

2015•2016
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: energie

Masterproef

Vernieuwing van het klimaatbeheersingssysteem van het bureelgebouw van Jaga

Promotor :
ir. Frederik ROGIERS
ing. DANNY INDESTEGE

Gert Kaminski

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: energie

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2015•2016
Faculteit Industriële
ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: energie

Masterproef

Vernieuwing van het klimaatbeheersingssysteem van het
bureelgebouw van Jaga

Promotor :
ir. Frederik ROGIERS
ing. DANNY INDESTEGE

Gert Kaminski

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële
wetenschappen: energie*

Woord vooraf

Deze masterproef is de afsluiter van mijn studies tot het behalen van het diploma als industrieel ingenieur energie met als afstudeerrichting elektrotechniek. De masterproef sluit goed aan bij mijn interesses in de HVAC-sector. Hierbij wil ik Jaga en haar medewerkers bedanken voor de ter beschikking stelling van deze masterproef en de hulp die ze me gaven. In persoon wens ik mijn externe promotor ing. Danny Indestege te bedanken voor de hulp en begeleiding doorheen de masterproef.

Verder wil ik mijn interne promotor ir. Frederik Rogiers bedanken voor de ondersteuning en begeleiding. Wanneer ik vast zat met een probleem hielp hij mij en gaf mij een andere kijk op het onderwerp.

Daarnaast bedank ik Tim Neiss voor de technische ondersteuning en hulp die hij mij gaf bij de realisatie van de uitvoeringsplannen.

Als laatste wil ik mijn ouders, familie en vrienden bedanken voor de hulp en steun die ze mij gaven om deze masterproef tot een goed einde te brengen.

Gert Kaminski
juni 2016

Inhoud

| | |
|--|-----------|
| Woord vooraf | 1 |
| Tabellenlijst | 7 |
| Figurenlijst | 9 |
| Abstract | 11 |
| Abstract in English | 13 |
| 1 Inleiding | 15 |
| 1.1 Voorstelling Jaga..... | 15 |
| 1.1.1 <i>Geschiedenis</i> | 15 |
| 1.1.2 <i>Heden</i> | 17 |
| 1.1.3 <i>Greenforce</i> | 18 |
| 1.2 Probleemstelling..... | 19 |
| 1.3 Doelstellingen..... | 19 |
| 1.4 Methode..... | 19 |
| 1.5 Vooruitblik..... | 20 |
| 2 Het bureelgebouw | 21 |
| 2.1 Inleiding..... | 21 |
| 2.2 Ligging en plattegrond..... | 21 |
| 2.3 Beoogd gebruik..... | 22 |
| 2.4 Gebouwschil..... | 24 |
| 2.4.1 <i>Verdieping 0 en 1</i> | 24 |
| 2.4.2 <i>Verdieping 2</i> | 25 |
| 2.4.3 <i>Overzicht</i> | 26 |
| 2.5 Totaal warmteverlies bij ontwerp­buitentemperatuur..... | 27 |
| 2.5.1 <i>Transmissieverliezen</i> | 28 |
| 2.5.2 <i>Ventilatieverliezen</i> | 30 |
| 2.5.3 <i>Warmteverliezen</i> | 31 |
| 2.5.4 <i>Resultaten</i> | 31 |
| 2.6 Warmtewinsten..... | 32 |
| 2.7 Besluit..... | 33 |
| 3 De huidige HVAC­installatie | 35 |
| 3.1 Centrale verwarming en koeling..... | 35 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.1.1 | <i>Algemene situatie</i> | 35 |
| 3.1.2 | <i>Warmtebron</i> | 36 |
| 3.1.3 | <i>Koudebron</i> | 37 |
| 3.1.4 | <i>Systeemtopologie</i> | 37 |
| 3.1.5 | <i>Afgiftesysteem</i> | 37 |
| 3.1.6 | <i>Regeling en sturing</i> | 39 |
| 3.2 | Ventilatie | 39 |
| 3.3 | Andere ruimtes | 40 |
| 3.3.1 | <i>Vergaderzalen en Showroom 1</i> | 40 |
| 3.3.2 | <i>Showroom 2,3 en 4</i> | 42 |
| 3.4 | Besluit..... | 44 |
| 4 | Comfort | 45 |
| 4.1 | Wat is comfort..... | 45 |
| 4.2 | Thermisch comfort | 45 |
| 4.2.1 | <i>Parameters voor het thermisch comfort</i> | 45 |
| 4.2.2 | <i>Predicted Mean Vote</i> | 46 |
| 4.3 | Luchtkwaliteit..... | 47 |
| 4.4 | Visueel comfort | 48 |
| 4.5 | Akoestisch comfort..... | 49 |
| 4.6 | Comfortenquête | 49 |
| 4.7 | Resultaten van de comfortenquête..... | 50 |
| 4.7.1 | <i>Thermisch comfort</i> | 51 |
| 4.7.2 | <i>Luchtkwaliteit</i> | 54 |
| 4.7.3 | <i>Visueel comfort</i> | 55 |
| 4.7.4 | <i>Akoestisch comfort</i> | 56 |
| 4.7.5 | <i>Gezondheidsklachten</i> | 57 |
| 4.7.6 | <i>Andere opmerkingen</i> | 57 |
| 4.8 | Besluit..... | 57 |
| 5 | Oorzaken van de comfortproblemen | 59 |
| 5.1 | Thermisch comfort | 59 |
| 5.2 | Luchtkwaliteit..... | 60 |
| 5.3 | Visueel comfort | 62 |
| 5.4 | Akoestisch comfort..... | 62 |
| 5.5 | Besluit..... | 62 |
| 6 | Oplossingen en alternatieven | 63 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6.1 | Gebouwschil..... | 63 |
| 6.2 | Centrale verwarming en koeling | 63 |
| 6.2.1 | Warmtebron..... | 63 |
| 6.2.2 | Koudebron..... | 67 |
| 6.2.3 | Systeemtopologie..... | 68 |
| 6.2.4 | Afgiftesysteem..... | 70 |
| 6.2.5 | Regeling en sturing..... | 70 |
| 6.3 | Ventilatie | 71 |
| 6.3.1 | Decentraal Oxygen-systeem..... | 71 |
| 6.3.2 | Centraal luchtbehandelingssysteem..... | 73 |
| 6.3.3 | Vergelijking van de systemen | 74 |
| 6.4 | Gekozen oplossingen..... | 75 |
| 7 | Het uitvoeringsplan | 77 |
| 7.1 | Ontwerp en dimensionering van centrale verwarmings- en koelinstallaties | 77 |
| 7.1.1 | Bepalen van de benodigde verwarmingsvermogens..... | 77 |
| 7.1.2 | Bepalen van de benodigde koelvermogens..... | 78 |
| 7.1.3 | Ontwerp en dimensionering van het leidingnet..... | 79 |
| 7.1.4 | Bepalen van de circulatiepomp | 81 |
| 7.1.5 | Bepalen van het expansievat | 83 |
| 7.2 | Ontwerp van een ventilatiesysteem..... | 85 |
| 7.3 | Verkoopafdeling..... | 86 |
| 7.3.1 | Benodigde verwarm- en koelvermogens..... | 86 |
| 7.3.2 | Het benodigd ventilatiedebiet..... | 87 |
| 7.3.3 | Uitvoeringsplan van de verwarming- en koelinstallatie..... | 88 |
| 7.3.4 | Uitvoeringsplan van de ventilatie..... | 91 |
| 7.3.5 | Regeling en sturing..... | 91 |
| 7.3.6 | Financieel plan..... | 92 |
| 7.4 | Systeemtopologie van de centrale verwarm- en koelinstallatie..... | 94 |
| 7.4.1 | Benodigde verwarm- en koelvermogens..... | 94 |
| 7.4.2 | Uitvoeringsplan van de verwarming- en koelinstallatie..... | 96 |
| 7.4.3 | Regeling en sturing..... | 99 |
| 7.4.4 | Financieel plan..... | 99 |
| 8 | Besluiten | 101 |
| | Referenties..... | 103 |

Tabellenlijst

| | |
|--|----|
| Tabel 1: Het beoogd gebruik van de werkruimtes..... | 23 |
| Tabel 2: Opbouw van de wanden, het dak en vloer met de berekening voor de U-waarde | 26 |
| Tabel 3: Berekening van de U-waarde voor de ramen | 27 |
| Tabel 4: Overzicht van de convectieve warmteovergangscoefficienten volgens de richting van de warmtestroom..... | 29 |
| Tabel 5: Overzicht van de correctiefactoren volgens de oriëntatie | 31 |
| Tabel 6: Berekening van de warmteverliezen van gebouwschil en de ventilatie | 31 |
| Tabel 7: Warmtewinsten in het gebouw ten gevolge van transmissie en ventilatie | 32 |
| Tabel 8: Warmteproductie van personen en elektrische apparaten | 33 |
| Tabel 9: Gegevens van de huidige verwarmingsketel | 36 |
| Tabel 10: Gegevens van de koelmachines..... | 37 |
| Tabel 11: Gegevens van de dakventilatoren..... | 40 |
| Tabel 12: Gegevens van de verwarmingsketel voor Showroom 1 en de vergaderzalen | 41 |
| Tabel 13: Gegevens van de warmtepomp in Showroom 2,3 en 4 | 43 |
| Tabel 14: Norm NBN EN 12464-1 voor kantoren | 49 |
| Tabel 15: Aantal ingevulde enquêtes per verdieping | 50 |
| Tabel 16: Vergelijking van het decentraal Oxygen-systeem met het centraal luchtbehandelingssysteem | 74 |
| Tabel 17: Waarden voor de opwarmingsfactor | 78 |
| Tabel 18: Overzicht van categorieën bij de binnenluchtkwaliteit | 85 |
| Tabel 19: Benodigd ventilatiedebiet per persoon..... | 85 |
| Tabel 20: Omrekeningstabel van de vloeroppervlakte per persoon | 86 |
| Tabel 21: Vloeroppervlakte en bezetting van de vernieuwde verkoopafdeling | 87 |
| Tabel 22: De benodigde verwarm- en koelvermogens voor de vernieuwde verkoopafdeling | 87 |
| Tabel 23: De benodigde ventilatiedebieten voor de vernieuwde verkoopafdeling | 87 |
| Tabel 24: Gegevens van de warmtepomp voor de verkoopafdeling | 88 |
| Tabel 25: Gegevens van Jaga Brise inbouw type 06 en Jaga Freedom Clima L181 | 89 |
| Tabel 26: Het totale waterdebiet en drukverlies voor de bepaling van de circulatiepomp van de verkoopafdeling..... | 90 |
| Tabel 27: Gegevens Jaga Extraction Box OXEX 015..... | 91 |
| Tabel 28: Financieel plan van het uitvoeringsplan op de verkoopafdeling | 93 |
| Tabel 29: Benodigde verwarm- en koelvermogens..... | 95 |
| Tabel 30: Gegevens van Jaga Briza 4pijp H052 L102 | 97 |
| Tabel 31: Het totale waterdebiet en drukverlies voor de bepaling van de circulatiepomp per hoofdkring | 98 |
| Tabel 32: Financieel plan van het uitvoeringsplan voor aanpassingen van de systeemtopologie | 99 |

Figurenlijst

| | |
|--|----|
| Figuur 1: Logo Jaga..... | 15 |
| Figuur 2: Jaga Experience Lab..... | 16 |
| Figuur 3: Jaga fabrieksterrein in Diepenbeek..... | 17 |
| Figuur 4: Logo Greenforce..... | 18 |
| Figuur 5: Plattegrond van verdieping 0..... | 21 |
| Figuur 6: Plattegrond van verdieping 1..... | 22 |
| Figuur 7: Plattegrond van verdieping 2..... | 22 |
| Figuur 8: Sectie van de gevel op verdieping 0 en 1..... | 24 |
| Figuur 9: Sectie van de vloer..... | 24 |
| Figuur 10: Voorbeeld van een raam op verdieping 0 en 1..... | 25 |
| Figuur 11: Sectie van de gevel op verdieping 2..... | 25 |
| Figuur 12: Sectie van het dak..... | 25 |
| Figuur 13: Voorbeeld van een compartiment in de glaswand op verdieping 2..... | 26 |
| Figuur 14: Sectie van het bureelgebouw met aanduiding van het beschermd volume (rood)..... | 28 |
| Figuur 15: Hydraulisch principeschema van de huidige situatie..... | 35 |
| Figuur 16: Grafiek van het gasverbruik van het bureelgebouw..... | 36 |
| Figuur 17: Schematische voorstelling van het afgiftesysteem op de onderste en de eerste verdieping..... | 38 |
| Figuur 18: Schematische voorstelling van het afgiftesysteem op de tweede verdieping..... | 38 |
| Figuur 19: Ventilatieschema van verdieping 2..... | 39 |
| Figuur 20: Afgiftesysteem in Showroom 1..... | 40 |
| Figuur 21: Afgiftesysteem in de vergaderzalen..... | 41 |
| Figuur 22: Ventilatieschema Showroom 1..... | 42 |
| Figuur 23: Verwarming en koeling in Showroom 2,3 en 4..... | 42 |
| Figuur 24: Ventilatieschema in Showroom 2,3 en 4..... | 43 |
| Figuur 25: Grafiek PMV - PDD..... | 47 |
| Figuur 26: Het aantal ingevulde enquêtes per afdeling in percent..... | 51 |
| Figuur 27: Grafieken van de temperatuurbeoordeling in de zomer (linksboven), herfst (rechtsboven), de winter (linksonder) en de lente (rechtsonder)..... | 51 |
| Figuur 28: Grafiek met resultaten van het thermisch comfort..... | 52 |
| Figuur 29: Grafiek beantwoorde periode bij thermisch discomfort..... | 53 |
| Figuur 30: Grafiek resultaten van stellingen bij thermisch discomfort..... | 53 |
| Figuur 31: Grafiek resultaten van luchtkwaliteit..... | 54 |
| Figuur 32: Grafiek resultaten van de mogelijke oorzaken..... | 54 |
| Figuur 33: Grafiek tevredenheid met het visueel comfort..... | 55 |
| Figuur 34: Grafiek met resultaten van de mogelijke oorzaken van het discomfort..... | 55 |
| Figuur 35: Grafiek tevredenheid met het akoestisch comfort..... | 56 |
| Figuur 36: Grafiek resultaten van gezondheidsklachten..... | 57 |
| Figuur 37: Temperatuurmeting Verkoopafdeling..... | 59 |
| Figuur 38: Verloop van de CO ₂ -concentratie in SAP1..... | 60 |
| Figuur 39: Verloop CO ₂ -concentratie in Verkoop..... | 61 |
| Figuur 40: Probleem met ventilatie in MRD6..... | 61 |
| Figuur 41: Werkingsprincipe van een warmtepomp..... | 64 |
| Figuur 42: Configuratie van een hybride generator..... | 66 |
| Figuur 43: Grafiek met de vergelijking van het rendement van de warmtepomp met de gascondensatieketel..... | 67 |
| Figuur 44: Principe van het tweepijps zonesysteem..... | 68 |

| | |
|---|----|
| Figuur 45: Principe van een vierpijpssysteem..... | 69 |
| Figuur 46: Jaga Oxygen toestel | 71 |
| Figuur 47: Voorbeeld van het Oxygen-systeem op de verkoopafdeling | 72 |
| Figuur 48: Principe van het centraal luchtbehandelingssysteem..... | 73 |
| Figuur 49: Principe van het tichelmaansysteem..... | 79 |
| Figuur 50: Pompkarakteristiek (blauw) en leidingkarakteristieken (rood) | 82 |
| Figuur 51: Pompkarakteristieken voor de verschillende types van de Grundfos Magna 1 | 83 |
| Figuur 52: Principe van een gesloten membraan en balg expansievat | 84 |
| Figuur 53: Vernieuwde indeling van de verkoopafdeling | 86 |
| Figuur 54: Principe schema van het uitvoeringsplan voor de verkoopafdeling | 88 |
| Figuur 55: Hydraulisch schema van het afgiftesysteem op de verkoopafdeling..... | 89 |
| Figuur 56: Pompcurve Grundfos Manga 1 | 90 |
| Figuur 57: Ventilatieschema in de vernieuwde verkoopafdeling | 91 |
| Figuur 58: Sturing van de verwarming en koeling | 92 |
| Figuur 59: Principe van het vierpijpssysteem voor de centrale verwarm- en koelinstallatie | 96 |
| Figuur 60: Voorbeeld van het hydraulisch schema van de vierpijpsinstallatie op de SAP-afdeling..... | 97 |
| Figuur 61: Selectie van de circulatiepompen per hoofdkring..... | 98 |

Abstract

De werknemers in het bureelgebouw van Jaga te Diepenbeek zijn ontevreden over het comfort in hun werkruimte. Hun klachten lijken hoofdzakelijk gelinkt aan de HVAC-installatie en het gebouw, maar deze link werd nog niet grondig onderzocht. Het hoofddoel van deze masterproef is het verhogen van het comfortniveau van de werknemers in het bureelgebouw.

Met behulp van een comfortenquête zijn er vragen gesteld rond: thermisch comfort, luchtkwaliteit, visueel comfort en akoestisch comfort. Met de resultaten is het comfortniveau bepaald en zijn de klachten in kaart gebracht. Het gebouw en de huidige HVAC-installatie zijn geanalyseerd en de oorzaken van de comfortproblemen zijn gelinkt aan een kenmerk in het gebouw en de HVAC-installatie. De voornaamste klachten zijn temperatuurschommelingen en te hoge of te lage temperaturen die te wijten zijn aan de sturing van de verwarming en koeling. Vervolgens is er gezocht naar oplossingen om de comfortklachten weg te werken, waaruit de directie van Jaga er twee koos. Voor deze oplossingen werden uitvoeringsplannen opgesteld betreft een totaal renovatie van de HVAC-installatie voor de verkoopafdeling en een vernieuwing van de systeemtopologie van de verwarming en koeling van het overige gedeelte van het gebouw.

Bij de realisatie van de uitvoeringsplannen wordt er verwacht dat de problemen met het thermisch comfort en de luchtkwaliteit worden gereduceerd in de verkoopafdeling. De vernieuwing van de systeemtopologie zal voornamelijk de problemen met het thermisch comfort verminderen.

Abstract in English

The employees in the office building of Jaga in Diepenbeek are dissatisfied with the comfort of their workspace. Their complaints appear primarily linked to the HVAC system and the building, but this link has not yet been thoroughly investigated. The main goal of this master's thesis is to increase the comfort level of the employees in the office building.

Using a comfort survey there are questions asked about: thermal comfort, air quality, visual comfort and acoustic comfort. The comfort level is determined with the results and the complaints are mapped. The building and the current HVAC system are analyzed and the causes of the comfort problems are linked to a feature in the building and HVAC system. The main complaints are temperature fluctuations and too high or too low temperatures which are due to the control of the heating and cooling. Next there is searched for solutions to overcome the comfort complaints, whence the directors of Jaga have chosen two. For these solutions, implementations plans have been drawn up concerning a total renovations of the HVAC system for the sales department and a renewal of the system topology of the heating and cooling of the rest of the building.

With the execution of the implementation plans it is expected that the problems with the thermal comfort and air quality in the sales department will be reduced. The renewal of the system topology will primarily reduce the problems with the thermal comfort.

1 Inleiding

1.1 Voorstelling Jaga

1.1.1 Geschiedenis

In de vroege jaren zestig waren de broers Jan en Gaston Kriekels installateurs van centrale verwarming en sanitair. Ze waren echter ontevreden over de huidige technieken en ergerden zich aan de lange leveringstermijnen van de fabrikanten van radiatoren. Dus besloten de broers om zelf radiatoren te produceren en zo is in 1962 Jaga ontstaan. Op figuur 1 is het logo van Jaga weergegeven. De naam Jaga is afkomstig van de combinatie van de eerste twee letters van hun voornamen.



Figuur 1: Logo Jaga [1]

De radiatoren van Jaga bleken een groot succes. Het woord verspreidde snel dat de broers radiatoren van degelijke kwaliteit produceerden. Zelfs andere installateurs kwamen bij Jaga aankloppen om radiatoren te kopen.

Jan en Gaston besloten in 1966 te stoppen als installateurs om hun focus volledig op de productie van radiatoren te leggen. Door de toenemende vraag aan radiatoren bouwden ze een fabriek op de Katteweidelaan in Diepenbeek. Desondanks ze maar één product produceerden, hadden ze toch een groot succes. De sterke punten van Jaga waren de snelle levertijd en de goedkope prijs. Door dit succes werd de fabriek op de Katteweidelaan al snel veel te klein. Omdat er geen uitbreidingsmogelijkheden waren, besloten de gebroeders Kriekels in 1976 te verhuizen naar de Verbindingslaan in Diepenbeek waar ze tot heden nog altijd actief zijn. Hun productieruimte vergrootte van 320 m² naar 30 000 m².

In 1980 is België getroffen door een bouwcrisis. Ook Jaga is hier slachtoffer van geworden, hun omzet daalde met 25 %. De energieprijzen bleven stijgen en Jaga ging op zoek naar nieuwe markten om te overleven.

In 1983 is Jaga gestart met de ontwikkeling van warmtepompen om de energiecrisis tegen te gaan. Ook werd er besloten om andere producten te produceren zoals lichtarmaturen.

Toen de energieprijzen in 1988 daalde naar één derde van de oorspronkelijke prijs werd de markt voor energiepompen steeds kleiner. De winstmarges werden veel te klein en Jaga besloot om te stoppen met de productie van deze producten. De bouwcrisis had ook een positief effect voor Jaga. Heel veel

concurrenten waren genoodzaakt om te stoppen. Zo heeft Jaga zich kunnen versterken in de verwarmingssector.

Bij Jaga werd in 1989 een SWOT-analyse uitgevoerd op de markt van centrale verwarming. Uit deze analyse kwamen ze tot twee conclusies. De eerste conclusie was dat de markt van de centrale verwarming neergaand was. Een tweede conclusie was dat er concurrenten waren met sterke producten. Aan de hand van deze conclusies hebben ze in 1990 een “solution strategy” opgesteld. De “solution strategy” bestaat uit vier pijlers waarop Jaga zich baseert.

Deze vier pijlers waren:

- **geen gemiddeld goede producten**
Hiermee bedoelen ze dat ze zich niet zomaar op de verzadigde markt van centrale verwarming gaan gooien maar voor elke doelgroep het juiste product gaan aanbieden.
- **geloof in het individualisme van de mens**
Niet elke klant heeft dezelfde wensen dus zorgden ze ervoor dat ze producten op maat van de klant kunnen maken.
- **internationalisatie**
“Think global, act local” is een filosofie van Jaga. Ze willen hun producten niet alleen in België aanbieden en verkopen maar wereldwijd.
- **eigen koers**
Jaga wil haar eigen koers volgen met als gevolg dat het productgamma fors werd uitgebreid. Er werd een eigen strategie naar de consument ontwikkeld zodat ze zich op een speciale markt kunnen richten en unieke producten kunnen aanbieden.

In 1991 nam Jaga het bedrijf “Heating Design Industries” over, een bedrijf dat gespecialiseerd was in het produceren van designradiatoren. Later dat jaar werden de machines en uitrusting naar de fabriek in Diepenbeek gebracht.

Voor Jaga is klanttevredenheid een belangrijk punt. Via een doorgedreven kwaliteitssysteem werd hier voortdurend naar gestreefd. Zo werden ze in 1995 beloond met de ISO-9002-certificatie voor haar kwaliteitssysteem.

In 2005 heeft Jaga het Jaga Experience Lab geïntroduceerd. Dit is een geavanceerd klimaat laboratorium voor onderzoek en het testen van verwarmings- of koelsystemen. Het lab bestaat uit een 600 m³ grote klimaatkamer, een DIN-testcabine en een multifunctioneel auditorium. In de klimaatkamer kunnen verschillende weersomstandigheden worden gesimuleerd. Er bevinden zich ook twee identieke huisjes waar men de producten kan testen. In totaal worden er zo’n 120-tal metingen gedaan die ter plaatse gedigitaliseerd worden door de klimaatlogger in het stuurlokaal. Deze gegevens kunnen gevisualiseerd en geprojecteerd worden zodat bezoekers in het auditorium de testen live kunnen volgen. Op figuur 2 is de klimaatkamer weergegeven.



Figuur 2: Jaga Experience Lab [1]

1.1.2 Heden

Vandaag maakt Jaga nog altijd radiatoren. Naast gewone radiatoren bieden ze een groot assortiment van designradiatoren aan. Met deze designradiatoren zijn al meer dan 25 designprijzen gewonnen.

Naast innovatief design hebben zij ook een sterk milieubewustzijn. Alle Energy Savers ofwel Low-H₂O radiatoren worden vervaardigd uit 100% recycleerbare materialen, hebben een lange levensduur én zijn energiezuinig. Verder zijn er nog radiatoren met speciale functies zoals koelen en ventileren.

Bovendien is Jaga actief in een aantal internationale organisaties die werken aan milieuvriendelijker wonen, leven en verwarmen.

De hoofdzetel van Jaga is nog altijd in Diepenbeek, weergegeven op figuur 3, met de oprichter Jan Kriekels als CEO. De fabriek heeft een productieoppervlakte van 45 000 m² en telt ongeveer 450 werknemers. Jaarlijks wordt er 350 000 meter Low-H₂O radiatoren en zo'n 100 000 design radiatoren geproduceerd [1].



