2	01.4.01.1	1	5,75	162,58	0,19	5,27
		2	6,65	188,02	0,20	5,65
	01.4.01	1	7,25	204,99	0,21	5,90
	01.4.01.2	1	8,1	229,02	0,22	6,26
	01.4.01.3	1	6,95	196,51	0,20	5,78
	01.4.03/04	1	3,2	90,48	0,15	4,18
		2	3,1	87,65	0,15	4,14
		3	2,25	63,62	0,13	3,78
		4	2,5	70,69	0,14	3,89
	01.3.07	1	8,25	233,26	0,22	6,33
		2	8,2	231,85	0,22	6,31
	01.3.08	1	7,85	221,95	0,22	6,16
		2	7,4	209,23	0,21	5,97

## Bijlage C BEREKENING K-WAARDE VAN HET 3-WEGVENTIEL

Figuur 8-1 toont het hydraulisch schema van de as-built plannen. Het type van het 3-wegventiel is hier zichtbaar. Het type is M3P25GA – DN 25



Figuur 8-1: hydraulisch regelschema luchtgroep met componentenlijst

De technische specificaties van het driewegventiel zijn weergegeven op Figuur 8-2. De rij met het valve type M3P25 geeft de waarden voor het gebruikte 3-wegventiel weer.

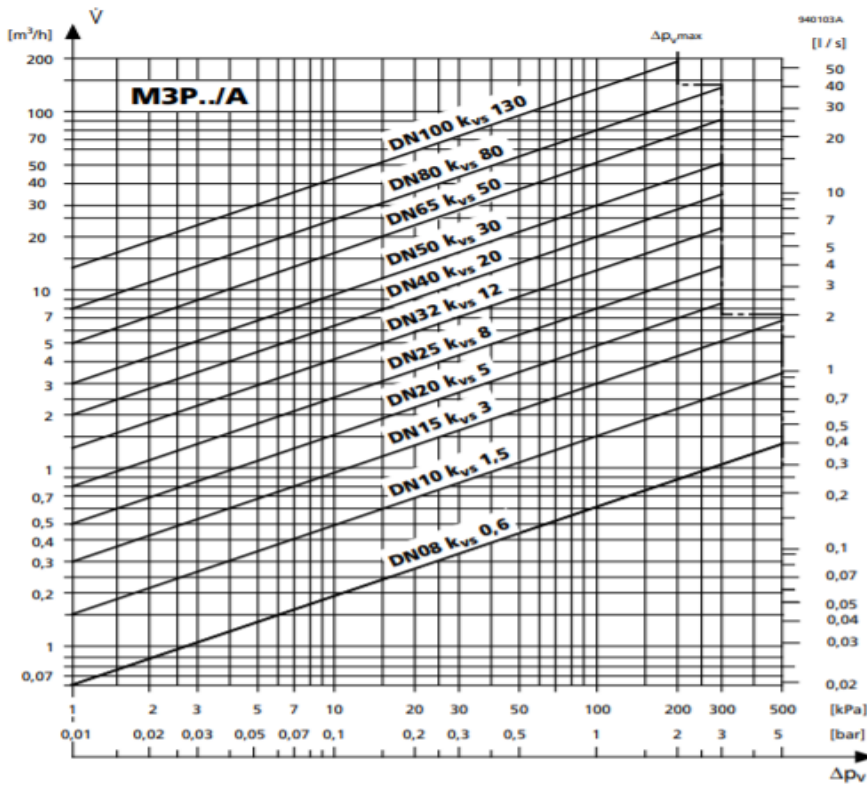
**Types and operating data**

Valve type	DN [mm]	$k_{vs}$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Delta p_{vmax}$		$P_N$ [VA]	$P_{med}$ [VA]	$q$ [mm <sup>2</sup> ]		
			[kPa]	[bar]			1.5	2.5	4.0
M3P08..A	08/15	0.6	500	5	13	3	60	100	170
M3P10..A	10/15	1.5	500	5	13	3	60	100	170
M3P15..A	15	3.0	500	5	13	3	60	100	170
M3P20..A	20	5.0	300	3	13	3	60	100	170
M3P25..A	25	8.0	300	3	16	4	50	80	135
M3P32..A	32	12.0	300	3	20	5	40	65	110
M3P40..A	40	20	300	3	26	6	30	50	80
M3P50..A	50	30	300	3	40	10	20	30	50
M3P65F/A	65	50	300	3	40	10	20	30	50
M3P80F/A	80	80	300	3	80	20	10	15	25
M3P100F/A	100	130	200	2	120	30	6	10	18