Figuur 3: Jaga fabrieksterrein in Diepenbeek [1]

1.1.3 Greenforce



Figuur 4: Logo Greenforce [2]

Greenforce is een spin-off van Jaga en werd eind jaren negentig opgericht onder de naam G-force. De oprichters Jan Kriekels en Frank Hahn richtten zich toen op de auto-industrie. Met het motto van Jan Kriekels “Innovate or die” zijn er via G-force een aantal innovatieve ontwikkelingen gedaan. Zoals een elektrische wagen die op zonne-energie reed van Kaapstad naar Kopenhagen. Al snel beseften ze dat de Aarde in zeer slechte toestand is. Om dit te kunnen rechtzetten moet de hele bevolking zijn steentje bijdragen en zelf verantwoordelijkheid nemen.

Door de link met de auto-industrie was G-force te vervuilend. In 2011 werden de gedachten gezuiverd en zijn ze tot een milieuvriendelijkere visie uitgekomen. Het doel is om bestaande en nieuwe woningen te helpen om onafhankelijk te worden van fossiele brandstoffen en de kracht van de natuur te gebruiken om voor wooncomfort te zorgen. Het vernieuwde Greenforce is geboren.

Greenforce biedt een totaalpakket met volledige domotica voor verwarming, koeling, ventilatie en elektriciteit. Doormiddel van een energiestudie met warmteverliesberekeningen bedenken ze een HVAC-totaaloplossing. Om een energiezuinig systeem te hebben, is een goede sturing van cruciaal belang. Greenforce helpt hierbij met de keuzes die dienen genomen te worden. Tevens worden de oplossingen zo gemaakt dat er een maximale EPB-reductie is. Na de studie voorzien ze de installateur en volgen ze de werkzaamheden op. De opstart van de domotica wordt door Greenforce zelf gedaan [2].

Voor de domotica werkt Greenforce met het Qbus systeem. Dit is een tweedraads stroom-bussysteem met een centrale controller. De controller bevat één of meerdere busvoedingen waaruit een tweedraadse kabel vertrekt naar de verschillende Qbus modules. Dit kunnen relaismodules, dimmermodules, schakelaars, thermostaten, bewegingsdetectoren etc. zijn. De topologie van het bussysteem kan op drie verschillende manieren gemaakt worden zoals een gesloten lus, een boomstructuur en een sterstructuur. Het Qbus systeem biedt ook de mogelijkheid tot een webbased visualisatie waarbij het mogelijk is om de domotica via het internet te bedienen [3].

1.2 Probleemstelling

De werknemers in het bureelgebouw van Jaga te Diepenbeek zijn ontevreden over het comfort in hun werkruimte. Hun klachten lijken hoofdzakelijk gelinkt aan de HVAC-installatie en het gebouw, deze dateren namelijk uit het jaar 1972 toen het bureelgebouw werd gebouwd. De link tussen de comfortproblemen en het gebouw en de HVAC-installatie werd nog niet grondig onderzocht en is vervolgens de aanleiding van de masterproef.

1.3 Doelstellingen

Het hoofddoel van deze masterproef is het verhogen van het comfortniveau van de werknemers in het bureelgebouw. Volgens [4] is een ruimte of gebouw comfortabel als 80 tot 90% van de personen tevreden zijn met het comfort. Er wordt dus gestreefd om een comfortniveau te behalen waarbij minimaal 80% van de werknemers tevreden is.

Een eerste doelstelling is om de huidige situatie van het gebouw en de HVAC-installatie in kaart te brengen. De nodige kenmerken van het gebouw zijn: de oriëntatie, de samenstelling van de gebouwschil, de ruimtes en hun beoogd gebruik. Voor de HVAC-installatie moeten de volgende componenten geïnventariseerd worden: de afgifte-elementen, de productietoestellen voor warmte en koude, leidingen, pompen en ventilatoren, stuur- en regelementen.

De tweede doelstelling is het bepalen van het huidige comfortniveau en de klachten van de werknemers in het bureelgebouw. Hierbij wordt er rekening gehouden met vier aspecten, namelijk: thermisch comfort, luchtkwaliteit, visueel comfort en akoestisch comfort.

De derde doelstelling is, aan de hand van de comfortproblemen en de huidige situatie, een analyse maken van het gebouw en de HVAC-installatie.

De vierde doelstelling is het opstellen van oplossingen om de vastgestelde problemen weg te werken. Verschillende alternatieven moeten met elkaar vergeleken worden rekening houdend met enkele aspecten zoals: technische, praktische en economische haalbaarheid. Zo kunnen de beste oplossingen bepaald worden.

Nadat de mogelijke oplossingen aan de directie van Jaga zijn voorgesteld, wordt er gekozen welke uitgevoerd zullen worden. Vervolgens moeten deze oplossingen verder uitgewerkt worden tot een uitvoeringsplan. Dit is de laatste doelstelling van de masterproef.

1.4 Methode

Om een goede beschrijving te maken van het gebouw, wordt er informatie gehaald uit verschillende bronnen. Het eerste zijn de bouwplannen. De oriëntatie van het gebouw en de verschillende ruimtes worden hiermee gedefinieerd. Vervolgens wordt de samenstelling van de gebouwschil geanalyseerd. Er zijn verschillende gegevens nodig zoals oppervlaktes, diktes, het soort materiaal, de oriëntatie en de warmteoverdrachtscoëfficiënten of U-waardes. In het jaar 2012-2013 is er een masterproef [5] geweest

naar de warmteverliezen in de fabriekshallen en het bureelgebouw. Tijdens de analyse wordt er gebruik gemaakt van deze resultaten. Echter worden er ook nieuwe metingen gedaan ter controle.

Om de huidige HVAC-installatie in kaart te brengen, wordt de informatie van het huidige systeem opgezocht. De gegevens van de warmte- en koudebronnen worden gehaald uit de technische fiches en instructiekaarten van de toestellen. Met behulp van elektrische schema's wordt de sturing van de warmte- en koudebronnen bepaald. Het verloop van het leidingnet wordt schematisch opgesteld. Het vermogen van het afgiftesysteem wordt gehaald uit de catalogus van Jaga en de sturing ervan wordt proefondervindelijk bepaald.

Voor het bepalen van het comfortniveau is er gekozen voor een enquête die alle werknemers van het bureelgebouw kunnen invullen. Het voordeel van een enquête is dat dit een snelle methode is om het comfortniveau van de werknemers in de verschillende ruimtes te bepalen. Een andere methode is via metingen waarbij men gedurende een bepaalde periode, enkele maanden tot een jaar, de verschillende parameters die het comfort beïnvloeden meten. Dit is tijdrovend gezien er metingen moeten gedaan worden op meer dan 15 verschillende plaatsen. Ook het gebrek aan meetapparatuur heeft de keuze voor de enquête gemotiveerd. Een ander voordeel van de enquête is dat er direct naar klachten in verband met het comfort gevraagd kan worden.

Vervolgens worden de problemen en klachten die uit de resultaten van de enquête komen gelinkt aan een fysische parameter van het gebouw of de HVAC-installatie. Dit wordt gedaan met behulp van een logische redenering. Zo worden de oorzaken van de problemen beschreven en kunnen er oplossingen voorgesteld worden.

Via een literatuurstudie worden oplossingen en alternatieven opgesteld. Het scoren van het comfort wordt gedaan door een link te maken met het comfortprobleem en in welke mate de oplossing dit probleem verhelpt. Voor het energieverbruik worden er vergelijkingen gemaakt tussen de rendementen van de oplossing en de alternatieven. De oplossingen worden voorgesteld aan de directie van Jaga. Zij maken een keuze over welke oplossingen er gaan uitgevoerd worden.

Tot slot wordt het uitvoeringsplan opgesteld aan de hand van schema's en berekeningen in verband met vermogens, regelingen en verbruik. Er worden bedrijven gecontacteerd om offertes voor te stellen. Zo kan er een financieel plan worden opgesteld in verband met de uit te voeren werkzaamheden.

1.5 Vooruitblik

Het verloop van de masterproef begint met het bureelgebouw. Hier wordt er meer informatie gegeven over het gebruik van het gebouw, de warmteverliezen en –winsten. Het volgende hoofdstuk is de huidige HVAC-installatie. Met behulp van zelfgemaakte schema's wordt de huidige verwarming, koeling en ventilatie in het bureelgebouw besproken. Na de huidige HVAC-installatie volgt het hoofdstuk comfort. Er wordt uitleg gegeven over comfort en de verschillende onderwerpen waarmee dit beoordeeld wordt in de masterproef. Daarna wordt de comfortenquête voorgesteld en de resultaten ervan besproken. In het hoofdstuk Oorzaken van de comfortproblemen worden de comfortproblemen gelinkt aan een kenmerk in het gebouw of de HVAC-installatie. In het volgend hoofdstuk wordt er gezocht naar verschillende oplossingen en alternatieven om de comfortproblemen weg te werken en het comfortniveau te verhogen. Vanuit de gekozen oplossingen worden er uitvoeringsplannen opgesteld en deze zijn beschreven in het voorlaatste hoofdstuk. Tot slot in het laatste hoofdstuk worden de besluiten genomen over de masterproef.

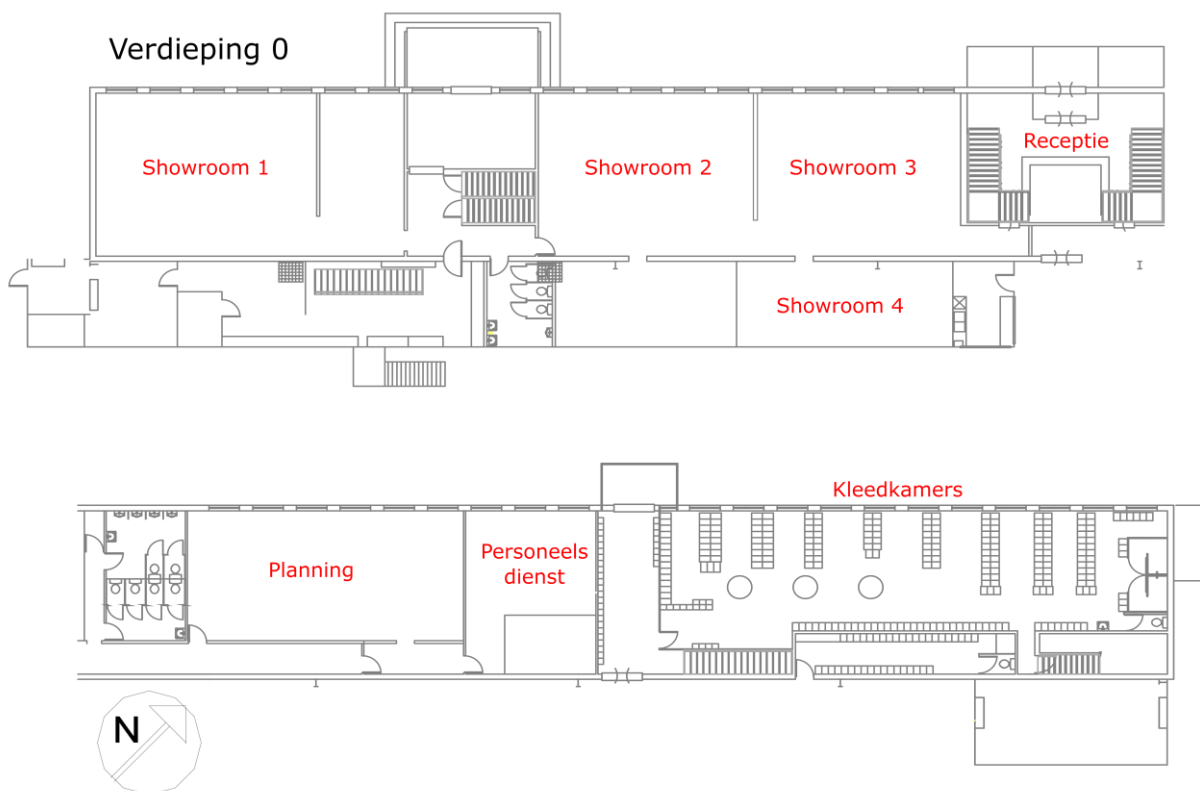
2 Het bureelgebouw

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden verschillende kenmerken van het bureelgebouw beschreven. De verschillende kenmerken zijn: de ligging en plattegrond van het gebouw, het beoogd gebruik van de lokalen, de samenstelling van de gebouwschil, de warmteverliezen en -winsten.

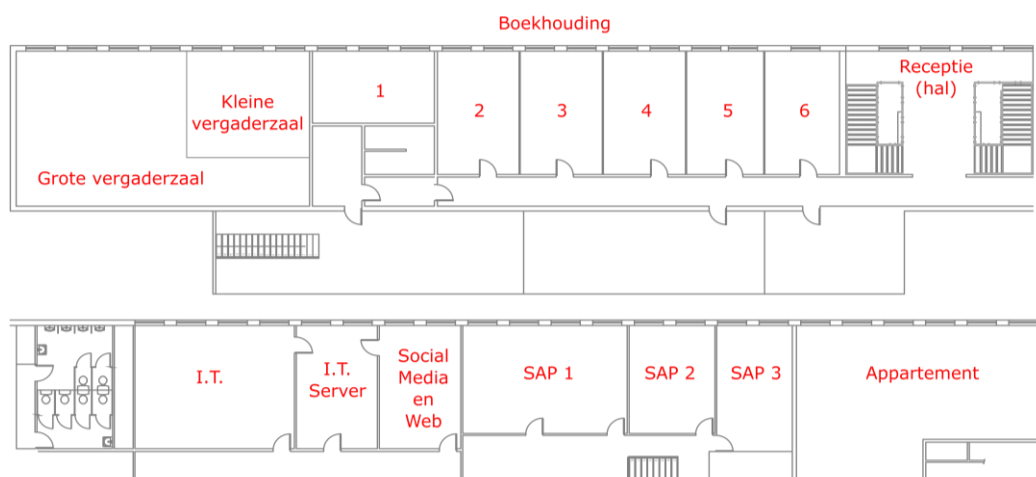
2.2 Ligging en plattegrond

Figuur 5, 6 en 7 geeft de plattegrond van het gebouw weer met de benaming van de lokalen die verder in deze tekst gebruikt worden. Per verdieping is de plattegrond gesplitst en is het rechter gedeelte onder het linker gedeelte geplaatst.



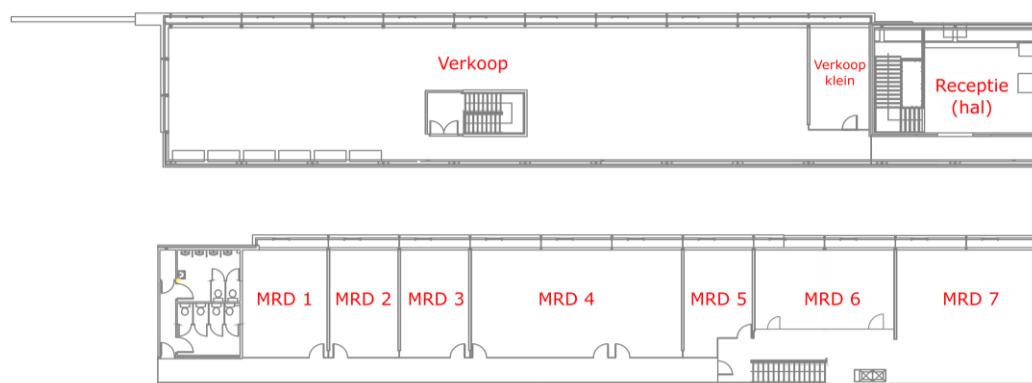
Figuur 5: Plattegrond van verdieping 0

Verdieping 1



Figuur 6: Plattegrond van verdieping 1

Verdieping 2



Figuur 7: Plattegrond van verdieping 2

2.3 Beoogd gebruik

In de vorige paragraaf is de plattegrond met de verschillende ruimtes aangehaald. In deze paragraaf wordt het beoogd gebruik van deze ruimtes besproken. Het bureelgebouw telt in totaal 42 ruimtes waarvan er twee ruimtes buiten beschouwing worden gehouden namelijk, de kleedkamers en het appartement.

Verder kunnen de overige ruimtes worden verdeeld volgens functie. Zo zijn er de ruimtes met vaste bureaus voor de werknemers en een constante bezetting. Voorbeelden hiervan zijn: verkoop, MRD, boekhouding, SAP, planning, personeelsdienst etc. De showroom, vergaderzalen en receptie hebben een andere functie. Deze ruimtes hebben een sterk variërende bezetting afhankelijk van klanten, opleidingen of vergaderingen.

Tabel 1 geeft een overzicht van de verschillende ruimtes ingedeeld per verdieping en vleugel. De gemeten grondoppervlaktes, het aantal getelde personen en het maximaal aantal personen dat in de ruimte aanwezig kan zijn, zijn hierin weergegeven.

Tabel 1: Het beoogd gebruik van de werkruimtes

| Verdieping | Vleugel | Werkruimte | Oppervlakte (m ²) | Bezetting (aantal pers.) | Max bezetting (aantal pers.) |
|----------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Verdieping 0 | Rechtereuleugel | Planning | 83,2 | 7 | 7 |
| | | Personeelsdienst | 46,6 | 2 | 2 |
| | | W.C. | 23,3 | 0 | 0 |
| | | Gang | 39,3 | 0 | 0 |
| | Linkereuleugel | Showroom 1 | 112,8 | 10 | 10 |
| | | Showroom 2 | 64,0 | 10 | 10 |
| | | Showroom 3 | 34,2 | 8 | 8 |
| | | Showroom 4 | 41,6 | 8 | 8 |
| | | Receptie | 56,7 | 1 | 1 |
| | | Inkomhal | 27,0 | 0 | 0 |
| | W.C. | 12,6 | 0 | 0 | |
| Verdieping 1 | Rechtereuleugel | IT | 50,1 | 2 | 4 |
| | | Social media en Web | 27,3 | 3 | 5 |
| | | SAP 1 | 42,4 | 3 | 3 |
| | | SAP 2 | 22,6 | 1 | 2 |
| | | SAP 3 | 22,4 | 1 | 1 |
| | | W.C. | 23,0 | 0 | 0 |
| | | Gang | 64,7 | 0 | 0 |
| | Linkereuleugel | Boekhouding 6 | 22,4 | 1 | 1 |
| | | Boekhouding 5 | 23,9 | 2 | 2 |
| | | Boekhouding 4 | 23,9 | 1 | 2 |
| | | Boekhouding 3 | 25,2 | 2 | 2 |
| | | Boekhouding 2 | 25,2 | 1 | 2 |
| | | Boekhouding 1 | 21,6 | 1 | 2 |
| | | Kleine vergaderzaal | 36,0 | 0 | 11 |
| | | Grote vergaderzaal | 64,0 | 0 | 19 |
| | | Receptie (hal) | 62,7 | 0 | 0 |
| | | Gang | 43,5 | 0 | 0 |
| Verdieping 2 | Rechtereuleugel | MRD 1 | 30,6 | 1 | 2 |
| | | MRD 2 | 24,7 | 2 | 2 |
| | | MRD 3 | 26,0 | 2 | 2 |
| | | MRD 4 | 78,0 | 8 | 8 |
| | | MRD 5 | 22,6 | 2 | 3 |
| | | MRD 6 | 41,6 | 5 | 8 |
| | | MRD 7 | 60,0 | 3 | 3 |
| | | W.C. | 23,0 | 0 | 0 |
| | | Gang | 64,2 | 0 | 0 |
| | Linkereuleugel | Verkoop (klein) | 20,1 | 1 | 2 |
| | | Verkoop | 269,0 | 25 | 25 |
| Receptie (hal) | | 56,7 | 0 | 0 | |

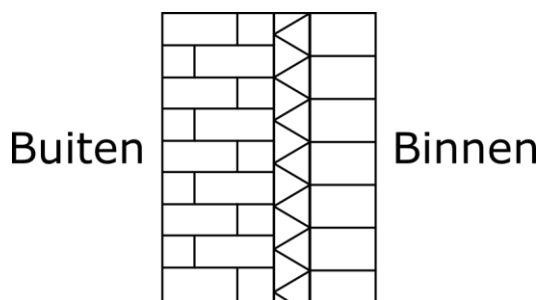
2.4 Gebouwschil

Zoals aangegeven in de inleiding dateert het bureelgebouw uit 1974. Toen werd de onderste verdieping en de eerste verdieping gebouwd. Later, in het jaar 2000, werd er een tweede verdieping bijgebouwd. De samenstelling van de gebouwschil van de tweede verdieping verschilt van de andere verdiepingen en wordt apart beschreven.

In het jaar 2012-2013 is er een masterproef [5] geweest waarbij de warmteverliezen van het bureelgebouw en de fabriekshal werden berekend. Deze gegevens zullen tijdens de berekening gebruikt worden. Alle parameters en oppervlaktes zijn echter wel nog eens gecontroleerd en de berekening van de warmteverliezen werd opnieuw uitgevoerd.

2.4.1 Verdieping 0 en 1

Van de onderste en de eerste verdieping grenst de voor-, linkerzij- en rechterzijgevel aan de buitenomgeving. Op figuur 8 is een sectie weergegeven van de gevel.



Figuur 8: Sectie van de gevel op verdieping 0 en 1

Beginnend van links (buitenomgeving) naar rechts (binnenomgeving) is er eerst een gevelsteen met een dikte van 147 mm. Vervolgens is er een spouw van 50 mm die opgevuld is met isolatie. De gebruikte isolatie is hierbij glaswol. De binnenkant van de gevel is opgebouwd uit een snelbouwsteen met een dikte van 90 mm. Verdere informatie over de materialen zoals: k-waardes en U-waardes worden in sectie 2.4.3 Overzicht op tabel 2 weergegeven.

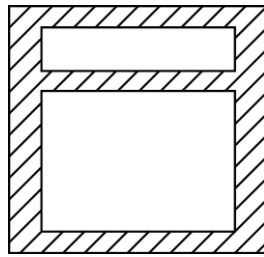
De vloer van de onderste verdieping staat in contact met de kelder en de kruipkelder. Aangezien deze ruimtes buiten het beschermd volume vallen moet ook de samenstelling van de vloer gekend zijn. Figuur 9 geeft een sectie van de vloer weer.



Figuur 9: Sectie van de vloer

De vloer is opgebouwd van onder met gewapend beton van 140 mm. Op dit gewapend beton liggen tegels met een dikte van 15 mm. Tabel 2 in sectie 2.4.3 Overzicht geeft meer informatie in verband met de materialen van de vloer.

In de voorgevel zijn er ramen en inkomhallen aanwezig. De inkomhallen worden niet in detail besproken maar worden wel uitgerekend in de warmteverliesberekening. De ramen op de onderste en eerste verdieping zijn allemaal identiek op vier uitzonderingen na. Op figuur 4 is een voorbeeld van deze ramen weergegeven.

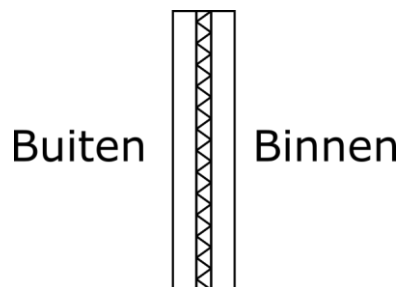


Figuur 10: Voorbeeld van een raam op verdieping 0 en 1

De ramen bestaan uit een houten kader en hebben een dubbele beglazing. Doordat er niet voldoende informatie kan gevonden worden over de materialen van de ramen wordt er rekening gehouden met forfaitaire U-waardes voor het glas en de kader volgens de norm NBN B 62-002 [6].

2.4.2 Verdieping 2

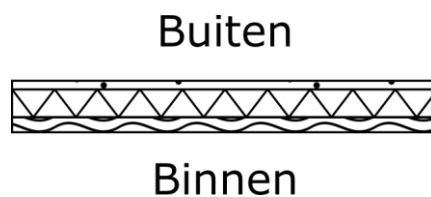
Op de bovenste verdieping grenzen alle gevels en het dak aan de buitenomgeving. De verdieping is opgebouwd uit een metalen constructie bekleed met sandwichpanelen en een grote glaswand. Figuur 11 geeft de sectie van een gevel weer.



Figuur 11: Sectie van de gevel op verdieping 2

Beginnend van links (buitenomgeving) naar rechts (binnenomgeving) is er eerst een sandwichpaneel met een dikte van 120 mm. Vervolgens is er een spouw van 80 mm dat gevuld is met isolatie. De gebruikte isolatie is rotswol. Aan de binnenzijde van de gevel is er nog een sandwichpaneel met een dikte van 120 mm.

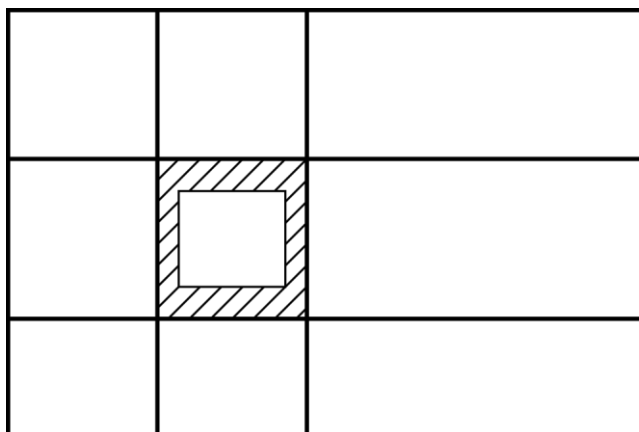
De sectie van het dak is vervolgens op figuur 12 weergegeven.



Figuur 12: Sectie van het dak

Het dak is opgebouwd beginnend vanonder met een stalen plaat van 8 mm. Vervolgens is er een isolatie van 140 mm. De gebruikte isolatie hierbij is glaswol. De buitenzijde van het dak is afgewerkt met rubber van 5 mm.

Aan de voorgevel van de 2^e verdieping is er een grote glaswand. Op figuur 13 is een voorbeeld weergegeven van een compartiment uit de glaswand.



Figuur 13: Voorbeeld van een compartiment in de glaswand op verdieping 2

Het bestaat uit een aluminium kader dat de glaswand opdeelt in negen delen. In het midden is er een opengaand venster gemonteerd. De glaswand is uitgerust met dubbele beglazing.

2.4.3 Overzicht

Op onderstaande tabellen wordt een overzicht gegeven van de gebruikte materialen in de gebouwschil. In tabel 2 zijn de wanden, dak en vloer weergegeven. De nodige parameters zoals: de dikte s , de thermische geleidbaarheid of k -waarde, de warmteovergangscoefficienten h_i en h_e zijn nodig om de warmtedoorgangscoefficient of U -waarde van het constructieonderdeel te berekenen. Deze berekening wordt verder uitgelegd in 2.5.1 Transmissieverliezen.

Tabel 2: Opbouw van de wanden, het dak en vloer met de berekening voor de U -waarde

| | Materiaal | Dikte "s" (m) | k-waarde (W/m*K) | s/k | (1/h _i) + (1/h _e) | U-waarde (W/m ² K) |
|-----------------|-----------------------|---------------|------------------|--------|---|-------------------------------|
| Gevelsteen | Binnen Snelbouwsteen | 0,09 | 1,33 | 0,068 | 0,168 | 0,717 |
| | Isolatie: glaswol | 0,05 | 0,05 | 1,000 | | |
| | Buiten Baksteen | 0,147 | 0,93 | 0,158 | | |
| Sandwichpanelen | Binnen Sandwichpaneel | 0,12 | 0,039 | 3,077 | 0,168 | 0,116 |
| | Rockwool | 0,08 | 0,035 | 2,286 | | |
| | Buiten Sandwichpaneel | 0,12 | 0,039 | 3,077 | | |
| Dak | Binnen Staal | 0,008 | 50 | 0,00 | 0,143 | 0,338 |
| | Glaswol | 0,14 | 0,05 | 2,80 | | |
| | Buiten Rubber | 0,002 | 0,15 | 0,01 | | |
| Vloer | Beton | 0,14 | 1,4 | 0,1 | 0,210 | 3,099 |
| | Tegel | 0,015 | 1,2 | 0,0125 | | |

Verder zijn er de ramen. De opbouw van ramen is anders dan dat van een wand of gevel. Hierdoor wordt de U-waarde op een andere manier berekend dan bij wanden. Deze berekening wordt in 2.5.1 Transmissieverliezen uitgelegd. Belangrijke parameters die hierbij nodig zijn, zijn:

- de oppervlakte van het glas A_g ,
- de U-waarde van het glas U_g ,
- de oppervlakte van het kader A_{ch} ,
- de U-waarde van het kader U_{ch} ,
- de omtrek van het glas L_p ,
- de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt ψ_L .

Tabel 3: Berekening van de U-waarde voor de ramen

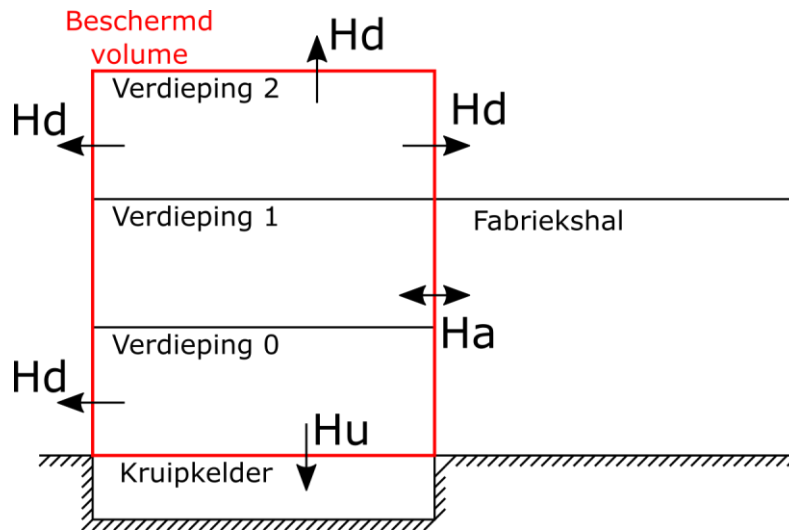
| | A_g (m ²) | U_g (W/m ² K) | A_{ch} (m ²) | U_{ch} (W/m ² K) | L_p (m) | ψ_L [W/mK] | U_w (W/m ² K) |
|----------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------|--------------------|-------------------------------|
| Ramen verdiep 0 en 1 | 1,39 | 3,02 | 0,74 | 1,80 | 7,02 | 0,06 | 2,79 |
| Glaswand verdiep 2 | | | | | | | |
| Voorgevel | 172,26 | 3,09 | 26,13 | 4,00 | 110,69 | 0,08 | 3,25 |
| Zijgevel links | 17,74 | 3,09 | 1,81 | 4,00 | 60,61 | 0,08 | 3,42 |
| Zijgevel rechts | 6,73 | 3,09 | 0,92 | 4,00 | 25,71 | 0,08 | 3,47 |

Opmerking: Er zijn nu enkel de materialen weergegeven van de meest voorkomende elementen in de gebouwschil. Er zijn echter nog andere soort ramen en inkomhallen, deze worden niet in deze tekst besproken. Maar er is wel rekening mee gehouden bij de verdere berekeningen.

2.5 Totaal warmteverlies bij ontwerp buitentemperatuur

Om een beoordeling te kunnen maken over de huidige HVAC-installatie en om verbeteringen te kunnen voorstellen, moeten eerst de warmteverliezen in het gebouw gekend zijn. Met deze warmteverliezen is het mogelijk een uitspraak te doen over de gebouwschil en voorstellen te doen om deze verliezen te reduceren. Vervolgens is het ook mogelijk om de benodigde verwarmings- en koelcapaciteiten te berekenen zoals beschreven in sectie 7.1 Ontwerp en dimensionering van de centrale verwarmings- en koelinstallaties. Tijdens de berekening werd er gebruik gemaakt van de volgende bronnen: [6], [7], [8], [9].

Om de warmteverliezen in een gebouw te berekenen moet men eerst het beschermd volume (BV) van het gebouw kennen. Het beschermd volume van een gebouw wordt gedefinieerd als het volume van alle ruimtes die thermisch afgeschermd zijn van de buitenomgeving [9]. Niet alleen de direct verwarmde ruimtes worden hierbij beschouwd maar ook alle indirect verwarmde ruimten die zich binnen de geïsoleerde bouwschil bevinden. Op figuur 14 is een sectie weergegeven van het bureelgebouw. Het beschermd volume van het bureelgebouw is hierbij met rood omlind.



Figuur 14: Sectie van het bureelgebouw met aanduiding van het beschermd volume (rood)

Eens het beschermd volume gekend is, kunnen de verschillende warmteverliezen in het gebouw gedefinieerd worden. Op figuur 14 zijn de verschillende warmteverliezen weergegeven.

Met:

- H_d : de warmteverliezen ten gevolge van transmissie naar de buitenomgeving;
- H_u : de warmteverliezen naar een aangrenzende onverwarmde ruimte (AOR);
- H_a : de warmteverliezen ten gevolge van transmissie naar een aangrenzende verwarmde ruimte.

Aangezien de fabriekshal ook verwarmd wordt, worden de verliezen H_a verwaarloosd.

Verder zijn er ook nog de warmteverliezen ten gevolge van ventilatie in het gebouw. Deze zijn niet getekend maar worden voorgesteld door H_v .

Het totale warmteverlies van het gebouw wordt vervolgens berekend door de som te nemen van alle bovenvermelde verliezen en wordt uitgedrukt in Watt per Kelvin (W/K). De formule voor het berekenen van de totale warmteverliescoëfficiënten is als volgt:

$$H_t = H_d + H_u + H_v \text{ [W/K]} \quad (1)$$

2.5.1 Transmissieverliezen

Zoals eerder aangegeven zijn er verschillende transmissieverliezen namelijk: H_d , H_u en H_a . H_a wordt verwaarloosd en dus ook niet berekend. Eerst worden de transmissieverliezen naar de omgeving H_d uitgelegd.

H_d wordt voor ieder gebouwelement (gevel, dak, raam...) in de gebouwschil apart berekend met de volgende formule:

$$H_{d,i} = A_i \cdot U_i \text{ [W/K]} \quad (2)$$

Met:

- A_i : is de oppervlakte van het gebouwelement (m^2).
- U_i : is de warmtedoorgangscoefficiënt van het gebouwelement ($W/m^2.K$).

Volgens [7] schrijft de norm NBN B 62-002 voor om ook rekening te houden met koudebruggen in het gebouw. Door een gebrek aan de nodige informatie over het gebouw wordt hiermee geen rekening gehouden.

In de voorgaande formule wordt er gebruik gemaakt van de warmtedoorgangscoefficiënt U en wordt uitgedrukt in $W/m^2.K$. De U -waarde van een gebouwelement drukt uit hoeveel Joule warmte er per m^2 en per seconde doorheen het gebouwelement stroomt indien het temperatuurverschil over het gebouwelement één Kelvin bedraagt.

De berekening van de U -waarde is afhankelijk van het soort gebouwelement. Er worden twee soorten besproken namelijk, de formule voor de homogene wand en die voor een raam.

2.5.1.1 Homogene wand

Voor een homogene wand wordt de formule van de U -waarde weergegeven volgens:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{s_i}{k_i} + \frac{1}{h_e}} \text{ [W/m}^2\text{.K]} \quad (3)$$

Met:

- h_i : de warmteovergangscoefficiënt door convectie aan het binnenoppervlak ($W/m^2.K$).
- h_e : de warmteovergangscoefficiënt door convectie aan het buitenoppervlak ($W/m^2.K$).
- s_i : de dikte van het i materiaal in de wand (m).
- k_i : de warmtegeleidingscoefficient van het materiaal i in de wand ($W/m.K$).

De warmteovergangscoefficienten ten gevolge van convectie worden bepaald door de norm NBN B 62-003 [8] en zijn afhankelijk van de richting van de warmtestroom door de wand. De waarden van de coefficienten zijn weergegeven in tabel 4.

De warmtegeleidingscoefficient van materialen is afhankelijk van de fabrikant. Indien dit niet gekend is, worden er genormaliseerde waarden gebruikt volgens [6].

Tabel 4: Overzicht van de convectieve warmteovergangscoefficienten volgens de richting van de warmtestroom [6]

| Richting van de warmtestroom | h_i ($W/m^2.K$) | h_e ($W/m^2.K$) |
|---|---------------------|---------------------|
| Verticale wand, warmtestroom horizontaal of $<30^\circ$ t.o.v. horizontaal vlak | 8 | 23 |
| Horizontale wand, warmtetransport van onder naar boven | 10 | 23 |
| Horizontale wand, warmtetransport van boven naar onder | 6 | 23 |

2.5.1.2 Ramen

De U-waarde van ramen kan men op verschillende methoden berekenen. Er is een exacte methode waarbij het raam volledig moet worden opgemeten. Daarnaast is er een vereenvoudigde methode waarbij er een verhouding wordt gebruikt tussen de U-waardes van het glas en het kader.

In deze masterproef wordt er gebruik gemaakt van de exacte methode [6]. De U-waarde wordt berekend volgens:

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_{ch} \cdot U_{ch} + A_{pc} \cdot U_{pc} + L_p \cdot \psi_L}{A_g + A_{ch} + A_{pc}} \quad [W/m^2 \cdot K] \quad (4)$$

Met:

- U_w : de U-waarde van het raam ($W/m^2 \cdot K$),
- U_g : de U-waarde van de beglazing ($W/m^2 \cdot K$),
- A_g : de oppervlakte van de beglazing (m^2),
- U_{ch} : de U-waarde van het kader of profiel ($W/m^2 \cdot K$),
- A_{ch} : de oppervlakte van het kader of profiel (m^2),
- U_{pc} : de U-waarde van het ondoorzichtig opvulpaneel in het raam ($W/m^2 \cdot K$),
- A_{pc} : de oppervlakte van het ondoorzichtig opvulpaneel in het raam (m^2),
- L_p : de omtrek van de beglazing (m),
- ψ_L : de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt ten gevolge van de afstandshouders in het raam ($W/m \cdot K$).

2.5.2 Ventilatieverliezen

In een gebouw zijn er naast de warmteverliezen ten gevolge van de gebouwschil ook verliezen ten gevolge van ventilatie. Deze verliezen worden berekend volgens:

$$H_v = \rho_{lucht} \cdot c_{lucht} \cdot q_v \quad [W/K] \quad (5)$$

Met:

- H_v : het warmteverlies ten gevolge van ventilatie (W/K);
- ρ_{lucht} : het soortelijk volume van lucht ($1,293 \text{ kg/m}^3$);
- c_{lucht} : de soortelijke warmte van lucht ($718 \text{ J/kg} \cdot K$);
- q_v : het ventilatiedebiet (m^3/s).

2.5.3 Warmteverliezen

Met behulp van de voorgaande formules zijn de warmteverliescoëfficiënten berekend van elke component in de gebouwschil en de ventilatie. De warmteverliezen worden berekend volgens:

$$P_{\text{verlies}} = H_v \cdot \Delta T_{\text{ventilatie}} + H_t \cdot \Delta T_{\text{transmissie}} \cdot (1 + M_o) \quad [W] \quad (6)$$

Het warmteverlies P_{verlies} wordt hierbij uitgedrukt in Watt. Voor het aandeel van de ventilatieverliezen wordt er gerekend met het temperatuurverschil tussen de ingeblazen lucht en de afgezogen lucht. Omdat het huidige ventilatiesysteem een C-systeem is, is dit temperatuurverschil gelijk aan deze van de transmissie. Het temperatuurverschil voor de transmissie is het verschil tussen de temperatuur van de buiten- en van de binnenomgeving. Deze temperaturen zijn volgens de norm NBN B 62-003 [8] vastgelegd en bedraagt -8°C voor de buitenomgeving en 22°C voor de binnenomgeving. Verder is er nog een correctiefactor M_o voor de oriëntatie van een gevel. In tabel 5 zijn de correctiefactoren volgens de oriëntatie weergegeven.

Tabel 5: Overzicht van de correctiefactoren volgens de oriëntatie

| Oriëntatie | Noorden | Oosten | Zuiden | Westen |
|------------|---------|--------|--------|--------|
| M_o | 0,05 | 0,025 | 0 | 0,025 |

2.5.4 Resultaten

In tabel 6 zijn de warmteverliezen berekend en weergegeven volgens de verschillende gevels, het dak, de vloer en de ventilatie. Het totaal theoretisch bepaald warmteverlies in het gebouw is vervolgens 217 kW.

Tabel 6: Berekening van de warmteverliezen van gebouwschil en de ventilatie

| Gevel | Transmissieverlies H_t (W/K) | correctiefactor M_o | ΔT | Warmteverlies P (kW) |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------|------------|---------------------------|
| Voorgevel | 1775,77 | 0,05 | 30 | 55,9 |
| Linkerzijgevel | 157,59 | 0,025 | 30 | 4,8 |
| Rechterzijgevel | 131,38 | 0,05 | 30 | 4,1 |
| Achtergevel | 34,84 | 0,025 | 30 | 1,1 |
| Dak | 312,09 | 0 | 30 | 9,4 |
| Vloer | 2650,27 | 0 | 30 | 79,5 |
| Ventilatie | 2063,05 | | 30 | 61,9 |
| Totaal | | | | 217 |

Verdere informatie en resultaten over de warmteverliesberekening kan men vinden in de bijlage: cd-rom – Warmteverliezen en warmtewinsten.

2.6 Warmtewinsten

Naast de verschillende warmteverliezen die in de vorige sectie beschreven zijn, zijn er nog warmtewinsten. Deze worden voornamelijk gebruikt voor het ontwerp van koeling dat verder is uitgelegd in sectie 7.2.1 bepalen van het benodigd koelvermogen. De warmtewinsten kunnen opgesplitst worden volgens externe en interne warmtewinsten. Voor de externe warmtewinsten wordt er rekening gehouden met warmtewinsten ten gevolge van transmissie, ventilatie en de zon. De winsten volgens transmissie en ventilatie zijn al besproken in de voorgaande sectie 2.5 Warmteverliezen. Maar in plaats van een winter scenario wordt er rekening gehouden met een zomerscenario waarbij de buitentemperatuur hoger is dan de temperatuur in het gebouw. Hierdoor zal er dus een warmtestroom zijn van de buitenomgeving naar de binnenomgeving. Voor de warmtewinsten wordt er gerekend met een buitentemperatuur van 35°C en een binnentemperatuur van 25°C wat resulteert in een temperatuurverschil van 10°C. Voor de bepaling van de warmtetransmissieverliezen en de verliezen volgens ventilatie worden dezelfde methodes gebruikt als in sectie 2.5.1 Transmissieverliezen en 2.5.2 Ventilatieverliezen. In tabel 7 zijn de warmtewinsten ten gevolge van transmissie en ventilatie berekend en weergegeven volgens de verschillende gevels, het dak, de vloer en de ventilatie. De totaal theoretisch bepaald warmtewinst in het gebouw ten gevolge van transmissie en ventilatie bedraagt 72 kW.

Tabel 7: Warmtewinsten in het gebouw ten gevolge van transmissie en ventilatie

| Gevel | Transmissieverlies Ht (W/K) | correctiefactor Mo | ΔT | Warmtewinst P (kW) |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------|------------|-----------------------|
| Voorgevel | 1775,8 | 0,05 | 10 | 18,6 |
| Linkerzijgevel | 157,6 | 0,025 | 10 | 1,6 |
| Rechterzijgevel | 131,4 | 0,05 | 10 | 1,4 |
| Achtergevel | 34,8 | 0,025 | 10 | 0,4 |
| Dak | 312,1 | 0 | 10 | 3,1 |
| Vloer | 2650,3 | 0 | 10 | 26,5 |
| Ventilatie | 2063,1 | 0 | 10 | 20,6 |
| Totaal | | | | 72 |

De warmtewinsten ten gevolge van de zon werden niet behandeld door de complexiteit van de berekening en het gebrek aan de nodige parameters van de gevel, dak en beglazing van het gebouw. De interne warmtewinsten in een gebouw bestaan uit warmteproductie ten gevolge van de personen in de ruimte, de elektronische apparaten en de verlichting. Tijdens de masterproef is de verlichting echter buiten beschouwing gelaten. De warmteafgifte van personen is afhankelijk van het metabolisme van de persoon, dit is beschreven in sectie 4.2.1 Parameters voor het thermisch comfort. Volgens [4] bedraagt de warmteproductie van een persoon die aan het typen is 150 W. De elektrische apparaten die doorgaans in de werkruimtes aanwezig zijn, zijn computers, monitors en kopieermachines. In tabel 8 is een overzicht gegeven van de warmteproductie van deze elektrische apparaten.

Tabel 8: Warmteproductie van personen en elektrische apparaten

| Warmteproductie (W) | |
|---------------------|-----|
| Personen | 150 |
| Computer | 65 |
| Monitor | 70 |
| Kopieermachine | 500 |

2.7 Besluit

De gegevens over de verschillende ruimtes in het bureelgebouw en hun beoogd gebruik worden later bij het ontwerp van de HVAC-installatie. Naast dit ontwerp zijn deze gegevens van belang bij het onderzoek van het comfort in de werkruimtes.

Met de resultaten uit de berekening van de warmteverliezen en warmtewinsten kunnen de benodigde verwarmings- en koelvermogens bepaald worden tijdens het ontwerp van de verwarmings- en koelinstallatie. In deze tekst zijn enkel de totale warmteverliezen en –winsten van het bureelgebouw beschreven maar tijdens de berekening is dit echter per ruimte berekend.

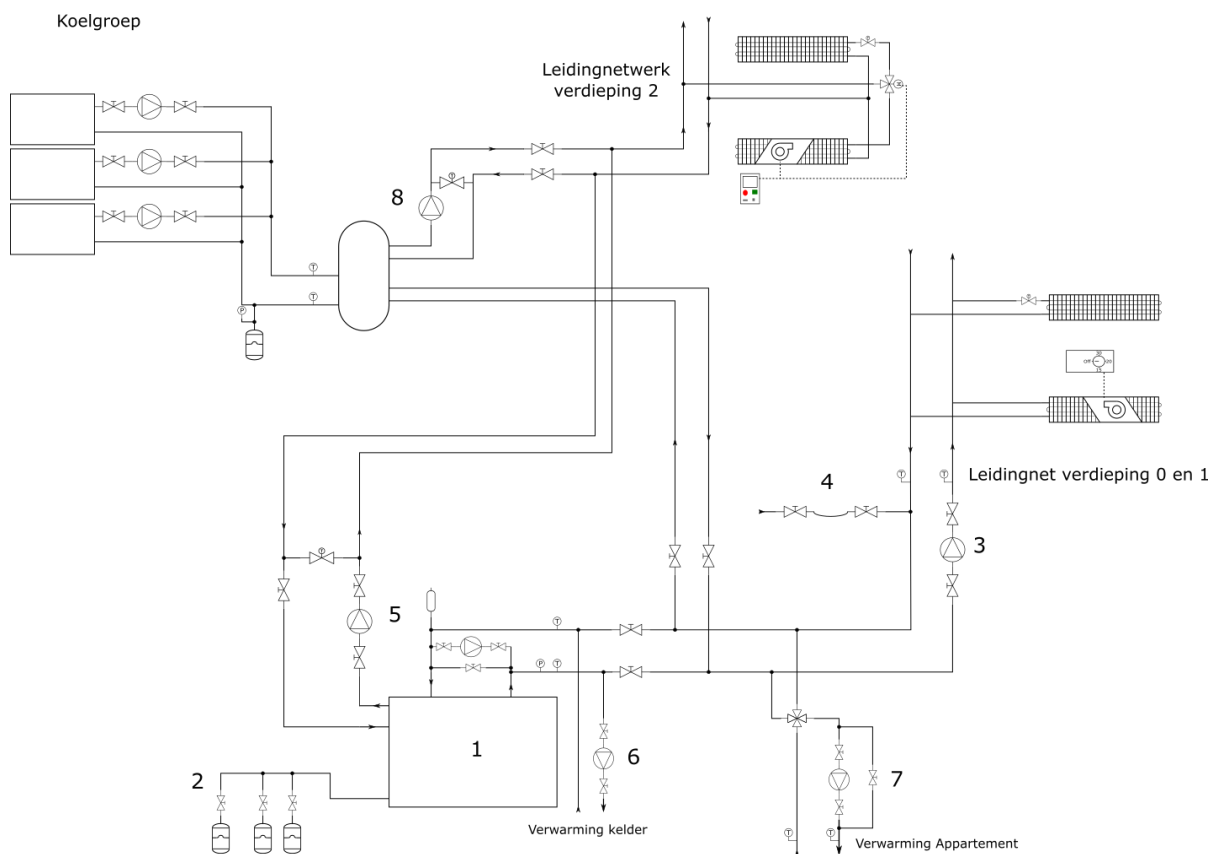
3 De huidige HVAC-installatie

3.1 Centrale verwarming en koeling

Deze sectie beschrijft het centrale systeem voor verwarming en koeling dat de meeste ruimtes in het bureelgebouw bedient. Bepaalde ruimtes zijn voorzien van een eigen systeem en deze worden verder besproken in sectie 3.3 Andere ruimtes.

3.1.1 Algemene situatie

Figuur 15 geeft het algemeen hydraulisch prinscipeschema van de verwarming en koeling van het bureelgebouw weer. In de bijlage: cd-rom – Huidige installatie – Hydraulisch schema zijn alle hydraulische schema's toegevoegd.



Figuur 15: Hydraulisch prinscipeschema van de huidige situatie

Legende

- | | |
|---|---|
| 1. Verwarmingsketel | 5. Circulatiepomp verdieping 2 (verwarming) |
| 2. Expansievaten | 6. Circulatiepomp kelder |
| 3. Circulatiepomp verdieping 0 en 1 (verwarming en koeling) | 7. Circulatiepomp Appartement |
| 4. Vulkraan | 8. Circulatiepomp verdieping 2 (koeling) |

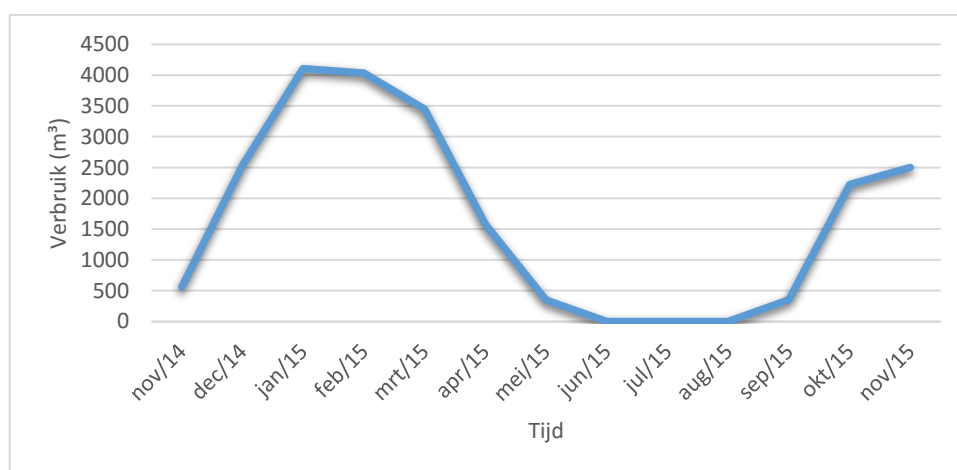
3.1.2 Warmtebron

De bereiding van het warm water gebeurt door één verwarmingsketel gepositioneerd in de kelder onder de kleedkamers. De geïnstalleerde verwarmingsketel is een Viessmann Paromat-e van het jaar 1974 en heeft een vermogen van 378 tot 454kW. In 2014 is de mazoutbrander vervangen door een gasbrander. Dit is een Riello RS50 tweetraps brander gevoed door hoogcalorisch aardgas en heeft vermogen van 115 tot 600 kW. Verdere gegevens over de toestellen zijn weergegeven in tabel 9.