$\Delta p_{vmax}$  = Max. admissible pressure differential  
 $P_N$  = Nominal power  
 $P_{med}$  = Mean operating power  
 $k_{vs}$  = Flow rate to VDI/VDE2173, tolerance  $\pm 10\%$   
 $L$  = Max. cable length. With 4-wire connections, the maximum permissible length of the separate 1.5 mm<sup>2</sup> Cu signal cable is 200 m.  
 $q$  = Cross-section of cable (Cu)

Figuur 8-2: Technische specificaties 3-wegventiel [60]

Met de informatie uit Figuur 8-2 is het debiet en de drukval over het 3-wegventiel af te lezen uit de grafiek op Figuur 8-3. We nemen het snijpunt van de drukval van 100kPa en de grafiek van het DN 25 type als werkingspunt om het debiet af te lezen. Hieruit volgt dat voor dit type bij een drukval van 100kPa het debiet door het ventiel 8m<sup>3</sup>/h bedraagt.



**Figuur 8-3: Waterdebiet grafiek voor 3-wegventiel [60]**

Om de K-waarde van het 3-wegventiel te bepalen moet de snelheid doorheen het ventiel gekend zijn. De berekening hiervan is hieronder te zien:

$$v_{vent} = \frac{Q_{vent}}{A_{vent}} = 8 \frac{m^3}{h} * \frac{1h}{3600s} * \frac{1}{\pi * (12,5 * 10^{-3})^2} = 4,53m/s$$

waarbij  $v_{vent}$ :snelheid doorheen het 3-wegventiel

$Q_{vent}$ :waterdebiet doorheen het 3-wegventiel

$A_{vent}$ : oppervlakte van de 3-wegventielingang

Nu de snelheid doorheen het ventiel en drukval over dat ventiel gekend is kan de K-waarde berekend worden. Volgende formule geeft de K-waarde:

$$K = \frac{2\Delta P_{vent}}{\rho_w v_{vent}^2} = \frac{200kPa}{1000 \frac{kg}{m^3} (4,53 \frac{m}{s})^2} = 9,76$$

waarbij  $\Delta P_{vent}$ : drukval over het 3-wegventiel

$\rho_w$ :massadichtheid van water

## Bijlage D VEREISTE DEBIETEN ONDERZOCHE LOKALEN

Lokaal	type	oppervlakte [m <sup>2</sup> ]	aantal mensen	Vereist debiet actuele bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Vereist debiet genormeerde bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Op basis van welke capaciteit berekent
01.3.01	labo	130	/	1950		KU Loket
01.3.02/03	labo	91	/	1365		KU Loket
01.3.04	bureau	/	7	504		KU Loket
		42,144	5		360	Ontwerpoppervlakte
01.3.05	bureau	/	5	360		KU Loket
		38,059	4		288	Ontwerpoppervlakte

Lokaal	type	oppervlakte [m <sup>2</sup> ]	aantal mensen	Vereist debiet actuele bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Vereist debiet genormeerde bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Op basis van welke capaciteit berekent
03.13.01	Leslokaal	/	80	3200		KU Loket
		129	52		2080	Ontwerpoppervlakte
03.13.02	Leslokaal	/	40	1600		KU Loket
		47	19		760	Ontwerpoppervlakte
03.13.03	Leslokaal	/	30	1200		KU Loket
		42	17		680	Ontwerpoppervlakte
03.13.04	Bureau	/	12	864		KU Loket
		51,885	6		432	Ontwerpoppervlakte
03.13.05	Leslokaal	/	25	1000		KU Loket
		44	18		720	Ontwerpoppervlakte

Lokaal	type	oppervlakte [m <sup>2</sup> ]	aantal mensen	Vereist debiet actuele bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Vereist debiet genormeerde bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Op basis van welke capaciteit berekent
03.13.07	Leslokaal	/	25	1000		KU Loket
		56	23		920	Ontwerpoppervlakte
03.13.08	Leslokaal	/	25	1000		KU Loket
		31	13		520	Ontwerpoppervlakte
03.14.03	Bureau	/	14	1008		KU Loket
		74,574	8		576	Ontwerpoppervlakte
03.14.01	Bureau	/	10	720		KU Loket
		50,699	6		432	Ontwerpoppervlakte



Lokaal	type	oppervlakte [m <sup>2</sup> ]	aantal mensen	Vereist debiet actuele bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Vereist debiet genormeerde bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Op basis van welke capaciteit berekent
01.4.01.1	bureau	/	14	1008		KU Loket
		34,718	4		288	Ontwerppoppervlakte
01.4.01	gang	16,625	/	42		KU Loket
01.4.01.2	bureau	/	1	72		KU Loket
		17,438	2		144	Ontwerppoppervlakte
01.4.01.3	bureau	/	1	72		KU Loket
		17,407	2		144	Ontwerppoppervlakte
01.4.03/04	bureau	/	7	504		KU Loket
		62,678	7		504	Ontwerppoppervlakte
01.3.07	bureau	/	10	720		KU Loket
		55,17	6		432	Ontwerppoppervlakte
01.3.08	leslokaal	/	25	1000		KU Loket
		35	14		560	Ontwerppoppervlakte