Tabel 9: Gegevens van de huidige verwarmingsketel

| Ketel | | |
|------------------|---------------------|------|
| Merk | Viessmann Paromat-e | |
| Type | 13052-52 | |
| Bouwjaar | 1974 | |
| Vermogen | 378-454 | kW |
| Max bedrijfsdruk | 5,5 | Bar |
| bedrijfsdruk | 2 | Bar |
| Brander | | |
| Merk | Riello RS50 | |
| Type | 811 T1 | |
| Bouwjaar | 2014 | |
| Brandstof | Aardgas | |
| | Hoog calorisch | |
| | II2L 3B/P NL | |
| Gasdruk | 16-130 | mBar |
| Vermogen | 115-600 | kW |

Op figuur 16 is het gasverbruik van de verwarmingsketel weergegeven in de periode van November 2014 tot en met November 2015. Het totale verbruik gedurende deze periode is 21688 m³ hoogcalorisch aardgas. Met behulp van de data van [10] is de CO₂-uitstoot van dit verbruikt volume berekend en bedraagt 38,3 ton CO₂.



Figuur 16: Grafiek van het gasverbruik van het bureelgebouw

3.1.3 Koudebron

Voor de koelinstallatie zijn er 3 toestellen van Rhoss aanwezig namelijk, de CWA/E 25. Het bouwjaar van deze toestellen is 1994 en ze hebben een koelvermogen van elk 25 kW bij een buitentemperatuur van 35°C en een regime van 12/7°C. Het koudemiddel waarop de koelinstallatie werkt is R22, dit is tegenwoordig verboden. Er zijn 3 toestellen geïnstalleerd maar hiervan is bekend dat er één toestel defect is. Op tabel 10 zijn de gegevens van de koelmachines weergegeven.

Tabel 10: Gegevens van de koelmachines

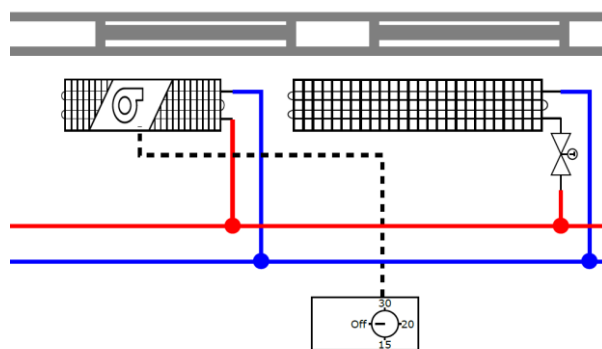
| | | |
|----------------------------|----------|----|
| Merk | Rhoss | |
| Type | CWA/E 25 | |
| Bouwjaar | 1994 | |
| Elektrische gegevens | | |
| Vermogen | 10 | kW |
| Spanning | 400 | V |
| Fases | 3 | |
| Frequentie | 50 | Hz |
| Nominale stroom | 16,8 | A |
| Maximale Stroom | 18,9 | A |
| Koelvermogen | | |
| Regime: 12/7°C buiten 35°C | 25 | kW |
| Koudemiddel | R22 | |
| Aantal | 3 | |
| Werkend | 2 | |

3.1.4 Systeemtopologie

We zien op figuur 15 dat er een verschillend leidingnetwerk ofwel systeemtopologie is voor de bovenste verdieping dan voor de andere verdiepingen van het gebouw. Dit komt door de uitbreiding van het bureelgebouw in het jaar 2000. Het principe van beide typologieën is hierbij gelijk namelijk, een tweepijpssysteem. Met behulp van het tweepijpssysteem is het enkel mogelijk om het leidingnetwerk met warm water te voeden (verwarmen) of met koud water (koelen) op hetzelfde moment.

3.1.5 Afgiftesysteem

Bij de systeemtopologie is er aangehaald dat er een twee verschillende circuits zijn in het gebouw. Voor het afgiftesysteem is er ook een verschil waarbij eerst de situatie op de onderste en eerste verdieping wordt uitgelegd. Het afgiftesysteem voor de onderste en de eerste verdieping is schematisch weergegeven op figuur 17.

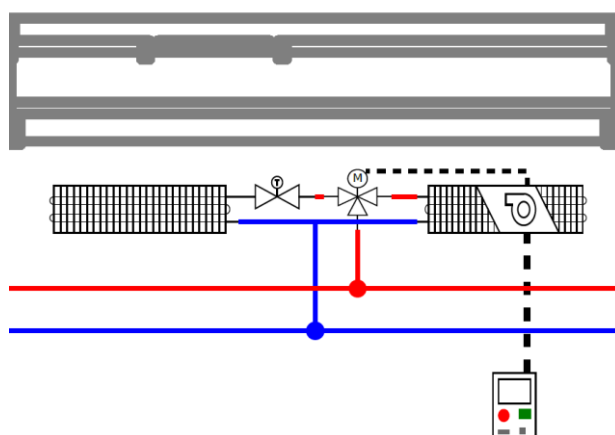


Figuur 17: Schematische voorstelling van het afgiftesysteem op de onderste en de eerste verdieping

Er zijn twee verschillende warmtewisselaars die gebruikt worden. Aan de linkerzijde is er een warmtewisselaar te zien waarop een ventilator is aangesloten om de luchtstroom te bevorderen. Dit soort warmtewisselaars noemt men ook ventilo-convectoren. Deze warmtewisselaar is verbonden met een verouderde thermostaat. Met deze thermostaat is het mogelijk om een temperatuur in te stellen en een keuze te kunnen maken tussen verwarmen of koelen. De keuze tussen verwarmen en koelen is echter wel afhankelijk van de temperatuur van het water waarmee het leidingnetwerk wordt gevoed. De thermostaat is boven de warmtewisselaars langs de ramen gemonteerd.

Op de rechterzijde van de figuur is er een warmtewisselaar zonder ventilator. Op deze warmtewisselaar is er een thermostatisch ventiel gemonteerd dat het afgegeven vermogen van de warmtewisselaar beïnvloedt. Dit thermostatisch ventiel is in de omkasting gepositioneerd waardoor deze slecht bedienbaar is.

Op figuur 18 is het afgiftesysteem van de tweede verdieping schematisch weergegeven. Hier worden dezelfde warmtewisselaars gebruikt als op de andere verdiepingen maar deze zijn anders aangesloten. Door het driewegventiel is de sturing zo gemaakt dat de warmtewisselaar zonder ventilator enkel voor de verwarming wordt gebruikt en de ventilo-convector enkel voor de koeling. De ventilo-convector wordt nu gestuurd met behulp van een digitale module. Deze module is op de omkasting van de warmtewisselaars gemonteerd.



Figuur 18: Schematische voorstelling van het afgiftesysteem op de tweede verdieping

3.1.6 Regeling en sturing

De sturing van de verwarmingsketel gebeurt handmatig. Op de elektrische schema's is er gegeven dat het ook mogelijk is om met een tijdsprogramma te werken, maar na enkele bevestigingen op Jaga kan men besluiten dat er niet wordt gewerkt met dit tijdsprogramma. De verwarmingsketel wordt gestuurd met behulp van een ketelthermostaat dat ingesteld staat op een constante temperatuur.

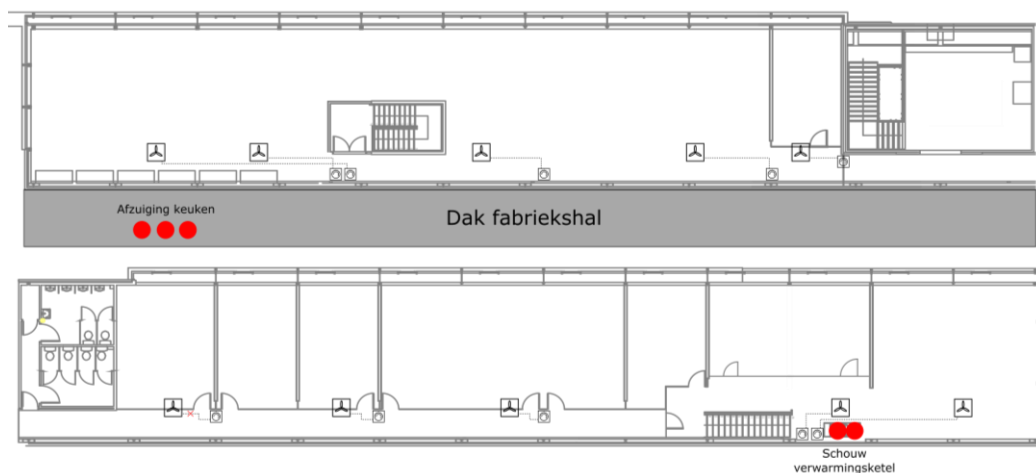
De circulatiepomp voor verdieping 0 en 1 wordt zowel in de winter gebruikt voor de verwarming als in de zomer voor de koeling. De pomp wordt handmatig bediend en staat constant aan gedurende een werkdag voor de verwarming of koeling.

Voor het leidingnetwerk van verdieping 2 zijn er twee verschillende circulatiepompen geïnstalleerd. Eén voor de winter voor de verwarming en één voor de koeling in de zomer. De circulatiepompen worden ook handmatig bediend en staan constant aan gedurende een werkdag.

De omschakeling van de winter naar de zomerperiode (en omgekeerd) respectievelijk voor het verwarmen naar het koelen gebeurt handmatig. Enkele kranen dienen omgeschakeld te worden om het leidingnetwerk met koud of warm water te voeden. Door deze manuele handelingen is het ook niet mogelijk om de twee verschillende leidingnetwerken apart te voeden met warm of koud water.

3.2 Ventilatie

In het bureelgebouw is er enkel op verdieping 2 een toevoer van verse lucht voorzien en een afzuiging van vuile lucht in de wc's. De toevoer van verse lucht op verdieping 2 gebeurt met behulp van dakventilatoren die gestuurd worden met behulp van een potentiometer in de ruimte. Het schema van de ventilatie op verdieping 2 is op figuur 19 weergegeven.



Figuur 19: Ventilatieschema van verdieping 2

Er zijn in totaal tien dakventilatoren geïnstalleerd. De gegevens ervan zijn terug te vinden op tabel 11.

Tabel 11: Gegevens van de dakventilatoren

| Dakventilator | | |
|---------------|------------------------|-------------------|
| Fabrikant | vibb Belgium | |
| Type | K 200 M buisventilator | |
| Debiet | 775 | m ³ /h |
| | 0,215 | m ³ /s |
| Spanning | 230 | V |
| Stroom | 0,47 | A |
| Vermogen | 110 | W |
| Toerental | 2575 | tr/min |
| Aantal | 10 | |

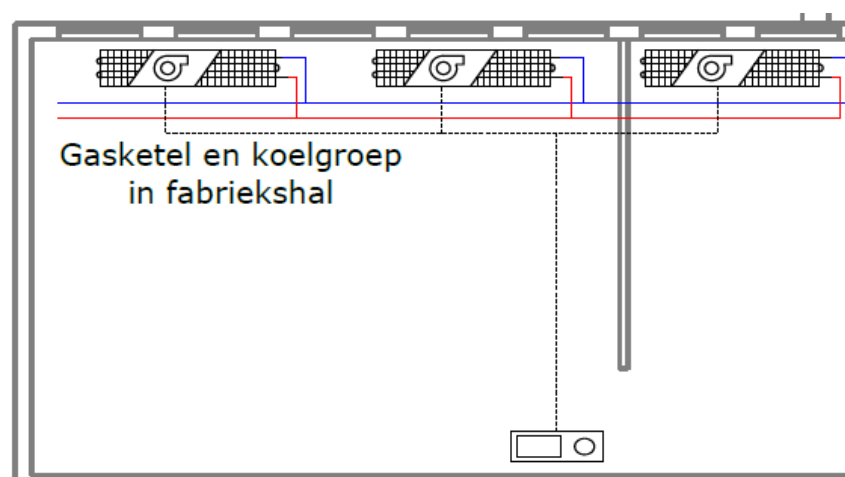
Over de afzuiging in de wc's in het bureelgebouw zijn er echter geen gegevens bekend. Met behulp van enkele debietmetingen is er geconcludeerd dat er een afzuigdebiet is van 250 m³/h.

3.3 Andere ruimtes

In het bureelgebouw zijn er ruimtes die niet zijn aangesloten op het algemeen leidingnetwerk voor de verwarming en koeling. In deze sectie worden deze ruimtes besproken beginnend met de vergaderzalen en showroom 1. Daarna wordt de huidige situatie in showroom 2,3 en 4 uitgelegd.

3.3.1 Vergaderzalen en Showroom 1

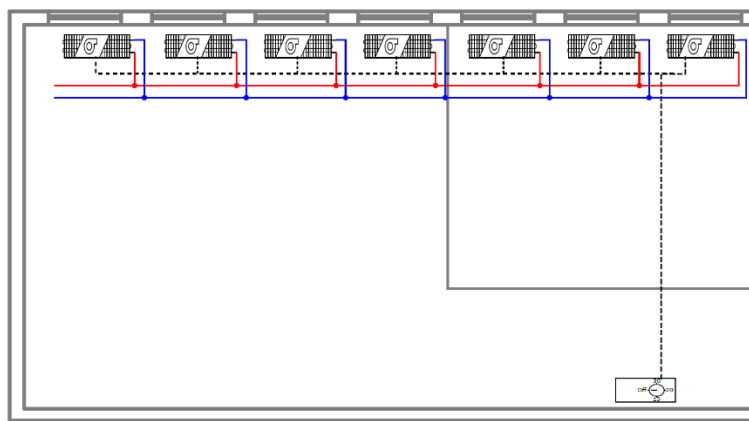
Op figuur 20 is het schema weergegeven van het afgiftesysteem in showroom 1.



Figuur 20: Afgiftesysteem in Showroom 1

De ventilo-convectoren worden gestuurd door het Qbus systeem van Greenforce dat met behulp van een thermostaat in de ruimte de verwarming en koeling zal regelen.

Op figuur 21 is het afgiftesysteem van de vergaderzalen weergegeven.



Figuur 21: Afgiftesysteem in de vergaderzalen

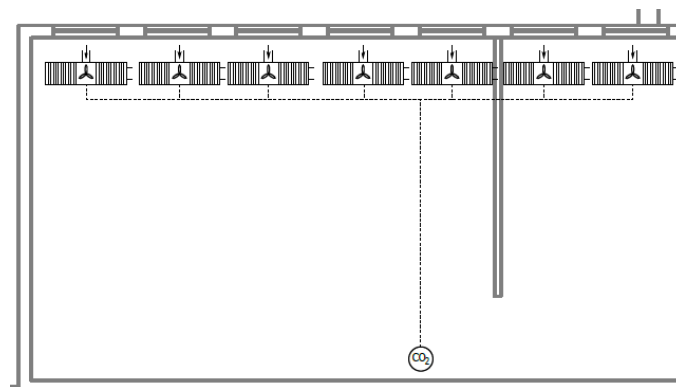
De ventilo-convectoren worden gestuurd met behulp van een thermostaat gepositioneerd aan de ingang van de grote vergaderzaal.

Deze ruimtes worden gevoed met een verwarmingsketel en koelgroep gepositioneerd in de fabriekshal. De warmtewisselaar is een Elco-mat. Verdere gegevens van vermogens over de warmtewisselaar zijn niet bekend. De gasbrander geïnstalleerd op de verwarmingsketel is een Riello Gulliver BS1. Dit is een ééntraps brander die niet modulerend is met een instelbaar vermogen van 16 tot 52 kW. In tabel 12 zijn de gegevens van de verwarmingsketel gegeven. Voor de koeling is er een Rhoss warmtepomp geïnstalleerd. Van dit toestel zijn er ook geen gegevens bekend. Het toestel is echter defect waardoor er momenteel geen koeling mogelijk is in Showroom 1 en in de vergaderzalen.

Tabel 12: Gegevens van de verwarmingsketel voor Showroom 1 en de vergaderzalen

| Ketel | | |
|------------------|-----------------|------|
| Merk | Elco-mat | |
| Type | /////// | |
| Bouwjaar | /////// | |
| Vermogen | /////// | kW |
| Max bedrijfsdruk | /////// | Bar |
| bedrijfsdruk | /////// | Bar |
| Brander | | |
| Merk | Riello Gulliver | |
| Type | BS 1 | |
| Bouwjaar | //// | |
| Brandstof | Aardgas | |
| | Hoog calorisch | |
| | II2L 3B/P NL | |
| Gasdruk | 20-100 | mBar |
| Vermogen | 16-52 | kW |

Ventilatie is enkel voorzien in Showroom 1. Op figuur 22 is ventilatie schema weergegeven van de showroom.

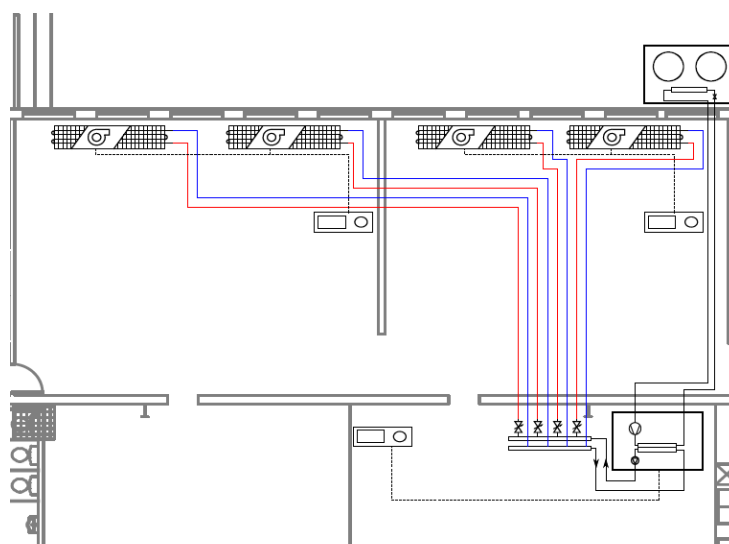


Figuur 22: Ventilatieschema Showroom 1

Met behulp van Oxygen-toestellen wordt de ruimte voorzien van verse lucht. Figuur 46 op pagina 71 geeft dit toestel weer. In de ruimte is er een CO₂-sensor geïnstalleerd dat de CO₂-concentratie in de ruimte meet. Deze sensor is verbonden met het Qbus systeem dat de Oxygen-toestellen aanstuurt. Voor deze ruimte is er in totaal een debiet van 630 m³/h geïnstalleerd voor de toevoer van verse lucht.

3.3.2 Showroom 2,3 en 4

In Showroom 2, 3 en 4 heeft Greenforce in het jaar 2013 een project gemaakt omtrent de verwarming, koeling en ventilatie. Figuur 23 geeft het hydraulisch schema weer van de verwarming en koeling in de ruimtes.



Figuur 23: Verwarming en koeling in Showroom 2,3 en 4

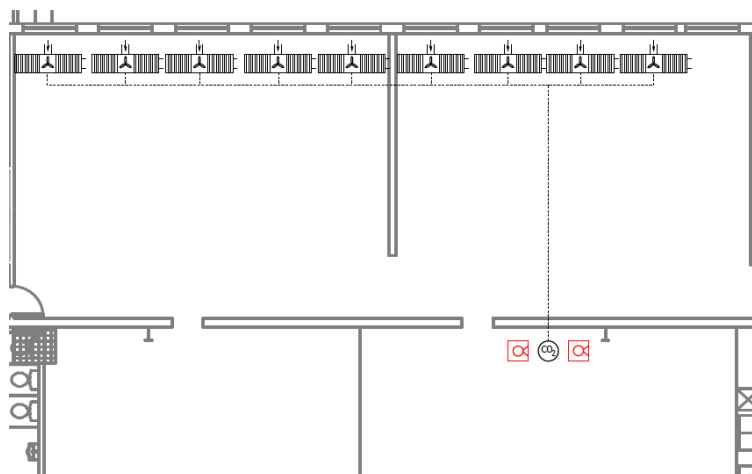
Het afgiftesysteem bestaat uit verschillende ventilo-convectoren die verbonden zijn met het Qbus systeem. In de ruimtes zijn er temperatuursensoren geplaatst die de omgevingstemperatuur in de ruimte meet. De voorziening van het warm- en koudwater respectievelijk voor de verwarming en

koeling gebeurt door een lucht-water warmtepomp. De gegevens van deze warmtepomp zijn gegeven in tabel 13.

Tabel 13: Gegevens van de warmtepomp in Showroom 2,3 en 4

| Buitenunit | | |
|------------------------|-------------------|----|
| Merk | Viessmann vitocal | |
| Type | 200-S | |
| | AWB-AC201.B10 | |
| Bouwjaar | 2013 | |
| Elektrisch vermogen | | |
| nominaal | 2,36 | kW |
| Maximaal | 4,5 | kW |
| Warmtevermogen | | |
| nominaal | | |
| A7/W35 | 10,9 | kW |
| A2/W35 | 7,7 | kW |
| warmtevermogen | 5,05-14 | kW |
| Koelvermogen | | |
| nominaal | | |
| A35/W7 | 7,4 | kW |
| Koelvermogen | 2,4-8,5 | kW |
| Koudemiddel | R410A | |
| Buitenluchttemperatuur | | |
| Min | -15 | °C |
| Max | 45 | °C |
| Binnenunit | | |
| Merk | Viessmann vitocal | |
| Type | 200-S | |
| | AWB-AC201.B10 | |
| Bouwjaar | 2013 | |

In de ruimte zijn er Oxygen-toestellen geplaatst voor de voorziening van verse lucht. Deze zijn geïnstalleerd in Showroom 2 en 3. In Showroom 4 zijn er twee extractieboxen voorzien voor de afvoer van de vuile lucht zoals weergegeven op figuur 24. Er is in totaal een debiet van 810 m³/h geïnstalleerd voor de toevoer van de verse lucht en 265 m³/h aan afvoer van vuile lucht.



Figuur 24: Ventilatieschema in Showroom 2,3 en 4

3.4 Besluit

Met het onderzoek naar de huidige HVAC-installatie zijn de hydraulische schema's opgesteld voor het bureelgebouw. Hiermee is het principe en de werking van de installatie verduidelijkt. Samen met de sturing en regeling kan er vervolgens gezocht worden naar de oorzaken van de comfortklachten die verder beschreven zijn in hoofdstuk 5: Oorzaken van de comfortproblemen.

4 Comfort

In dit hoofdstuk wordt het onderwerp comfort beschreven. Als eerste wordt er uitgelegd wat comfort is. Vervolgens worden de verschillende kenmerken die comfort beïnvloeden uitgelegd. Daarna wordt er besproken hoe comfort beoordeeld kan worden.

4.1 Wat is comfort

Veralgemeend wordt comfort vertaald als de tevredenheid van de geest op een bepaald onderwerp. Het is een subjectieve mening dat verschilt van persoon tot persoon. Het belang van comfort op het werk is dat het een effect heeft op de productiviteit, gezondheid en motivatie van de werknemers [11], [12].

Wanneer men denkt aan comfort wordt er meestal de link gelegd naar thermisch comfort of thermische behaaglijkheid, maar dan beschouwd men één enkele parameter dat het comfort van een persoon bepaald. Andere parameters die het comfort van een persoon beïnvloeden, zijn de luchtkwaliteit, het akoestisch comfort en visueel comfort.

4.2 Thermisch comfort

4.2.1 Parameters voor het thermisch comfort

Er zijn zes belangrijke factoren die rechtstreeks een invloed hebben op het thermisch comfort en kunnen opgedeeld worden in persoonlijke factoren en omgevingsfactoren [4].

De omgevingsfactoren zijn:

- de luchttemperatuur,
- de gemiddelde stralingstemperatuur,
- de luchtsnelheid,
- de relatieve vochtigheid.

De persoonlijke factoren zijn:

- het metabolisme,
- de warmteweerstand van de kleren.

De luchttemperatuur

De luchttemperatuur is de gemiddelde temperatuur van de lucht rond de bezetter rekening houdend met locatie en tijd.

De gemiddelde stralingstemperatuur

De stralingstemperatuur is afhankelijk van de hoeveelheid warmte dat een oppervlak uitstraalt. Het hangt af van de mogelijkheid van het materiaal om warmte te absorberen of te emitteren.

De luchtsnelheid

De luchtsnelheid wordt gedefinieerd als de snelheid van de luchtbeweging op een punt, ongeacht van de richting ervan.

De relatieve vochtigheid

De relatieve vochtigheid is de verhouding van de hoeveelheid waterdamp die in de lucht is tot de maximale hoeveelheid waterdamp dat de lucht kan houden op een specifieke temperatuur en druk.

Het metabolisme

Het metabolisme ofwel stofwisseling is een term die wordt gebruikt om de warmteafgifte van een persoon als grootte te gebruiken en heeft als eenheid "MET". De warmteafgifte van een persoon is afhankelijk van zijn of haar bezigheid. Zo bedraagt de warmteafgifte van een zittend persoon in rust 1 MET, dit komt overeen met 58 Watt per huidoppervlakte. De oppervlakte van een gemiddelde persoon bedraagt 1,8 m², dus geeft een zittend persoon in rust ongeveer 105 Watt warmte af.

De warmte weerstand van de kleren

De kledij die de mensen dragen biedt een thermische isolatie en heeft een aanzienlijke impact op het thermisch comfort. Het heeft een invloed op de warmteafgifte of warmteopname van het lichaam afhankelijk van de omgeving. Afhankelijk van het aantal lagen, materiaal en dikte van de kleding verandert de warmte weerstand ervan. Het wordt uitgedrukt in "Clo" waarbij 1 Clo overeenkomt met 0,155 m²K/W.

4.2.2 Predicted Mean Vote

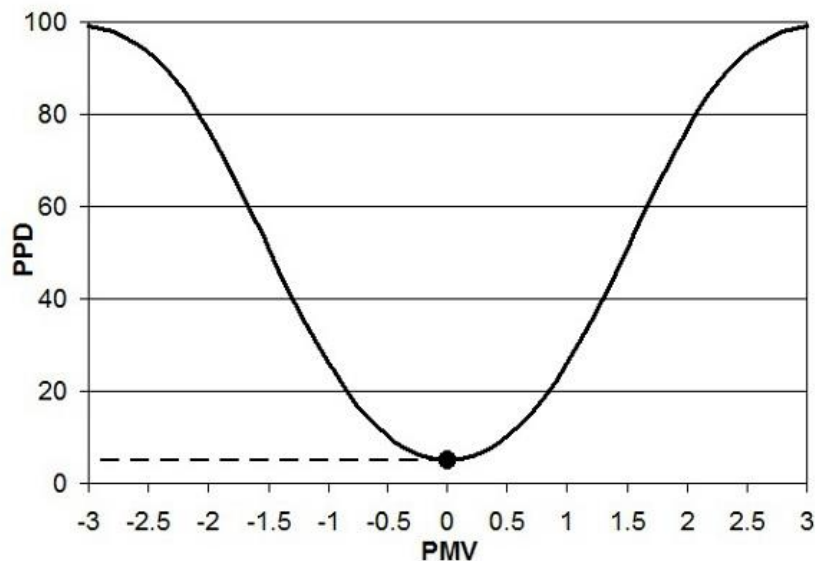
In de inleiding is er aangehaald dat comfort een subjectieve mening is dat afhangt van persoon tot persoon. Hierdoor is het moeilijk om dit te beoordelen en moet er een manier gevonden worden om dit om te zetten naar een meetbare waarde. De PMV / PPD (Predicted Mean Vote / Predicted Percentage Dissatisfied) is hierbij een veel gebruikte prestatie indicator [4].

Het PMV / PPD model is ontwikkeld door Fanger en gebaseerd op de warmtebalans. Deze warmtebalans is een complexe vergelijking waarbij alle verschillende parameters worden gebruikt om een PMV-waarde te berekenen. De PMV-waarde is een voorspelde waarde van de gemiddelde beoordeling van het thermisch comfort. Dit is een waarde op een schaalverdeling tussen -3 en +3 en wordt ook de thermische schaal genoemd.

De verdeling van de thermische schaal is volgens [4] opgelegd en wordt voorgesteld als:

- 3 koud
- 2 koel
- 1 lichtjes koel
- 0 neutraal
- +1 lichtjes warm
- +2 warm
- +3 heet

Vanuit deze PMV-waarde kan met behulp van figuur 25 [13] de PDD waarde afgelezen worden. Dit is het voorspelde percentage van het aantal personen dat ontevreden is met het thermisch comfort.



Figuur 25: Grafiek PMV – PDD [13]

We zien dat een PMV-waarde van 0 overeenkomt met 6% ontevredenheid. ± 0.5 komt overeen met 10%. Volgens [4] en de norm NBN EN ISO 7730 [14] is een gebouw of ruimte van categorie C thermisch comfortabel als er maximaal 15% van de personen ontevreden is met het comfort .

4.3 Luchtkwaliteit

Voor de luchtkwaliteit in de binnenomgeving worden de normen voor ventilatie zoals NBN EN 13779 [15] en NBN EN 15251 [16] gebruikt. Er zijn verschillende parameters die de luchtkwaliteit beïnvloeden zoals luchtkwaliteit, CO₂-concentratie en vervuilende stoffen.

De luchtvochtigheid in de binnenomgeving heeft een klein effect op het comfort van de bezetter. Enkel in extreme gevallen kan dit een effect geven op het comfort van de gebruiker. Een hoge luchtvochtigheid (meer dan 75%) leidt tot een groei van microben en schimmels die de luchtwegen kunnen aantasten. Een lage luchtvochtigheid (minder dan 20%) veroorzaakt droogheid en een irritatie van de ogen en de luchtwegen. De ideale luchtvochtigheid voor de binnenomgeving bedraagt 50%. Een luchtvochtigheid tussen 40% en 60% wordt als acceptabel beschouwd [16].

Tijdens het ademen ademt de mens zuurstof in en koolstofdioxide (CO_2) uit. De CO_2 productie van de mens is afhankelijk van het metabolisme. Wanneer een persoon actief bezig is, is de productie groter dan deze van een persoon in rust. De CO_2 komt vervolgens in de binnenomgeving terecht waardoor de CO_2 -concentratie stijgt. Deze concentratie wordt uitgedrukt in *parts per million* (ppm) en bedraagt voor de huidige atmosfeer op aarde 400 ppm [17]. Hogere CO_2 -concentraties in de lucht hebben vervolgens een invloed op de productiviteit van een persoon. Een CO_2 -concentratie tot 800 ppm beschouwt men als comfortabel. 1000 ppm is vervolgens een drempelwaarde waarbij er gezondheidsklachten zoals duizeligheid en vermoeidheid optreden.

Luchtvervuiling in een binnenomgeving kan veroorzaakt worden door veel verschillende parameters. Enkele voorbeelden zijn: chemische vervuiling, vluchtige organische stoffen, stof, rook etc. Voor deze luchtvervuiling is er geen specifieke eis beschreven in de normen. Afhankelijk van de situatie moet het probleem geanalyseerd worden.

4.4 Visueel comfort

Voor het visueel comfort wordt er gekeken naar de verlichting in de ruimte. De norm NBN EN 12464-1 [18] beschrijft de verschillende aandachtspunten met betrekking tot het visueel comfort en de kwaliteit van de verlichting.

De eisen die men stelt aan de verlichting is afhankelijk van de uit te voeren visuele taak. Zo zijn de eisen voor tekenwerk veel hoger dan het verlichten van een gang. Hierbij worden er verschillende parameters gebruikt die nodig zijn om verlichting te beschrijven. Deze parameters zijn:

- de te verzekeren verlichtingssterkte (E_m)
- de uniformiteit (U_0)
- de maximale eengemaakte verblindingsgraad (UGR_L)
- de kleurweergave-index (R_a)

De te verzekeren verlichtingssterkte E_m is de hoeveelheid lichtenergie die moet invallen op een bepaald punt of oppervlak. Het wordt uitgedrukt in lux of lumen per m^2 . Hoe groter de verlichtingssterkte, hoe meer details de gebruiker zal kunnen waarnemen.

Praktisch is het onmogelijk om op ieder punt in het oppervlak de te verzekeren verlichtingssterkte te garanderen maar er moet wel een gelijkmatigheid zijn van de verlichting. Hierbij heeft men het begrip uniformiteit geïntroduceerd. De uniformiteit van verlichting wordt gedefinieerd als de verhouding van de minimale verlichtingssterkte tot de gemiddelde verlichtingssterkte.

De eengemaakte verblindingsgraad (UGR: unified glare rating) is een index die gebruikt wordt om de directe verblinding van de verlichtingsinstallatie te evalueren. De UGR-waarde is afhankelijk van de positie van de gebruiker in de ruimte en ook de vorm en opbouw van de ruimte. Hoe groter de UGR-waarde, hoe groter de verblinding.

De kleurweergave-index (R_a) is een cijfer dat tussen 0 en 100 ligt en is een maat voor de kwaliteit van een lichtbron hoe deze de kleur van een object weergeeft. Hoe hoger deze waarde, hoe beter de kleuren van een object worden weergegeven.

Op tabel 14 [19] is de norm voor kantoren weergegeven voor de verschillende activiteiten.

Tabel 14: Norm NBN EN 12464-1 voor kantoren [19]

| Ref. no. | Type of area, task or activity | \bar{E}_m lx | UGR_L – | U_o – | R_a – | Specific requirements |
|----------|---|-------------------|--------------|------------|------------|----------------------------------|
| 5.26.1 | Filing, copying, etc. | 300 | 19 | 0,40 | 80 | |
| 5.26.2 | Writing, typing, reading, data processing | 500 | 19 | 0,60 | 80 | DSE-work, see 4.9. |
| 5.26.3 | Technical drawing | 750 | 16 | 0,70 | 80 | |
| 5.26.4 | CAD work stations | 500 | 19 | 0,60 | 80 | DSE-work, see 4.9. |
| 5.26.5 | Conference and meeting rooms | 500 | 19 | 0,60 | 80 | Lighting should be controllable. |
| 5.26.6 | Reception desk | 300 | 22 | 0,60 | 80 | |
| 5.26.7 | Archives | 200 | 25 | 0,40 | 80 | |

4.5 Akoestisch comfort

Voor het akoestisch comfort wordt de norm NBN S 01-400-2 [20] gebruikt voor woongebouwen maar het kan ook gebruikt worden voor kantoren of schoolgebouwen volgens [21]. In de norm worden er verschillende onderwerpen bekeken zoals luchtgeluidisolatie, contactgeluidisolatie, gevelisolatie, installatielawaai en nagalmtijd. Voor de masterproef zal er vooral gekeken worden naar installatielawaai en geluid afkomstig uit andere ruimtes. Zo wordt er opgesteld dat de geluidsdrukkniveaus niet hoger mogen zijn dan 55 dB(A).

4.6 Comfortenquête

Om het comfort van het bureelgebouw te beoordelen is er door tijdsgebrek en het gebrek aan de nodige meetapparatuur gekozen om te werken met een enquête die de werknemers kunnen invullen. De enquête is opgedeeld in meerdere delen waar er verscheidene meerkeuze en invulvragen zijn over de behandelde onderwerpen omtrent comfort. Per onderwerp is er een korte inleidende tekst om de werknemers meer informatie te geven over het onderwerp.

In het eerste gedeelte wordt er naar persoonlijke gegevens gevraagd zoals geslacht, leeftijdscategorie en hun specifieke werkplaats. Zo kunnen de resultaten en klachten in het bureelgebouw per afdeling of ruimte gegroepeerd worden.

Het tweede gedeelte is temperatuur ofwel thermisch comfort. Hierin wordt er gevraagd om per seizoen de temperatuur in de werkruimte te beoordelen met behulp van de thermische schaalverdeling. Er wordt ook gevraagd naar de algemene tevredenheid over het thermisch comfort. Indien er klachten zijn of discomfort is, wordt er gevraagd wanneer dit het geval is en wat de mogelijke oorzaken ervan kunnen zijn.

Het derde deel gaat over luchtkwaliteit. Er wordt gevraagd naar de tevredenheid over de luchtkwaliteit. Indien er klachten zijn kan men dit vervolgens beschrijven. Daarnaast wordt er nog gevraagd naar andere aspecten die de werknemer belangrijk vindt in verband met luchtkwaliteit.

In het vierde deel wordt er gevraagd over verlichting of visueel comfort beginnend met de algemene tevredenheid van de verlichting. Oorzaken van eventueel discomfort en klachten kunnen vervolgens beschreven worden.

Het vijfde gedeelte is geluid of akoestisch comfort. Er wordt gevraagd naar de algemene tevredenheid over de akoestiek in de ruimte. Bij een ontevredenheid kunnen de mogelijke oorzaken ervan beschreven worden.

In het zesde deel wordt er gevraagd naar gezondheidsklachten wanneer de werknemer zich in zijn of haar werkruimte bevindt.

Om de enquête af te sluiten kunnen de werknemers voorstellen doen over hoe ze hun werkruimte zouden aanpassen om het comfort te verhogen. Eventuele andere opmerkingen in verband met het comfort in de werkruimte kan beschreven worden.

In de bijlage: cd-rom Comfortonderzoek - Comfortenquête is de comfortenquête toegevoegd.

4.7 Resultaten van de comfortenquête

In deze paragraaf worden de resultaten van de comfortenquête besproken. De resultaten worden globaal voor het gehele bureelgebouw besproken. Tijdens de verdere analyse van de comfortproblemen zijn de problemen echter wel per lokaal geanalyseerd.

In totaal werden er 80 exemplaren afgedrukt en verdeelt onder werknemers van het bureelgebouw. Hiervan zijn er 54 exemplaren ingevuld en geanalyseerd. Dit is ongeveer 68%. Enkele belangrijke gegevens die men in acht moet nemen tijdens het nemen van conclusies over het gebouw is het aantal ingevulde exemplaren per geslacht en per afdeling of verdieping.

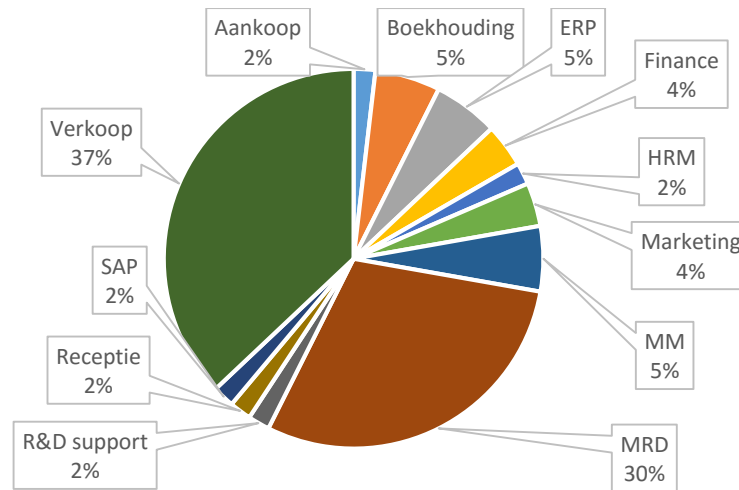
Van de ingevulde exemplaren is 55,6% mannelijk en 44,4% vrouwelijk. Hiermee is het geslacht ongeveer gelijk verdeeld met een kleine meerderheid bij de mannen.

Op tabel 15 zijn de gegevens van het aantal ingevulde exemplaren per verdieping weergegeven. De meerderheid van het aantal exemplaren is op verdieping 2. Dit is een belangrijk gegeven aangezien de constructie van het gebouw en de HVAC-installatie verschillend is dan de andere twee verdiepen.

Tabel 15: Aantal ingevulde enquêtes per verdieping

| Verdieping | Aantal | Percentage |
|-------------------|-----------|----------------|
| 0 | 6 | 11,11% |
| 1 | 11 | 20,37% |
| 2 | 37 | 68,52% |
| Eindtotaal | 54 | 100,00% |

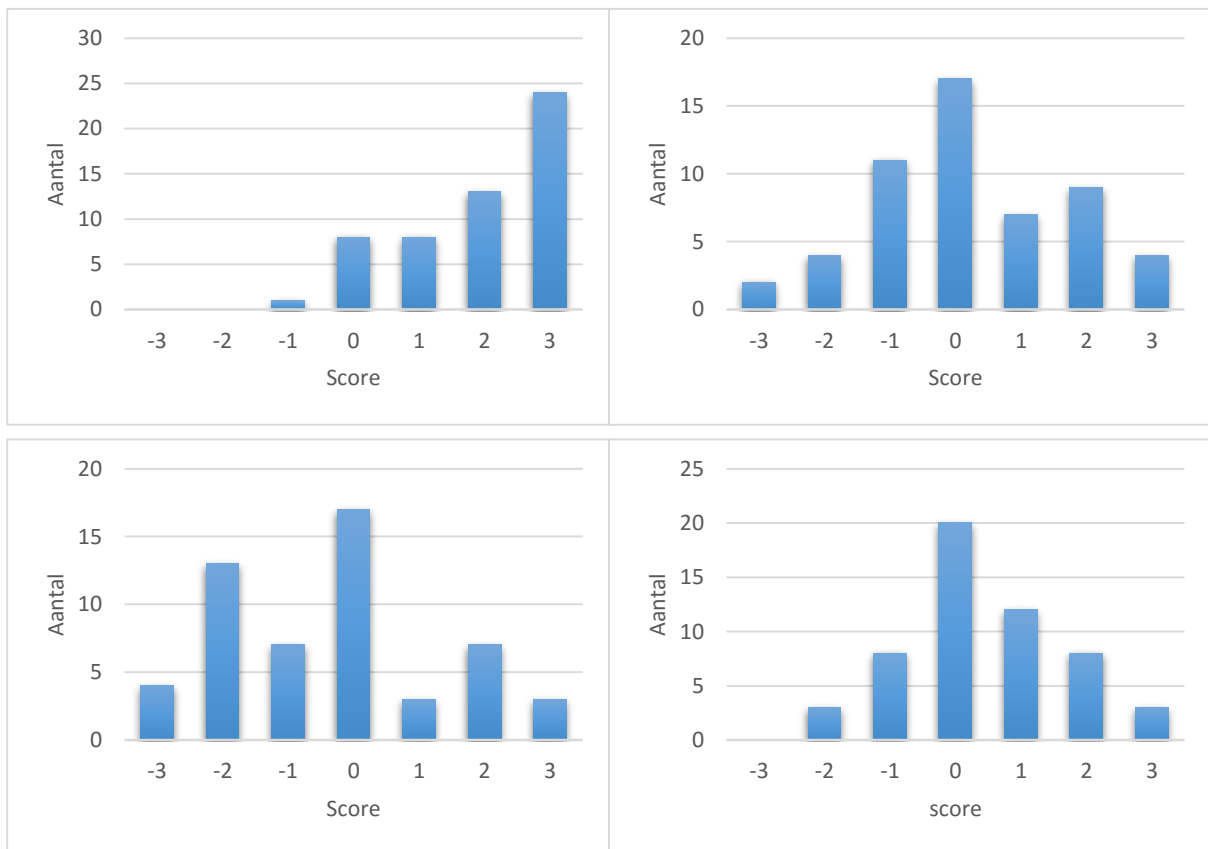
Naast de verdieping hebben de afdelingen ook een invloed op het resultaat. Op figuur 26 is de verdeling weergegeven in percent van het aantal ingevulde enquêtes per afdeling. Verkoop en MRD zijn hier de twee grootste groepen. Deze afdelingen liggen op de 2^e verdieping en het verschil is dat de verkoopafdeling aan de zuidwest kant van het gebouw ligt en de MRD-afdeling aan de noordoost kant.



Figuur 26: Het aantal ingevulde enquêtes per afdeling in percent

4.7.1 Thermisch comfort

De eerste vraag over het thermisch comfort was het beoordelen van de temperatuur in de werkruimte over de vier seizoenen. De globale resultaten van deze vraag zijn weergegeven op figuur 27.



Figuur 27: Grafieken van de temperatuurbeoordeling in de zomer (linksboven), herfst (rechtsboven), de winter (linksonder) en de lente (rechtsonder)

Opmerking: -3 komt overeen met te koud, 0 met comfortabel en 3 met te warm.

Men kan besluiten dat er in de zomer en de winter het meeste discomfort is. In de herfst en de lente is de temperatuur comfortabeler.

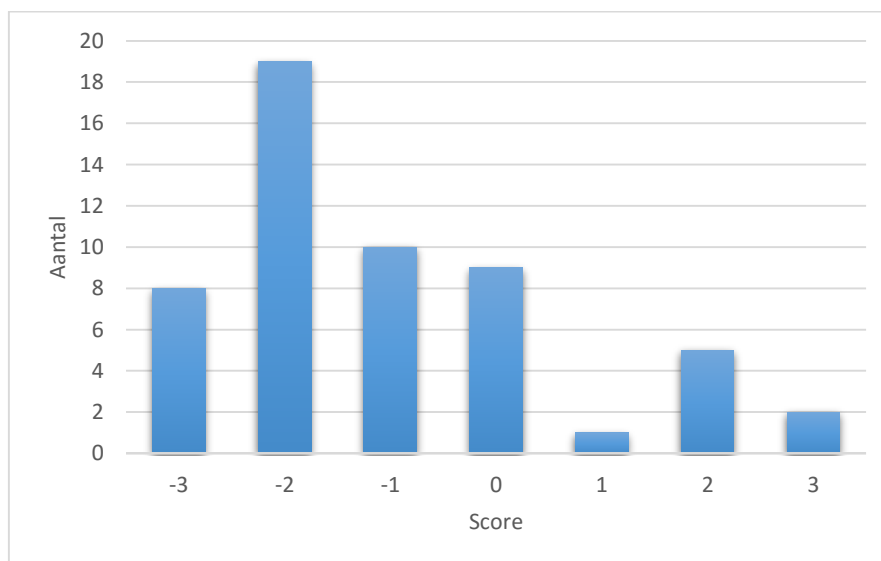
In de zomer is de temperatuur te hoog. Waarbij het de verdieping 2 het warmst is. Op de andere verdiepingen is het nog te warm maar ligt de grafiek meer centraal geconcentreerd wat overeenkomt met comfortabel.

Tijdens de herfstmaanden zijn de resultaten ongeveer gelijk verdeeld over het warme en koude gedeelte. De meeste antwoorden echter zijn wel comfortabel.

In de winter ligt de grafiek meer in het te koude gedeelte. Hier is er wel een verschil tussen de antwoorden per verdieping. Op verdieping 0 zijn er klachten dat de temperatuur te warm is met enkele uitschieters die in het koude gedeelte liggen. Op verdieping 1 is de temperatuur comfortabel en op verdieping 2 ligt de grafiek dan weer in het koude gedeelte.

In de lente is er ongeveer hetzelfde resultaat als in de herfst. Per verdieping is dat wel verschillend, op verdieping 0 is de temperatuur aan de warme kant. Op verdieping 1 is de temperatuur comfortabel en op verdieping 2 zijn de meeste antwoorden comfortabel maar de grafiek leunt tegen het warme gedeelte.

De volgende vraag is het beoordelen van het algemeen thermisch comfort. Op figuur 28 zijn de globale resultaten van de algemene tevredenheid met het thermisch comfort weergegeven.

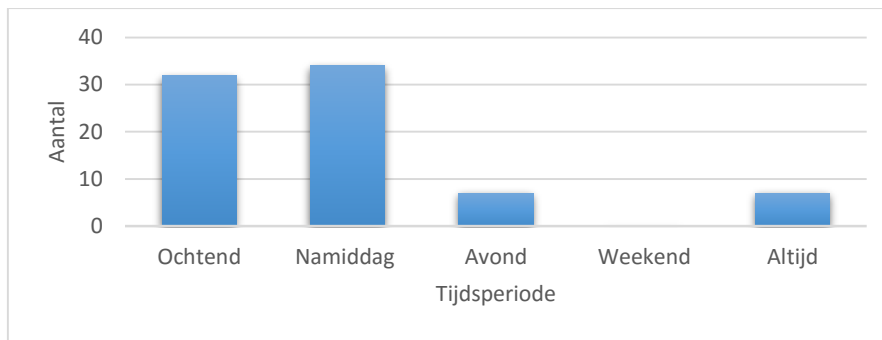


Figuur 28: Grafiek met resultaten van het thermisch comfort

Opmerking: -3 komt overeen met zeer ontevreden, 0 met neutraal en 3 met te zeer tevreden.

De meeste antwoorden liggen tussen “-3” en “0”. Hieruit kan men besluiten dat het algemeen thermisch comfort in het gebouw ontevreden tot zeer ontevreden is. Als de resultaten per verdieping worden bekeken, kan men besluiten dat het thermisch comfort op verdieping 0 en 2 ontevreden tot zeer ontevreden is. Op de verdieping 1 liggen de resultaten aan het neutrale en zeer tevreden gedeelte.

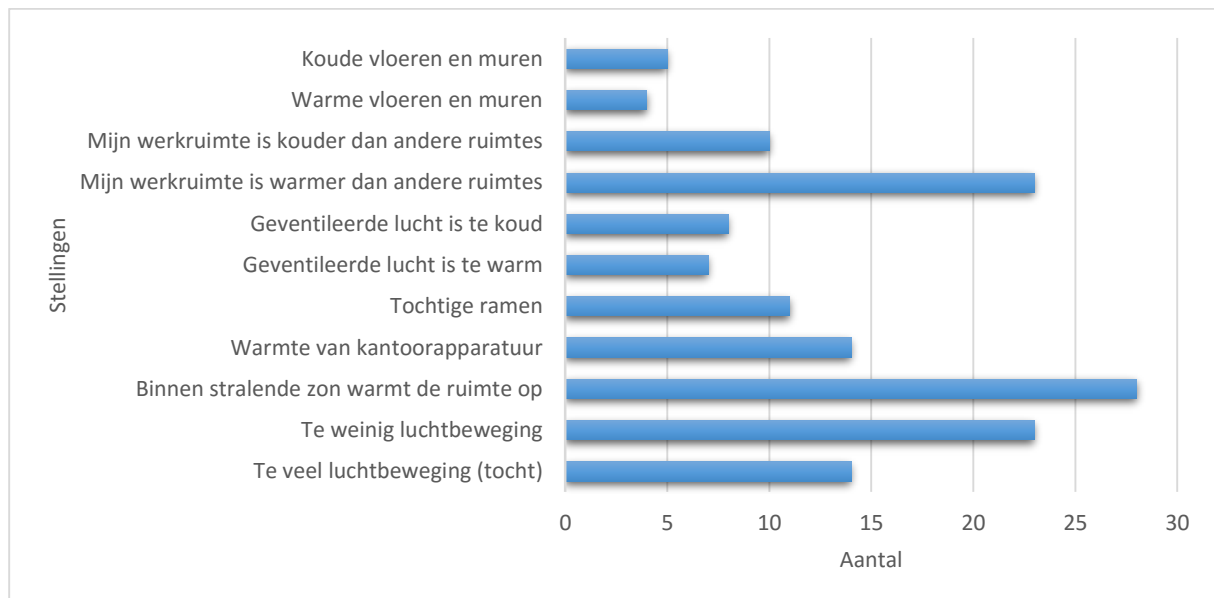
Vervolgens is er gevraagd naar de periode wanneer de ontevredenheden optreden. Op figuur 29 zijn de resultaten weergegeven.