Lokaal	type	oppervlakte [m <sup>2</sup> ]	aantal mensen	Vereist debiet actuele bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Vereist debiet genormeerde bezetting [m <sup>3</sup> /h]	Op basis van welke capaciteit berekent
02.8.01.1	vergaderzaal	/	13	936		KU Loket
		34,718	12		864	Ontwerppoppervlakte
02.8.01	gang	16,625	/	42		KU Loket
02.8.01.2/3	Bureau	/	4	288		KU Loket
		35,516	4		288	Ontwerppoppervlakte
02.8.03.1	bureau	/	1	72		KU Loket
		17,155	2		144	Ontwerppoppervlakte
02.8.03/04	Bureau	/	6	432		KU Loket
		49,659	5		360	Ontwerppoppervlakte
02.8.03.2	Bureau	/	2	144		KU Loket
		17,155	2		144	Ontwerppoppervlakte
02.7.04	Computer lokaal	/	12	600		KU Loket
		55	14		700	Ontwerppoppervlakte
02.7.05	Bureau	/	7	504		KU Loket
		34,72	4		288	Ontwerppoppervlakte

## Bijlage E TECHNISCHE GEGEVENS PG2

<b>GEA AEROTHERM SYSTEEM HAPPEL AMBIENTE</b>			
GEA HAPPEL BELGIE EXCELSIORLAAN 11 Bus 2 1930 ZAVENTEM 4.95/HA			
Projektnr : 611 039	20.20 ISB	Binnen-unit	22.2.1996
Positie : PG 2	1 stuk	Wanddikte : 30 mm NGA	Pagina :5

### Aerotherm :20.20 ISB

Buitenzijde - verzinkt en elek.stat. gelakt RAL 6025  
 Binnenzijde - verzinkt

Sekties :

#### TOEVOER:

ST2 FLEXIBELE AANSL. OP UNITDOORSNEDE

J6 JALOEZIEKLEPPEN UNITDOORSNEDE MET DICHTINGSRUBBER

luchtweerstand 8 Pa

STW2 KOPSE WAND MET AANSLUITING OP UNIT DOORSNEDE

TFEU7 ZAKKENFILTER - EU7

filterkl. Din 24185	EU7	
rendement EM	87,9	%
afscheidingsgraad AM	99,5	%
filtermedium	glasvezel	
filterzak lengte	590	mm
temperatuurbestendig	100	'C
aanvangsweerstand	57	Pa
eindweerstand	157	Pa
ontwerpweerstand	107	Pa

ERSFG Reserve filterset  
 1.0 stuks

EEFC2 ECOFLOW VERWARMER

vermogen	45.24	kW
rendement	50.33	%
medium :	Glycol 30 % tot -13.9	'C
doorstroomhoeveelheid	6.4	m3/h
tot. mediumweerstand	45000	Pa

#### BUITENLUCHT

luchthoeveelheid	11050	m3/h
referentietemperatuur	20.00	'C
intrede temperatuur	-9.00	'C
uittrede temperatuur	3.14	'C
luchtweerstand	220	Pa
pijptype	SD212	
aansluitdiameter	50	DN

AFVOERLUCHT		
luchthoeveelheid	8600	m3/h
referentietemperatuur	20.00	°C
intrede temperatuur	22.00	°C
rel. vochtigheid	50.00	%
uittrede temperatuur	8.04	°C
rel. vochtigheid	99.19	%
luchtweerstand	120	Pa
pijptype	SD212	
aansluitdiameter	50	DN

E.,,CAF VERWARMER Cu-Al - MEETSEKTIE

warmtewisselaar type	E1,0CAF-std	
vermogen	84.65	kW
luchthoeveelheid	11050	m3/h
intrede temperatuur	-9.00	°C
rel. vochtigheid	90.0	%
uittrede temperatuur	14.00	°C
rel. vochtigheid	17.3	%
luchtweerstand	23	Pa
medium:	0	% glycol
intrede temperatuur	80.00	°C
uittrede temperatuur	60.00	°C
hoeveelheid	3.74	m3/h
doorstroomweerstand	7872	Pa
pijptype	SD212/120	
aantal circuits	2	stuks
aansluit diameter	50	

LT1 LEGE SEKTIE ZONDER DEUR - 610 mm

V13R VENTILATOR - ACHTEROVERGEBOGEN

KV V-snaarbescherming  
1.0 stuks

ST3-1 FLEXIBELE AANSL. VOOR VENTILATORUITBLAAS

*** TOEVOERVENTILATOR			
type: Comefri -L	V13R	450	/HA
luchthoeveelheid		11050	m3/h
externe druk		300	Pa
dynamisch drukverlies		53	Pa
totaal druk		631	Pa
ventilator toerental		1692	t/min-1
ventilatorrendement		75	%
asvermogen		2.580	kW
motorvermogen		3.00	kW
motortoerental		1430	t/min-1
spanning/frequentie	400/690/50		V/Hz
nom. stroom		7.14	A
bescherming		IP54	
motorbouwmaat		100LB	
motorgewicht		24.0	kg
wikkelingsbescherm.:		PTC voelers	