Figuur 29: Grafiek beantwoorde periode bij thermisch discomfort

Aangezien een werkdag voornamelijk de ochtend en de namiddag bevat, kunnen we besluiten dat het discomfort er altijd is. In vele gevallen is het zo dat het in de ochtend te koud is en in de namiddag te warm.

Om het gedeelte van thermisch comfort af te sluiten is er tot slot gevraagd naar mogelijke oorzaken voor het discomfort met behulp van een aantal stellingen. Figuur 30 geeft de resultaten van deze vraag.



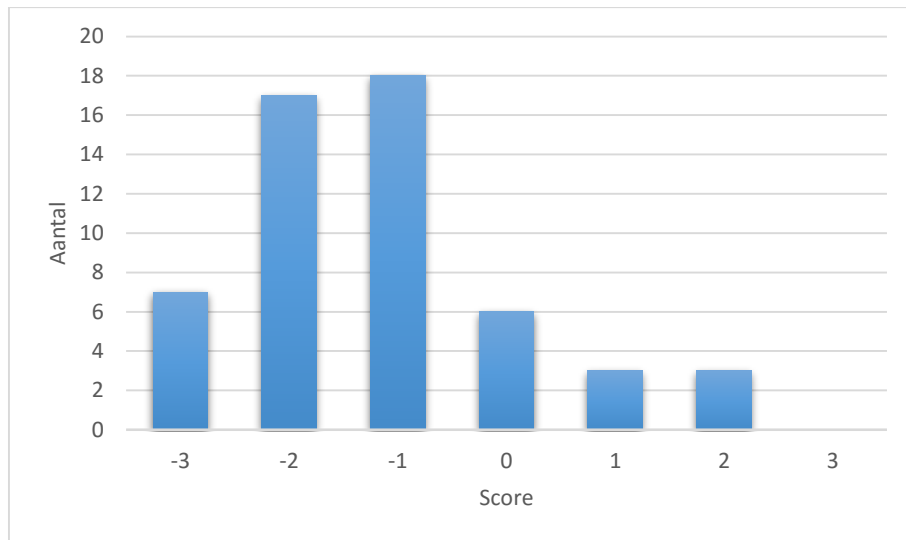
Figuur 30: Grafiek resultaten van stellingen bij thermisch discomfort

De voornaamste oorzaken van het thermisch discomfort zijn:

1. de binnen stralende zon warmt de ruimte op;
2. te weinig luchtbeweging;
3. mijn werkruimte is warmer dan andere ruimtes;
4. te veel luchtbeweging.

4.7.2 Luchtkwaliteit

Luchtkwaliteit is het volgende onderwerp in de enquête. De eerste vraag hierbij was het beoordelen van de luchtkwaliteit waarbij de resultaten zijn weergegeven op figuur 31.

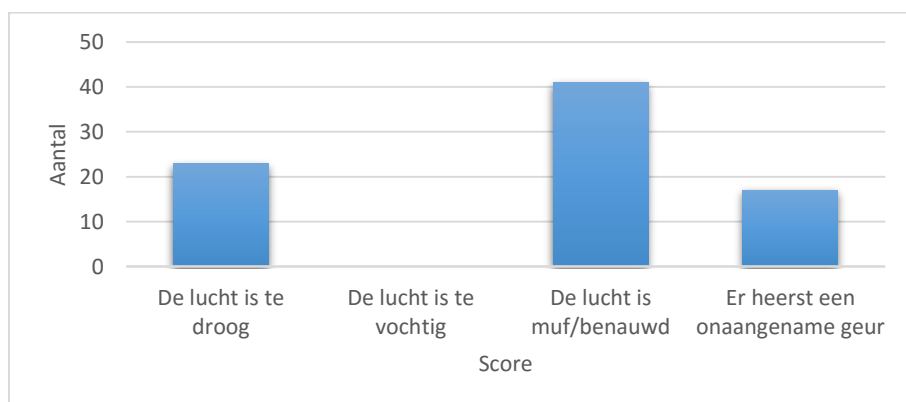


Figuur 31: Grafiek resultaten van luchtkwaliteit

Opmerking: -3 komt overeen met zeer ontevreden, 0 met neutraal en 3 met te zeer tevreden.

Op de grafiek zijn er twee uitschieters bij “-1” en “-2”. De algemene tevredenheid van de luchtkwaliteit is dus ontevreden. De verdeling van de grafiek op de verschillende verdiepen komt ongeveer overeen met de globale grafiek.

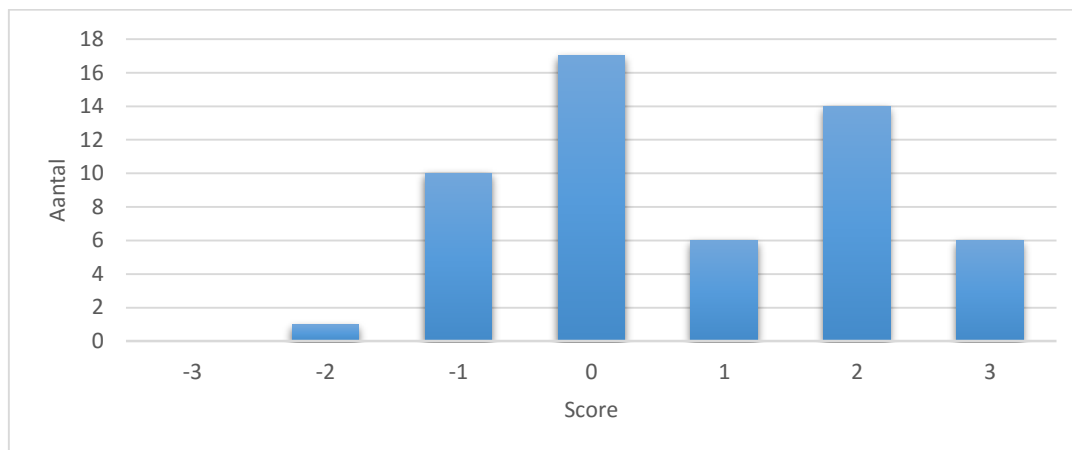
Vervolgens werd er gevraagd naar de mogelijke oorzaken dat het discomfort kan veroorzaken. Figuur 32 geeft de resultaten weer.



Figuur 32: Grafiek resultaten van de mogelijke oorzaken

4.7.3 Visueel comfort

Visueel comfort is het derde onderwerp. Er werd opnieuw gevraagd naar de algemene tevredenheid van dit onderwerp. Figuur 33 geeft de globale resultaten weer van de tevredenheid met het visueel comfort.

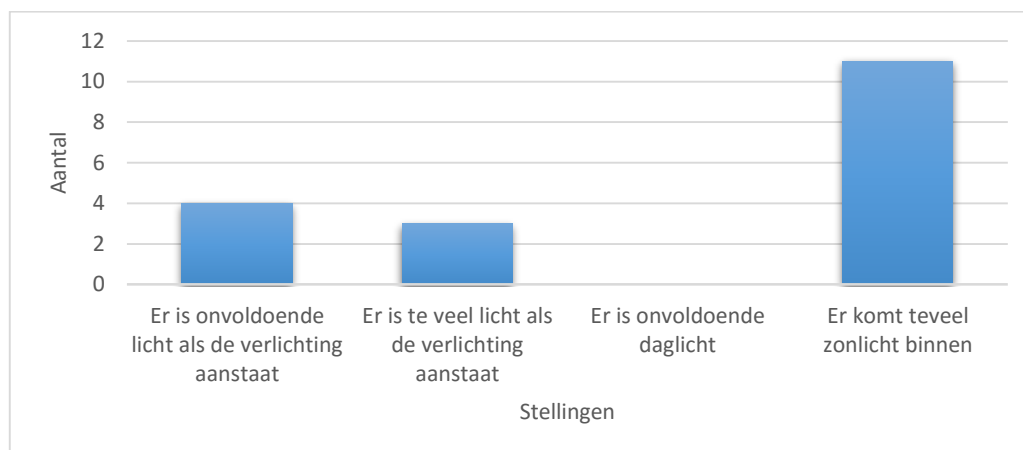


Figuur 33: Grafiek tevredenheid met het visueel comfort

Opmerking: -3 komt overeen met zeer ontevreden, 0 met neutraal en 3 met te zeer tevreden.

De algemene tevredenheid over de verlichting is neutraal tot tevreden. Per verdieping zijn de resultaten gelijkaardig.

Er werd vervolgens gevraagd naar mogelijke oorzaken die visueel discomfort veroorzaken waarvan de resultaten zijn weergegeven op figuur 34.

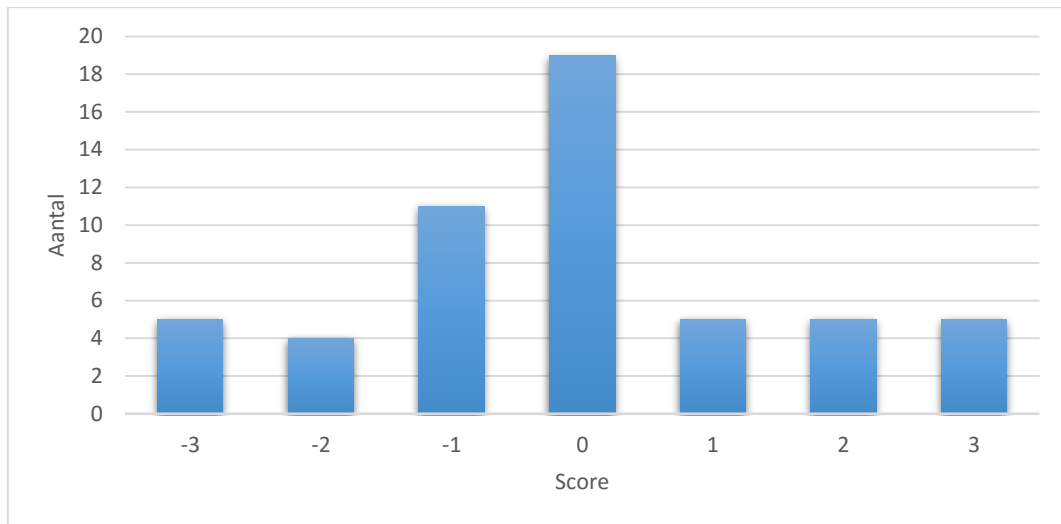


Figuur 34: Grafiek met resultaten van de mogelijke oorzaken van het discomfort

De oorzaak van te veel zonlicht is een klacht die voornamelijk komt van de 2^e verdieping. Er is geen zonnewering waardoor men niet kan beletten dat de zon door de grote glaswand de ruimte belicht. Onvoldoende verlichting of te veel licht als het kunstlicht aanstaat, komt in mindere mate voor.

4.7.4 Akoestisch comfort

Het volgende onderwerp is het akoestisch comfort. Er werd gevraagd naar de algemene tevredenheid van het akoestisch comfort. Op figuur 35 zijn de resultaten van deze vraag weergegeven.



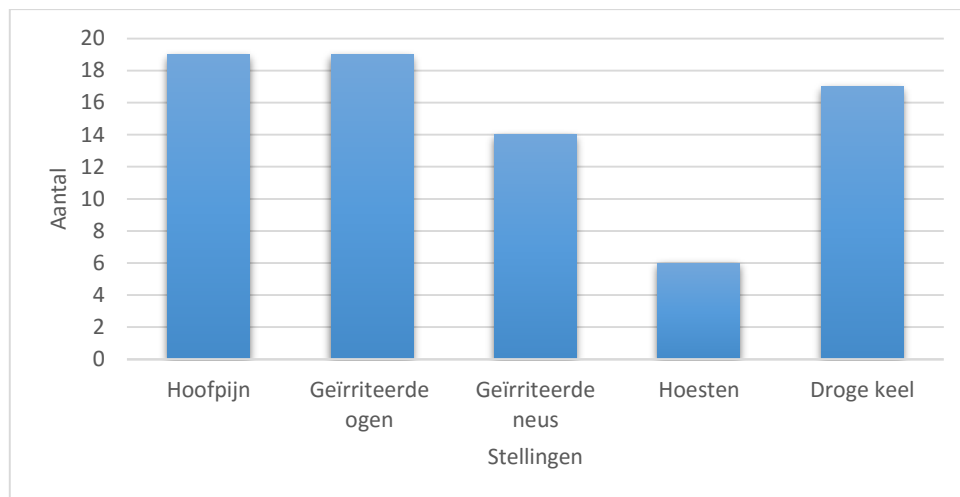
Figuur 35: Grafiek tevredenheid met het akoestisch comfort

Opmerking: -3 komt overeen met zeer ontevreden, 0 met neutraal en 3 met te zeer tevreden.

De algemene tevredenheid is neutraal. Per verdieping verschillen de antwoorden echter. Op verdieping 0 en 2 zijn er verschillende grote werkruimtes waar er meerdere personen aanwezig zijn. Bij de vraag naar mogelijke oorzaken van discomfort is vervolgens in 70% van de gevallen het geluid van collega's die in gesprek of vergadering zijn.

4.7.5 Gezondheidsklachten

Bij het onderwerp gezondheidsklachten is er gevraagd naar klachten wanneer de werknemers zich in hun werkruimte bevinden. Op figuur 36 zijn de resultaten weergegeven.



Figuur 36: Grafiek resultaten van gezondheidsklachten

4.7.6 Andere opmerkingen

Tot slot konden de werknemers zelf voorstellen doen om hun werkruimte aan te passen zodat hun comfort verhoogt. Hieruit is het meest voorkomende antwoord de HVAC-installatie. Er wordt echter minder naar verwarming gevraagd maar wel naar koeling en ventilatie. Een goed regeling waarbij men de temperatuur per ruimte kan regelen of per ruimte kan kiezen om te verwarmen of te koelen is gewenst.

Op de bovenste verdieping is een zonnewering gewenst. Niet enkel voor de opwarming van de ruimte maar de zon hindert ook de werknemers.

In ruimtes waar er meerdere werknemers samen zitten zoals de verkoopafdeling wordt er gevraagd naar afgezonderde ruimtes aangezien er veel storend geluid is van collega's die in gesprek zijn.

4.8 Besluit

Uit de resultaten van de comfortenquête kan men besluiten dat er een grote ontevredenheid is over het thermisch comfort en de luchtkwaliteit. Wanneer de resultaten specifiek per verdieping worden bekeken kan er geconcludeerd worden dat de comfortproblemen zich voornamelijk op verdieping 0 en 2 bevinden. Op verdieping 1 wordt er neutraal gereageerd op de verschillende onderwerpen.

In de bijlage: cd-rom Comfortonderzoek – Comfortenquête resultaten.xls zijn alle resultaten toegevoegd.

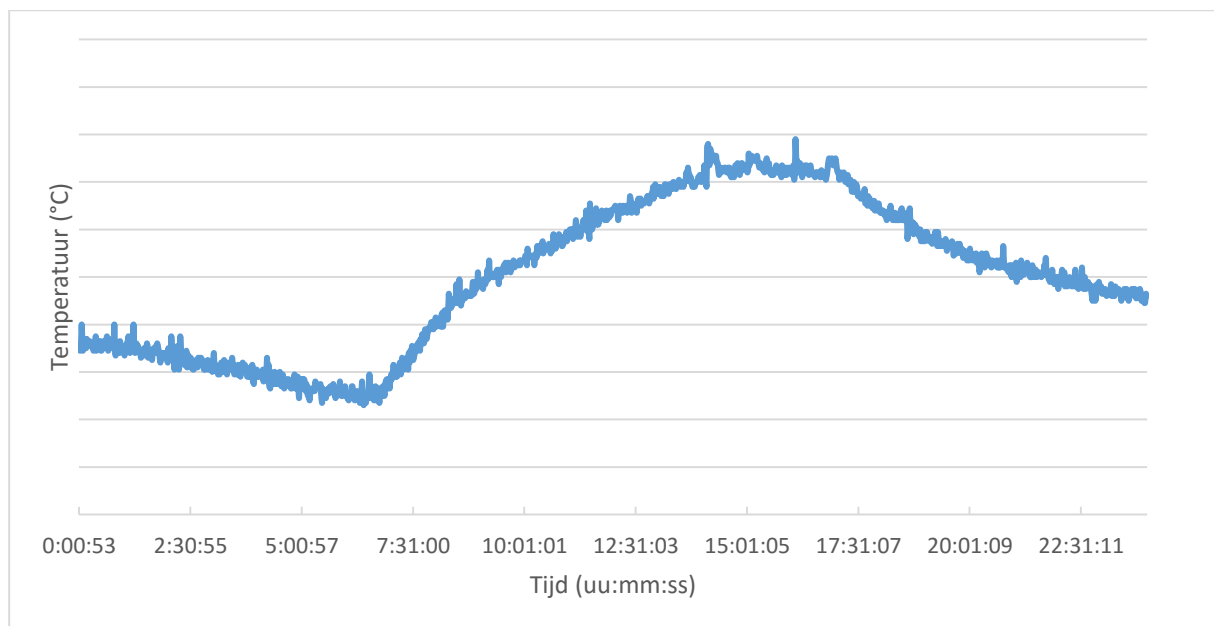
5 Oorzaken van de comfortproblemen

In dit hoofdstuk worden de klachten uit de comfortenquête geanalyseerd en gelinkt met een kenmerk van het gebouw en/of de HVAC-installatie. Voor de argumentatie van problemen zoals het thermisch comfort en luchtkwaliteit zijn er metingen van de temperatuur en CO₂-concentratie uitgevoerd met behulp van de Jaga eCab module [22]. Alle gemeten resultaten zijn bijgevoegd in de bijlage: cd-rom - Temperatuur en CO₂ metingen.

5.1 Thermisch comfort

Bij het thermisch comfort is de voornaamste klacht de regeling van de temperatuur. Zoals aangegeven in hoofdstuk 3.1.5 Afgiftesysteem is het niet mogelijk om de temperatuur in de ruimte accuraat te regelen. Er is geen of een verouderde en slecht geplaatste temperatuursensor in de ruimte aanwezig die de warmteafgifte van de convectoren regelt.

Vervolgens zijn er klachten dat de temperatuur in de werkruimtes niet constant is. Zo varieert de temperatuur in de ruimte in de winter van te koud in de ochtend en te warm in de namiddag. Met behulp van enkele metingen van de temperatuur zijn deze klachten bevestigd. Op figuur 37 is het verloop weergegeven van de temperatuur op de Verkoopafdeling op 23 november 2015.



Figuur 37: Temperatuurmeting Verkoopafdeling

Tijdens de nacht is de buitentemperatuur gezakt tot ongeveer -3°C. Op de figuur is te zien dat de binnentemperatuur is gezakt tot zo'n 15°C. De verwarming wordt om 7u 's morgens aangeschakeld vanaf dan begint de temperatuur te stijgen. Tegen 10u wordt er een behaaglijke temperatuur bereikt van 21°C. De temperatuur blijft vervolgens stijgen tot ongeveer 25°C in de namiddag. Dit wordt vervolgens als te warm ervaren. Wanneer de werkdag gedaan is, zakt de temperatuur.

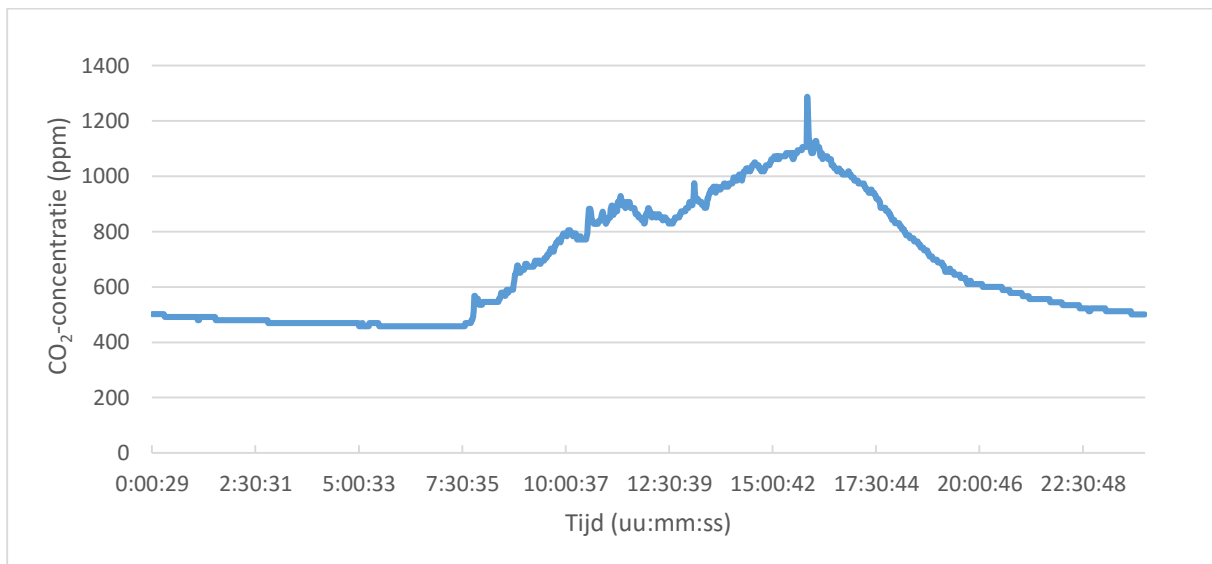
Door de gebrekkige temperatuurregeling en handmatige bediening van de verwarmingsinstallatie is het ook niet mogelijk om met nachtverlaging te werken waardoor er een minimale temperatuur in de

ruimte kan ingesteld worden. De opwarmtijd in de ruimte is vervolgens lang en door de late start van de verwarming is er pas rond 10u een aangename temperatuur.

Naast deze problemen zijn er nog klachten over de omschakeling van verwarming naar koeling. Het gehele leidingnetwerk is tweepijps uitgevoerd. Hierbij is het enkel mogelijk om te verwarmen of te koelen maar niet tegelijk. In sommige ruimtes is er vraag naar koeling terwijl er andere ruimtes zijn waar verwarming gewenst is. De omschakeling tussen verwarming en koeling gebeurt echter ook handmatig. Afhankelijk van het seizoen en de weersomstandigheden wordt er omgeschakeld.

5.2 Luchtkwaliteit

Bij de luchtkwaliteit is de meest voorkomende klacht een benauwde of muffe geur. Dit kan men linken met het gebrek aan ventilatie op verdieping 0 en 1. Figuur 38 geeft het verloop van de CO₂-concentratie in de werkruimte SAP1 weer. De meting is uitgevoerd op 3 december 2015.

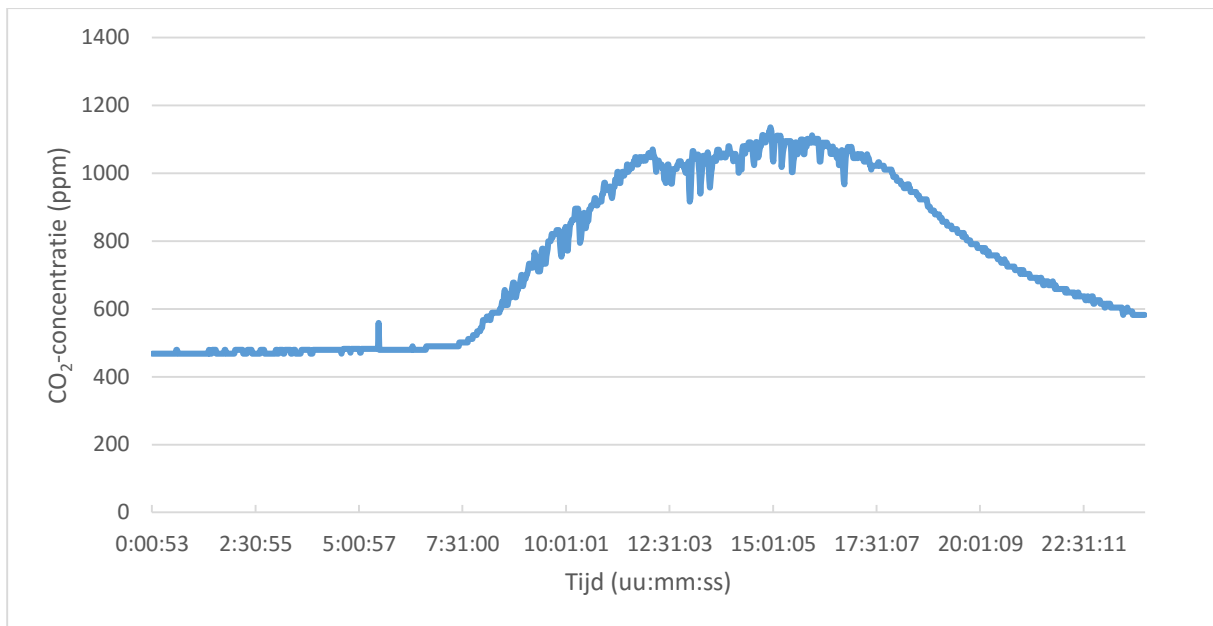


Figuur 38: Verloop van de CO₂-concentratie in SAP1

Er is te zien dat de CO₂-concentratie begint te stijgen vanaf 8u wanneer de werkdag begint. Tijdens de voormiddag is de concentratie behaaglijk, maar in de namiddag wordt een CO₂-concentratie van 1000 ppm bereikt. 1000 ppm is de drempel om te ventileren.

Op verdieping 2 is er wel een ventilatie voorzien. Zoals beschreven in hoofdstuk 3.2 Ventilatie is er een toevoer van verse lucht geïnstalleerd met behulp van dakventilatoren. Deze worden manueel bediend met behulp van potentiometers. Er is dus geen controle over de luchtkwaliteit in de binnenomgeving en de ventilatie.

In de Verkoopafdeling zijn er klachten van een onaangename geur van de keuken door het ventilatiesysteem. Op figuur 19 in sectie 3.2 Ventilatie is dit probleem weergegeven. De afzuiging van de keuken is namelijk in de buurt geplaatst van de toevoer van verse lucht voor de verkoopafdeling. Door dit probleem wordt de ventilatie niet gebruikt. Het gevolg hiervan is dat de CO₂-concentratie in de ruimte boven de drempel van 1000 ppm komt zoals weergegeven in figuur 39.



Figuur 39: Verloop CO₂-concentratie in Verkoop

Deze meting gebeurde op 23 november 2015. Er is te zien dat de CO₂-concentratie in de namiddag tussen 1000 en 1100 ppm bedraagt.

Tijdens een rondgang op het dak van het bureelgebouw is er een belangrijk en gevaarlijk probleem opgemerkt zoals weergegeven op figuur 40.



Figuur 40: Probleem met ventilatie in MRD6

Op de figuur is te zien dat de schoorsteen van de verwarmingsketel uitmondt op het dak van het bureelgebouw aan de werkruimte MRD6. De aanvoer van verse lucht is voorzien in een straal van één meter rond de schoorsteen. Hierdoor is het mogelijk dat er rookgassen via het ventilatiesysteem in de ruimtes komen wat gevaarlijk is voor de werknemers.

5.3 Visueel comfort

Over het visueel comfort zijn er minder klachten in vergelijking met het thermisch comfort of de luchtkwaliteit. De grootste klacht is het te veel zonlicht dat de ruimte binnenkomt voornamelijk op verdieping 2. Hier is een grote glaswand en enkel aan de linkerzijgevel (zuidkant) van het gebouw is zonnewering geïnstalleerd. Aan de voorgevel is geen zonnewering geïnstalleerd. Deze is georiënteerd naar de noordwest richting. In de namiddag en avond is de zon hierop gericht, dit zorgt niet enkel voor visuele problemen maar ook voor een opwarming van de ruimte.

5.4 Akoestisch comfort

Bij het akoestisch comfort is men in het algemeen neutraal en zijn er geen klachten in verband met het gebouw of de HVAC-installatie. De klachten die er zijn over het akoestisch comfort komen van werknemers die in grote ruimtes werken waar meerdere personen aanwezig zijn. Hier zijn er klachten van geluid afkomstig van collega's die in vergadering of in gesprek zijn.

5.5 Besluit

Uit sectie 4.7 Resultaten van de comfortenquête werd er besloten dat de grootste ontevredenheden het thermisch comfort en de luchtkwaliteit zijn. Uit de oorzaken van de klachten en comfortproblemen met het thermisch comfort wordt er geconcludeerd dat deze problemen voornamelijk veroorzaakt worden door de temperatuurregeling in de ruimtes en de niet-vraaggestuurde regeling van de ketel. Voor de luchtkwaliteit situeren de problemen zich bij het gebrek aan ventilatie op verdieping 0 en 1. Op verdieping 2 is er wel ventilatie geïnstalleerd maar de sturing ervan en de plaatsing van de toevoer van verse lucht zorgen voor problemen.

De prioriteiten van de masterproef worden vervolgens gelegd op ten eerste het thermisch comfort met betrekking tot de verwarmings- en koelinstallatie. Het tweede onderwerp is de luchtkwaliteit. Hier wordt er gefocust op de ventilatie in het bureelgebouw.

6 Oplossingen en alternatieven

In dit hoofdstuk worden er oplossingen en alternatieven voorgesteld om de problemen in verband met het gebouw en de HVAC-installatie op te lossen of ten minste te minimaliseren. In hoofdstuk 5: Oorzaken van de comfortproblemen is er besloten dat de prioriteit de HVAC-installatie is. Hierdoor zullen er voornamelijk oplossingen en alternatieven worden voorgesteld om het thermisch comfort en de luchtkwaliteit te verhogen.

6.1 Gebouwschil

De eerste stap in een renovatie van een gebouw is de gebouwschil. De warmteverliezen ten gevolge van transmissie moeten gereduceerd worden om de benodigde verwarmings- en koelvermogens te beperken. Dit kan doormiddel van de spouw in de gevel te isoleren indien er nog geen isolatie aanwezig is of het bestaande isolatiemateriaal te vervangen door één met betere isolatie eigenschappen. Volgens [23] is het mogelijk dat de na-isolatie van een luchtspouw kan leiden dat de warmtedoorgangscoefficiënt van de ongeïsoleerde spouwmuur kan afnemen met een factor van 2 tot 3. De spouwmuur in de gevel van het bureelgebouw is reeds geïsoleerd. Hierdoor zal het effect van de isolatie op de warmteverliezen lager zijn. Andere manieren om de transmissieverliezen van het gebouw te reduceren is het isoleren van de vloer en het dak. Ook het vervangen van de ramen door hoogrendementsglas heeft een positief effect op de warmteverliezen. Door het tijdsgebrek van de masterproef en de prioriteit op de HVAC-installatie wordt de gebouwschil niet tot in detail bekeken.

6.2 Centrale verwarming en koeling

In deze sectie worden er oplossingen en alternatieven voorgesteld voor de centrale verwarming en koeling in het gebouw. Verschillende onderwerpen zoals de warmtebron, de koudebron, de systeemtopologie, het afgiftesysteem en de regeling en sturing worden hier besproken.

6.2.1 Warmtebron

Voor de warmtebron is er naar verschillende alternatieven gezocht om de bestaande ketel te vervangen die in sectie 3.1.2 Warmtebron is besproken.

6.2.1.1 Gascondensatieketel

Een eerste alternatief is het vervangen van de bestaande verwarmingsketel door een gascondensatieketel of meerdere gascondensatieketels gestuurd in cascade. Bij een gascondensatie ketel gaat men via een warmtewisselaar de rookgassen afkoelen. Tijdens de verbranding van aardgas of gasolie wordt er waterdamp gevormd in de rookgassen. Door de temperatuur van de rookgassen te

laten dalen tot onder het dauwpunt zal een deel van het waterdamp condenseren. Tijdens dit condensatieproces komt er latente warmte vrij die wordt teruggewonnen door de verwarmingsketel. Om de rookgassen af te koelen gebruikt men het retourwater van de centrale verwarmingsinstallatie. De hoeveelheid waterdamp dat gecondenseerd kan worden is afhankelijk van het verschil tussen het dauwpunt van de rookgassen en de temperatuur van het retourwater. Hoe lager deze temperatuur, hoe meer waterdamp er wordt gecondenseerd en hoe meer energie er wordt teruggewonnen. Volgens [24] bedraagt het dauwpunt van een gascondensatieketel $54,5^{\circ}\text{C}$. Voor de condensatie is het dus belangrijk dat de temperatuur van het retourwater lager is dan deze $54,5^{\circ}\text{C}$. Warmtewisselaars werken volgens een temperatuurverschil, het minimale temperatuurverschil bedraagt 5°C . De temperatuur van het retourwater mag dus maximaal 50°C bedragen om condensatie te garanderen. Door dit gegeven heeft men bij gascondensatieketels de voorkeur om op een laag waterregime te werken met een typische waarde van $50/30^{\circ}\text{C}$. 50°C is hierbij de temperatuur van het aanvoerwater naar het afgiftesysteem en 30°C de temperatuur van het retourwater van het afgiftesysteem [24].

De voordelen van de gascondensatieketel zijn:

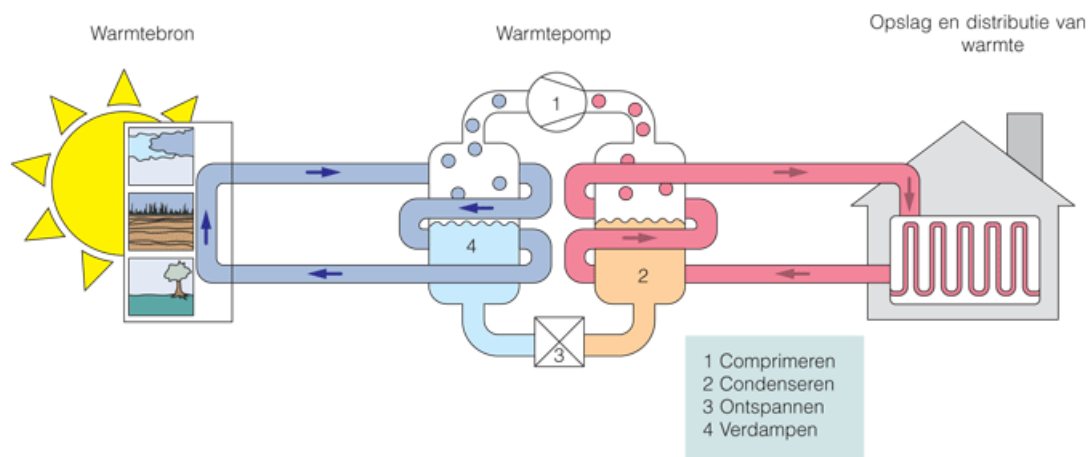
- het rendement kan tot 110% bedragen gerekend met de onderste verbrandingswaarde;
- het rendement is hoger t.o.v. een klassieke verwarmingsketel zelfs bij niet-condensatie;
- het verbruik is lager door de hogere efficiëntie;
- de bedrijfszekerheid van de installatie is hoger bij een cascade sturing.

De nadelen van de gascondensatieketel zijn:

- het is geen hernieuwbare bron;
- de opwarming is trager door de lagere temperaturen;
- het afgiftesysteem moet gedimensioneerd zijn op lage temperaturen.

6.2.1.2 Warmtepomp

Een tweede alternatief is een warmtepomp. Een warmtepomp onttrekt warmte uit een duurzame bron (lucht, water of grond) op een lage temperatuur en geeft deze warmte af aan een hogere temperatuur aan het afgiftesysteem. Figuur 41 [25] geeft het werkingsprincipe van de warmtepomp weer.



Figuur 41: Werkingsprincipe van een warmtepomp [25]

Het transport van deze warmte wordt gerealiseerd door het koudemiddel in de warmtepomp. Het punt 4 is de verdamper van de warmtepomp. Hier neemt het koudemiddel warmte op van de bron en gaat deze over van een vloeibare fase naar een gasvormige fase. Vervolgens gaat het koudemiddel naar punt 1, de compressor. De compressor zorgt voor een drukverhoging van het koudemiddel wat resulteert in een temperatuurstijging. De compressor is het enige component in de warmtepomp dat energie verbruikt namelijk, elektriciteit. Daarna komt het koudemiddel in de condensor, punt 2. Hier geeft het koudemiddel warmte af aan het afgiftesysteem en gaat over van een gasvormige fase naar een vloeibare fase. Het punt 3 is het expansieventiel. Dit expansieventiel zorgt voor de drukverlaging van het koudemiddel waarna deze terug kan verdampen in de verdamper.

Bij een warmtepomp wordt het rendement uitgedrukt onder de vorm van COP, coëfficiënt of performance. Dit is de verhouding van de afgeleverde warmte tot de verbruikte elektriciteit van de compressor. Een belangrijk gegeven van de warmtepomp is dat deze meer warmte produceert dan elektriciteit verbruikt waardoor de COP boven 1 ligt. Courante waarden voor de COP bedragen drie tot zes afhankelijk van de soort warmtebron. Er zijn drie soorten warmtebronnen met elk zijn voor- en nadelen, namelijk lucht, water en grond.

Een warmtepomp met lucht als warmtebron wordt een lucht/water-warmtepomp genoemd. Het voordeel van lucht als bron is dat de installatie goedkoper is. Het nadeel is echter dat de COP afhankelijk is aan de buitentemperatuur. Bij lage buitentemperaturen daalt de COP van de warmtepomp.

Het tweede type is de water/water-warmtepomp. Bij het gebruik van water als bron, voert men twee dieptebooringen uit waarbij men grondwater uit de bodem naar boven pompt, door de warmtewisselaar van de warmtepomp laat stromen en vervolgens terug in de bodem pompt. Het voordeel hiervan is dat de grondwatertemperatuur constanter is dan de buitenlucht en er dus een constantere COP is. Het grondwater is ook warmer dan de buitenlucht tijdens de winter waardoor de COP hoger ligt. Een nadeel is dat de diepteboring afhangt van het niveau van het grondwater.

Het laatste type is de bodem/water-warmtepomp. Hierbij worden er leidingen horizontaal of verticaal in de grond gelegd. Door deze leiding vloeit er een mengsel van glycol en water dat warmte zal uitwisselen met de aarde. Het voordeel van deze bron is dat de temperatuur van de grond constanter is dan buitenlucht. Het nadeel is dan wel de kostprijs van de dieptebooringen, er zijn ook vergunningen nodig en een bodemanalyse voordat men dit kan uitvoeren.

De voordelen van een warmtepomp zijn:

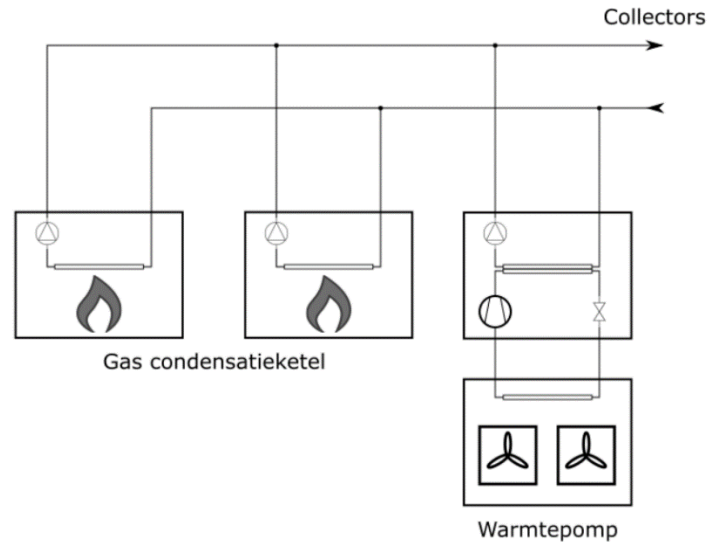
- de hoge COP;
- een lager verbruik door de hoge efficiëntie;
- het gebruik van hernieuwbare bronnen;
- de mogelijkheid om zowel te koelen als te verwarmen;
- de mogelijkheid om passief koelen toe te passen bij water of grond als bron.

De nadelen van een warmtepomp zijn:

- de aanvoertemperatuur voor het afgiftesysteem is maximaal 55°C;
- de investering is groter dan een klassieke gas- of gasolieketel.

6.2.1.3 Hybride warmtegenerator

De hybride warmtegenerator is een combinatie van de voorgaande oplossingen. Er wordt een warmtepomp parallel geplaatst met één of meerdere gascondensatieketels zoals weergegeven op figuur 42.



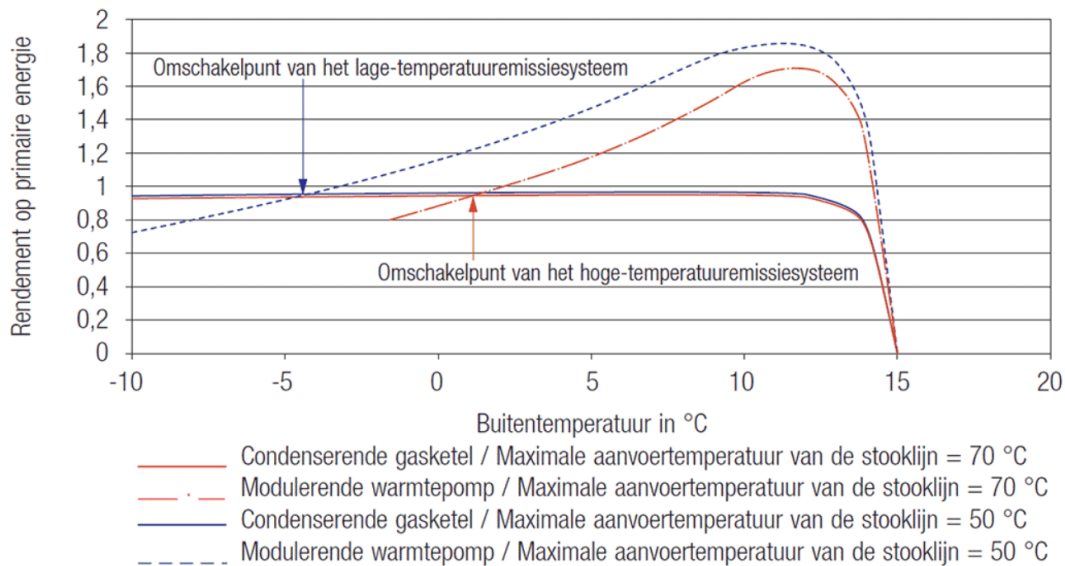
Figuur 42: Configuratie van een hybride generator

Deze configuratie wordt voornamelijk toegepast met lucht/water warmtepompen omdat het rendement afhankelijk is van de buitentemperatuur. Zoals besproken bij 6.2.1.2 Warmtepomp wordt er bij warmtepompen de COP gebruikt om het rendement uit te drukken. Om dit rendement te vergelijken met dat van een gascondensatieketel wordt het elektriciteitsverbruik omgezet naar de primaire energie, deze factor wordt ook Primary Energy Ratio ofwel PER-factor genoemd. Volgens [26] is er 2,5 kWh primaire energie nodig om 1 kWh elektrische energie op te wekken. Indien de warmtepomp een COP van 3 heeft, wordt de PER-factor met de volgende formule bepaald:

$$PER = \frac{COP_{warmtepomp}}{Primaire\ energie_{elektriciteit}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Aan de hand van de voorgaande gegevens heeft de warmtepomp met een COP van 3, een PER-factor van 1,2 of 120%.

Op figuur 43 [26] is het verloop van het rendement van een lucht/water warmtepomp en een gascondensatieketel weergegeven in functie van de buitentemperatuur.



Figuur 43: Grafiek met de vergelijking van het rendement van de warmtepomp met de gascondensatieketel [26]

Er zijn hierbij twee grafieken getekend, één bij een aanvoertemperatuur van 70°C en één bij een aanvoertemperatuur van 50°C. Het punt waar de grafiek van de warmtepomp en de gascondensatieketel elkaar snijden is het omschakelpunt.

De voordelen van een hybride generator zijn:

- De combinatie van de voordelen van een warmtepomp en dat van een gascondensatieketel;
- Er wordt altijd gewerkt met het toestel met het hoogste rendement.

De nadelen van een hybride generator zijn:

- Beide toestellen moeten gedimensioneerd zijn op het afgiftesysteem;
- Hogere investeringskost door aankoop van de gascondensatieketel en de warmtepomp.

6.2.2 Koudebron

Voor de koeling is het assortiment van verschillende methodes en toestellen echter kleiner dan voor de verwarming. Er zijn twee verschillende types namelijk actief en passief koelen.

Bij actief koelen wordt er gebruik gemaakt van een koudemiddel cyclus zoals bij de warmtepomp. De werking is exact hetzelfde als de werking van een warmtepomp zoals beschreven in 6.2.1.2

Warmtepomp. Het verschil is echter dat de verdampers in contact staat met het afgiftesysteem en de condensor met de buitenlucht. Zo wordt er warmte op een lage temperatuur uit het afgiftesysteem onttrokken en aan een hoge temperatuur afgegeven aan de buitenomgeving. Het resultaat hiervan is een temperatuurdaling in de binnenomgeving ofwel koeling.

Bij passief koelen of natuurlijk koelen wordt de warmte van de binnenomgeving verplaatst naar de aarde. Dit principe is enkel mogelijk wanneer er een leidingsysteem in de bodem wordt geïnstalleerd zoals bij de bodem/water warmtepomp. Volgens [27] heeft de bodem een constante temperatuur van 10 tot 12 °C op een diepte van 18 meter. In de zomer wanneer er koeling gevraagd wordt in de binnenomgeving is het vervolgens mogelijk om deze warme temperatuur via het leidingsysteem te verplaatsen naar de aarde wat resulteert in een temperatuurdaling in de binnenomgeving. Het voordeel

van dit passief koelen is dat enkel de pomp die het water in het leidingsysteem circuleert energie verbruikt. Daartegenover is het koelvermogen beperkt waardoor passief koelen een zeer grote investering vraagt voor het leidingnetwerk in de bodem en moeten de warmteverliezen in de woning zeer klein zijn. Door dit nadeel wordt dit in mindere mate toegepast voor niet-residentiële toepassingen.

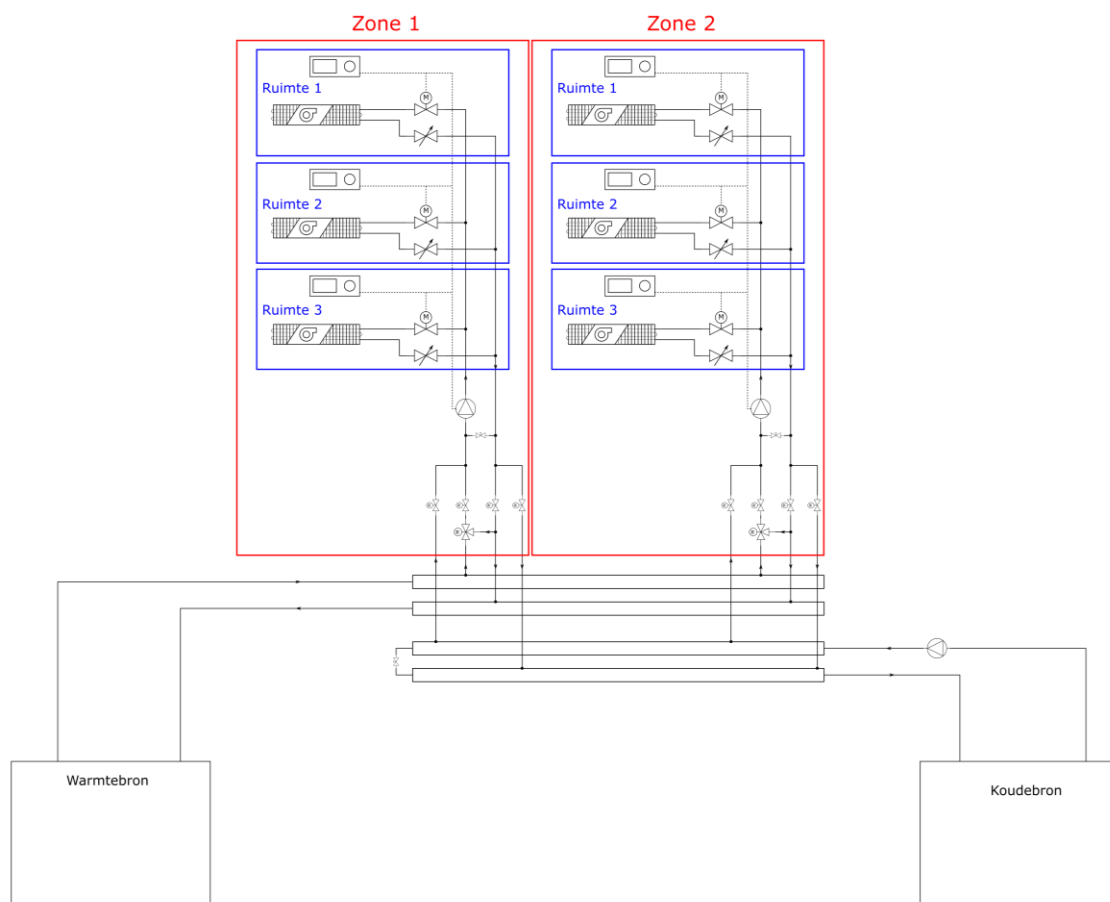
De huidige koelinstallatie is een actief koelsysteem. Het gebruikte koudemiddel in de toestellen is R22. Dit is een freongas dat sinds 2015 verboden is. Er wordt hierbij aangeraden om de koelinstallatie te vervangen door een nieuwe actieve koelinstallatie.

6.2.3 Systeemtopologie

Voor de systeemtopologie ofwel het leidingnetwerk worden er verschillende principes geanalyseerd en voorgesteld. In 3.1.4 Systeemtopologie is de huidige situatie beschreven. Met de volgende voorstellen wordt er getracht om de huidige problemen met het verwarmen en koelen op hetzelfde moment in verschillende ruimtes weg te werken.

6.2.3.1 Tweepijps zonesysteem

Het eerste voorstel is een tweepijpsysteem met verschillende zones zoals weergegeven op figuur 44.