GELUIDVERMOGEN AAN DE VENTILATOR PERSZIJDE								
Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dB(A)	63	71	77	80	81	78	74	68

GELUIDVERMOGEN AAN DE AANZUIGOPENING								
Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dB	60	68	74	77	78	75	71	65

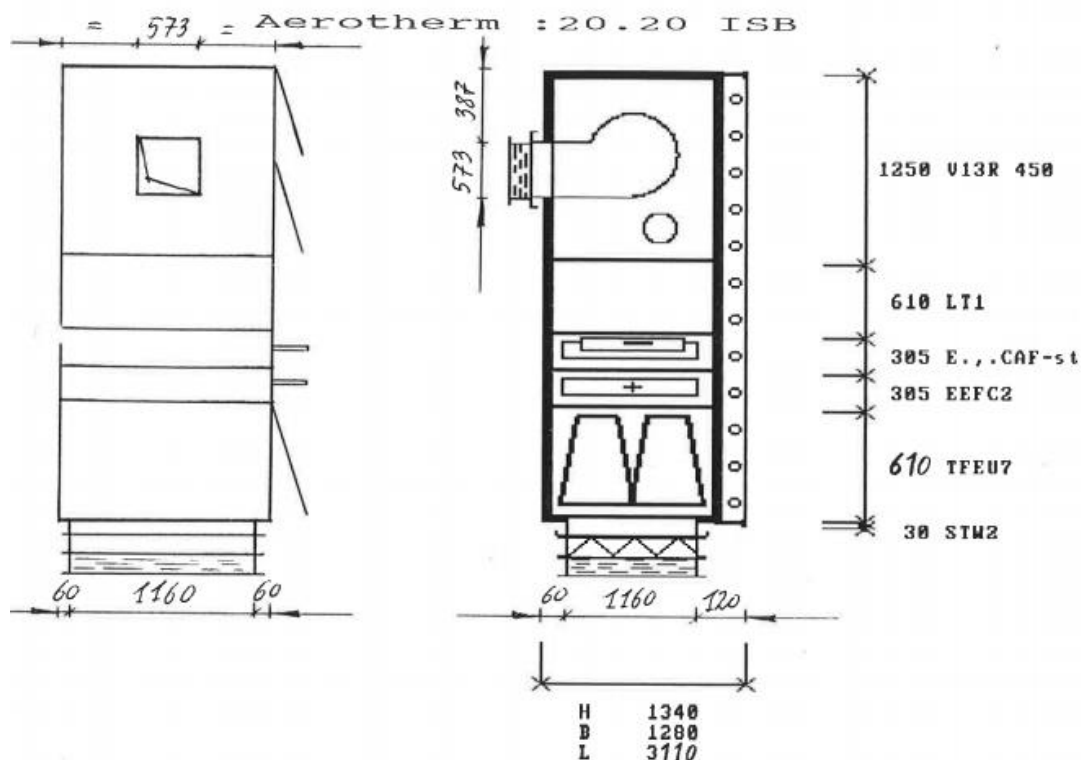
  

GELUIDVERMOGEN BUITEN DE VENTILATORSEKTIE								
Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dB(A)	45	53	58	51	40	28	24	18

Reserve RIEMEN

Totaalgewicht van de unit per stuk 683 kg

1 stuks



Lieferung in 1 Teilen

TEILUNGSSTOSS

LÄNGENMAßE OHNE JALOUSIEN, STUTZEN UND KANALANSCHLÜßE

KANALANSCHLUßBRAHMEN GES. QUERSCH. = 1160 x 1160 x 30 mm

MAßE JALOUSIE GES. QUERSCHNITT = 1160 x 1160 x 120 mm

MAßE STUTZEN GES. QUERSCHNITT = 1160 x 1160 x 130 mm

KANALANSCHLUßBRAHMEN VENTILATOR = V 450 : 573 x 573 x 30 mm

MAßE STUTZEN VENTILATOR = V 450 : 573 x 573 x 130 mm

ANSICHT BETRIEBSSSEITE = MEDIUMANSCHLUßSEITE

FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN  
CAMPUS GROEPT LEUVEN  
Andreas Vesaliusstraat 13  
3000 LEUVEN, België  
tel. + 32 16 30 10 30  
iiw.groept@kuleuven.be  
[www.iw.kuleuven.be](http://www.iw.kuleuven.be)