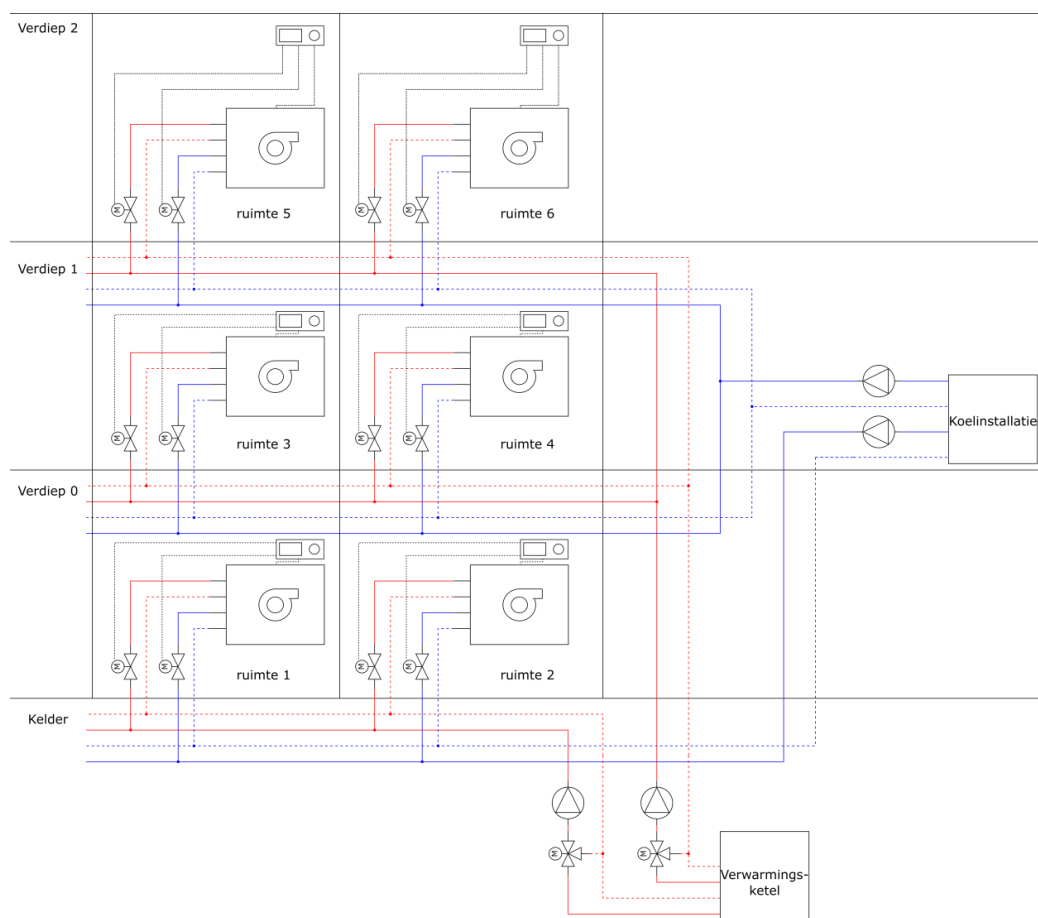
Figuur 44: Principe van het tweepijps zonesysteem

Er worden zones of hoofdkringen geselecteerd aan de hand van de oriëntatie van de ruimtes in het gebouw en volgens de functies van de ruimtes. Deze hoofdkringen worden aangesloten op vier collectors. Twee voor de verwarming en twee voor de koeling. Het is hierbij mogelijk om een hoofdkring te voeden met warm of met koud water. Binnen deze hoofdkringen worden er aftakkingen gemaakt naar de verschillende ruimtes. Met behulp van zoneventielen, die geplaatst zijn per aftakking naar een ruimte, worden de warmtewisselaars gevoed met het warm of koud water.

Met deze configuratie kan er per hoofdkring de gewenste watertemperatuur ingesteld worden alsook een keuze gemaakt worden tussen verwarmen en koelen. Hierbij dient er een goede keuze gemaakt te worden van de ruimtes die aan een gezamenlijke hoofdkring gekoppeld worden. Deze keuze is afhankelijk van de oriëntatie van de ruimtes in het gebouw en van de functie ervan. De regeling van de installatie zal vervolgens de gewenste watertemperatuur instellen afhankelijk van de input van de gebruikers op de hoofdkring, de actuele ruimtetemperatuur en de gemeten buitentemperatuur volgens de oriëntatie van ruimtes. De gemeten buitentemperatuur en actuele ruimtetemperatuur primeren waardoor er minder rekening wordt gehouden met de input van de gebruikers. Met het gebruik van deze regeling kan de verwarming en koeling in de ruimtes op een energie efficiënte manier geregeld worden maar het comfort van de gebruikers in de ruimtes is lager omdat zij niet de volledige controle hebben over de installatie.

6.2.3.2 Vierpijpssysteem

Het tweede voorstel is een vierpijpssysteem. Figuur 45 toont het principe van het vierpijpssysteem.



Figuur 45: Principe van een vierpijpssysteem

Naar de verschillende ruimtes vertrekken er vier leidingen, twee voor de verwarming en twee voor de koeling. Per ruimte worden er aftakkingen gemaakt op deze leidingen naar de radiatoren of convectoren. Er zijn twee soorten radiatoren die men in het afgiftesysteem kan installeren namelijk, één radiator met een vierpijpsaansluiting of twee radiatoren met een tweepijpsaansluiting. Er worden twee gemotoriseerde kleppen geïnstalleerd voor de radiator die gestuurd worden door de thermostaat in de ruimte. Met deze thermostaat kan men vervolgens de gewenste temperatuur instellen en de keuze maken tussen verwarmen of koelen.

Met deze uitvoering is er zowel warm water als koud water ter beschikking voor de ruimtes voor respectievelijk de verwarming en koeling. Hierdoor is er een directe omschakeling mogelijk tussen het verwarmen en het koelen in de ruimte. De gebruikers in de ruimte kunnen vervolgens zelf de keuze maken tussen verwarmen en koeling. Er dient echter wel een controle te zijn over deze keuze om energieverpillingen door overbodige verwarming of koeling te voorkomen. Zo zal er geen noodzaak zijn aan koeling gedurende de winterperiode of verwarming in de zomerperiode. Met deze uitvoering zal het comfort van de gebruiker hoger zijn in vergelijking met het tweepijpszonesysteem omdat de input van de gebruiker primeert. De energie efficiëntie zal echter kleiner zijn omdat er problemen kunnen ontstaan met overbodige koeling of verwarming.

6.2.4 Afgiftesysteem

Afhankelijk van de gekozen oplossing en de berekening van de benodigde verwarm- en koelvermogens kunnen de huidige warmtewisselaars (convectoren en ventilo-convectoren) behouden worden. Tijdens een rondgang door het bureelgebouw is er echter opgemerkt dat er warmtewisselaars zijn die aan het roesten zijn. Het is aangeraden om deze toestellen te vervangen.

6.2.5 Regeling en sturing

Voor de regeling en sturing is er de focus gelegd op de temperatuurregeling in de ruimtes. Een eerste voorstel is om aan/uit thermostaten in de ruimte te installeren. Deze thermostaten sturen vervolgens de warmtewisselaars in de ruimte afhankelijk van de input van de bezetter(s).

De voordelen van een aan/uit thermostaat zijn:

- de mogelijkheid voor een temperatuurregeling in de ruimte wat nu niet het geval is;
- de mogelijkheid tot nachtverlaging, het probleem met zeer grote temperatuurschommelingen zoals besproken worden weggewerkt;
- de mogelijkheid tot timerfunctie waarbij de gewenste temperatuur volgens tijdsprogramma kan ingesteld worden.

De nadelen van een aan/uit thermostaat zijn:

- zonder een timerfunctie is het een manuele bediening waarbij er problemen kunnen ontstaan met onnodige verwarming of koeling;
- in het bureelgebouw is er geen globaal overzicht over de verschillende thermostaten;
- er is een veiligheidsfunctie nodig in ruimtes met een grote bezetting om conflicten te voorkomen.

Het tweede voorstel is een gebouwbeheersysteem. Het is een computer gebaseerd systeem dat gebouw technische technieken zoals HVAC, verlichting, zonwering, alarm etc. beheert, controleert en monitort. Voor de verwarming in de ruimte worden er thermostaten geïnstalleerd die verbonden zijn met het gebouwbeheerssysteem dat de verwarming of koeling in de ruimte stuurt afhankelijk van de input van de gebruiker en de geprogrammeerde software.

De voordelen van een gebouwbeheersysteem zijn:

- alle voordelen van de aan/uit thermostaat;
- een volledige sturing van de HVAC-installatie van de bron tot en met het afgiftesysteem dat aanpasbaar is aan de noden van het gebouw;
- door de geautomatiseerde sturing kan er een energiebesparing gerealiseerd worden;
- dataverzameling om de verbruiken van verschillende toestellen in kaart te brengen;
- webbased bediening mogelijk.

De nadelen van een gebouwbeheersysteem zijn:

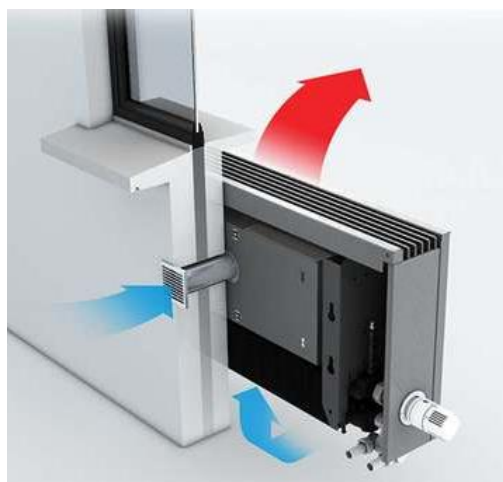
- de investering voor de installatie is hoog;
- het communicatieprotocol van verschillende systemen en toestellen kan verschillend zijn wat tot obstakels kan leiden.

6.3 Ventilatie

Voor de ventilatie in het gebouw worden er twee mogelijkheden voorgesteld. Het eerste is het decentraal Oxygen-systeem van Jaga en het tweede is centrale luchtbehandelingssysteem.

6.3.1 Decentraal Oxygen-systeem

Met het Oxygen-systeem van Jaga wordt er in de omkasting van de convector een Oxygen-toestellen geplaatst. Er wordt een muurboring naar buiten gemaakt voor de aanvoer van verse lucht zoals weergegeven op figuur 46 [22].

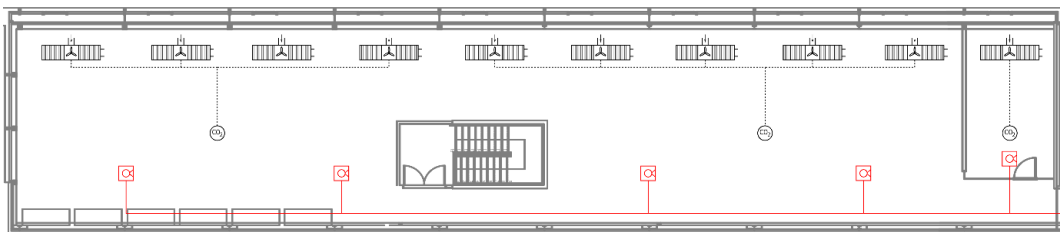


Figuur 46: Jaga Oxygen toestel [22]

De aangezogen verse lucht wordt gemengd met de lucht in de ruimte en vervolgens verwarmt door de convector. In het toestel is er een filter aanwezig die de vuile partikels uit de buitenlucht filtert. Het toestel kan gestuurd worden door een ingebouwde controller of via een gebouwbeheersysteem.

Het voordeel van het Oxygen-systeem is dat er geen kanalen moeten aangelegd worden voor de aanvoer van verse lucht. Er moet echter wel een afvoer van vuile lucht worden voorzien in de ruimtes. Hierbij dient er met een kanaalsysteem en extractieboxen gewerkt te worden.

Het nadeel is echter dat de Oxygen-toestellen aan de voorgevel van het bureelgebouw moeten geplaatst worden. De voorgevel van het bureelgebouw grenst aan de Verbindingslaan wat een druk bereden baan is. De filters in de Oxygen-toestellen worden hierdoor sneller vuil en dienen maandelijks zuiver gemaakt te worden. Volgens de berekening van het benodigd ventilatie debiet in bijlage: cd-rom - Gegevens huidige installatie, benodigd verwarm- en koelvermogen en ventilatiedebiet.xls moeten er ongeveer 88 Oxygen-toestellen worden geïnstalleerd in het bureelgebouw. Op figuur 47 is een voorbeeld gegeven van het Oxygen-systeem op de verkoopafdeling.

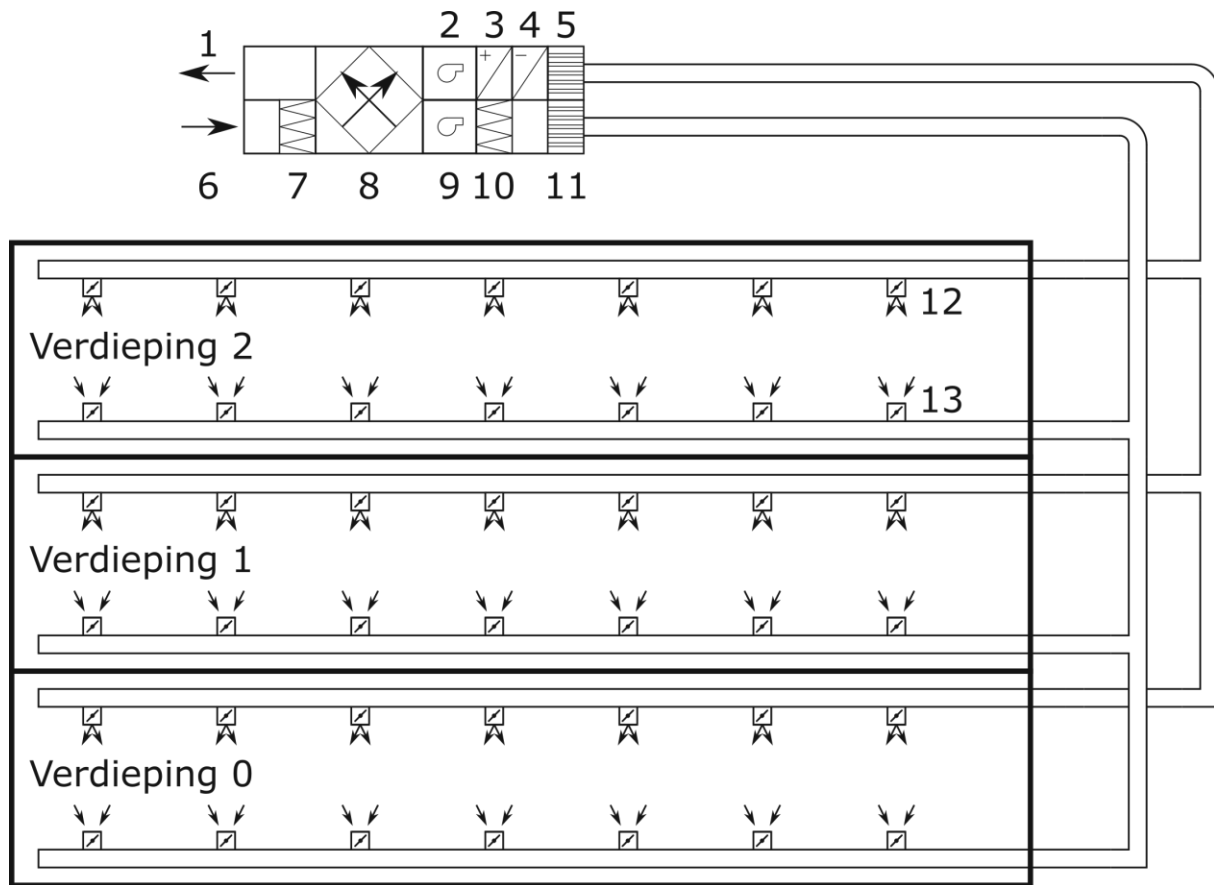


Figuur 47: Voorbeeld van het Oxygen-systeem op de verkoopafdeling

De Oxygen-toestellen worden in de omkasting van de convectoren aan de voorgevel geplaatst. Deze worden gestuurd met behulp van een CO₂-sensor die geplaatst is in de ruimte. Voor de afvoer van de vuile lucht zijn er extractiemonden in de ruimte voorzien die met kanalen centraal verbonden worden met één of meerdere extractieboxen.

6.3.2 Centraal luchtbehandelingssysteem

Het centraal luchtbehandelingssysteem werkt met behulp van één luchtbehandelingskast en een kanaalsysteem in het gebouw zoals weergegeven op figuur 48.



Figuur 48: Principe van het centraal luchtbehandelingssysteem

Legende

- | | |
|--|--|
| 1. Afblaat van vuile lucht | 8. Warmterecuperatie met warmtewisselaar of warmtewiel |
| 2. Ventilator voor toevoer van verse lucht | 9. Ventilator voor afvoer van vuile lucht |
| 3. Verwarmingsbatterij | 10. Filter van de afvoerlucht |
| 4. Koelbatterij | 11. Demper voor de afvoer van vuile lucht |
| 5. Demper voor de aanvoer van verse lucht | 12. Toevoerventiel met regelklep |
| 6. Aanzuig van verse lucht | 13. Afvoerventiel met regelklep |
| 7. Filter voor toevoerlucht | |

De luchtbehandelingskast is een toestel dat bestaat uit verschillende elementen om de lucht die wordt ingeblazen in de ruimtes te conditioneren. Op de figuur zijn de benodigde componenten getekend voor een luchtbehandelingskast. Op (6) wordt de verse buitenlucht aangezogen en vervolgens gefilterd in (7). Daarna zal de verse lucht warmte uitwisselen met de afgezogen lucht uit de ruimte (of omgekeerd) in de warmtewisselaar (8). Na de warmtewisselaar is er de ventilator die zorgt voor de verplaatsing van de lucht. Optioneel wordt er een verwarmingsbatterij (3) en/of een koelbatterij (4) geïnstalleerd om de lucht respectievelijk te verwarmen of te koelen. Er kan nog extra een bevochtiger en droger geïnstalleerd worden om de luchtvochtigheid van de lucht te regelen. Het laatste punt in de

luchtbehandelingskast voor de aanvoer van verse lucht is een geluidsdemper (5) om het geluid afkomstig van de ventilatoren te dempen. Voor de afvoer van de vuile lucht uit de ruimte zijn er dezelfde componenten geïnstalleerd in de luchtbehandelingskast als voor de aanvoer van verse lucht. Enkel de optionele verwarmings- en koelbatterij, bevochtiger en droger worden niet voorzien.

De verse lucht wordt van de luchtbehandelingskast verdeelt met behulp van kanalen naar de ruimtes. In deze ruimtes zijn er regelbare ventielen geplaatst om het debiet van de geventileerde ruimte te regelen. Voor de afvoer van de vuile lucht in de ruimtes zijn er ook kanalen geïnstalleerd in het gebouw met regelbare ventielen in de ruimtes.

6.3.3 Vergelijking van de systemen

In tabel 16 worden de twee beschreven systemen vergeleken met elkaar volgens verschillende onderwerpen.

Tabel 16: Vergelijking van het decentraal Oxygen-systeem met het centraal luchtbehandelingssysteem

| | Decentraal Oxygen-systeem | Centraal luchtbehandelingssysteem |
|---------------------|--|--|
| Regeling | CO ₂ (centraal of individueel) luchtvochtigheid | CO ₂ , luchtvochtigheid |
| Kanaalsysteem | | |
| Toevoerlucht | Nee | Ja |
| Afvoerlucht | Ja | Ja |
| Energie recuperatie | Met externe warmtepomp (extraverbruik) | Via warmtewisselaar of warmtewiel |
| Luchtbehandeling | | |
| Filters | G3 tot F9 | G3 tot F9, HEPA, ULPA, actief koelfilter |
| Verwarming | Via convector | Via verwarmingsbatterij |
| Koeling | Via convector | Via koelbatterij |
| Bevochtiging | Nee | Ja |
| Droging | Nee | Ja |

De debietregeling van beide systemen kan automatisch gebeuren met behulp van CO₂- en luchtvochtigheidssensoren geplaatst in de werkruimtes.

Voor de kanalen in de ruimtes biedt het decentraal Oxygen-systeem het voordeel dat er geen kanalen moet geïnstalleerd worden voor de toevoer van verse lucht. Bij het centraal luchtbehandelingssysteem is dit wel nodig waardoor er meer onderhoud nodig is.

Bij beide systemen is het mogelijk om energierecuperatie toe te passen. Hierbij wordt de toevoerlucht die gedurende een groot deel van het jaar kouder is dan de afvoerlucht verwarmd door de afvoerlucht uit te ruimtes. Het verschil tussen de twee systemen is dat er voor het decentraal Oxygen-systeem een externe warmtepomp dient geplaatst te worden, die een extra elektriciteitsverbruik heeft. Terwijl in het centraal luchtbehandelingssysteem een warmtewisselaar of warmtewiel geplaatst kan worden waar de twee luchtstromen elkaar kruisen en energie uitwisselen.

Voor het filteren van de buitenlucht biedt de luchtbehandelingskast het voordeel dat er naast de standaard filters met een filterklasse van G3 tot F7, nog extra HEPA en ULPA-filters geplaatst kunnen worden. Dit zijn filters met een hogere filterklasse dan de standaardwaardes. Zo bepaald de Europese norm NBN EN 1822-1 [28] dat een HEPA filter tot 99,995 % van de stofdeeltjes groter dan 0,3 μm moet filteren. Een ULPA-filter moet tot 99,999995 % van de stofdeeltjes groter van 0,3 μm filteren. Voor de standaard filters schrijft de norm NBN EN 779 [29] voor dat een G3-filter 80 % tot 90 % van de synthetische stofdeeltje moet filteren. Een F7-filter moet 80 % tot 90 % van de stofdeeltjes groter dan 0,4 μm filteren. Een extra filter die geplaatst kan worden is een actieve koolfilter. Dit is een filter die onaangename geuren zoals uitlaatgassen kan filteren.

Verder kan de toevoerlucht bij beide systemen verwarmt en gekoeld worden. Bij het Oxygen-systeem wordt dit gedaan met behulp van de convector die geïnstalleerd is onder het Oxygen-toestel. In de luchtbehandelingskast worden verwarmings- en/of koelbatterijen geïnstalleerd die respectievelijk de lucht verwarmen en/of koelen.

Het regelen van de luchtvochtigheid van de toevoerlucht is enkel mogelijk met de luchtbehandelingskast. Hierin kan er een bevochtiger en droger geplaatst worden.

6.4 Gekozen oplossingen

Zoals eerder vermeld is de hoofdprioriteit gelegd op de oplossing van de thermische comfort klachten. Hier is de keuze het aanpassen van de systeemtopologie naar het tweepijps zonesysteem dat gestuurd wordt met een gebouwbeheersysteem. Dit is gekozen omdat er per zone of hoofdkring de keuze gemaakt kan worden tussen verwarmen en koelen, en zodat de temperatuur van de verwarming kan aangepast worden aan de oriëntatie van de betrokken zone. Het comfort van de gebruiker zal stijgen omdat er een gewenste temperatuur in de ruimte kan ingesteld worden. De keuze tussen verwarmen en koelen gebeurt echter door de sturing in functie van de buitentemperatuur en de gewenste binnentemperatuur waardoor het comfort van de gebruiker lager is dan bij het vierpijpsysteem. Hierbij kan de gebruiker wel zelf een keuze maken tussen verwarmen en koelen maar de kans op onnodige verwarming of koeling vergroot wat nadelige invloeden heeft op de ecologie en economie van de installatie. Vervolgens wordt er aangeraden om alle afgiftetoestellen te vervangen door nieuwe ventilo-convectoren van Jaga namelijk de Brise of Briza toestellen. Ook voor de warmtebron wordt er aangeraden om deze te vervangen. Hierbij gaat de keuze naar een parallelschakeling van twee of meerdere modulerende gascondensatieketels die gestuurd worden in cascade. Ook voor de koude bron wordt er aangeraden om de koelinstallatie te vervangen door een nieuwe installatie.

Tijdens de voorstelling van de huidige comfortproblemen en de oorzaken hiervan zijn ook de mogelijke oplossingen voorgesteld aan de directie van Jaga. Hier is er besloten om een eerste prioriteit te leggen op de HVAC-installatie van de verkoopafdeling. Volgens de comfortenquête is er op de verkoopafdeling het grootste discomfort en zijn er de meeste klachten in verband met het thermisch comfort en de luchtkwaliteit. Hierdoor is er besloten om de verkoopafdeling te scheiden van de huidige centrale verwarmings- en koelinstallatie. Er is reeds een warmtepomp aangekocht door Jaga en er wordt geopteerd om deze te implementeren in de verkoopafdeling. Het leidingnetwerk dient vervolgens vernieuwd te worden en ook de afgiftetoestellen worden vervangen door ventilo-convectoren van Jaga. De sturing zal vervolgens gebeuren door de domotica van Qbus. Om de problemen met de luchtkwaliteit op te lossen is er besloten om de huidige ventilatie te vervangen. Het systeem waarmee gewerkt zal worden is het Oxygen systeem van Jaga. Hierbij worden er in de

voorgevel Oxygen toestellen geplaatst voor de aanvoer van verse lucht. In de bestaande dakdoorvoeren van de dakventilatoren worden er extractieboxen geplaatst voor de afvoer van de vuile lucht. Ook de ventilatie zal gestuurd worden met het Qbus systeem.

Een tweede prioriteit dat is gesteld tijdens de vergadering is de aanpassing van de systeemtopologie van de centrale verwarming- en koelinstallatie. Er is hier gekozen om het huidige tweepijpsysteem te vervangen door een vierpijpsysteem zodat de werknemers zelf de volledige keuze hebben over de verwarming en koeling in de ruimte. Het afgiftesysteem zal ook vervangen worden door nieuwe ventilo-convectoren van Jaga en de sturing van de verwarming en koeling dient te gebeuren met behulp van het Qbus systeem.

7 Het uitvoeringsplan

Van de twee gekozen oplossingen door Jaga worden er uitvoeringsplannen opgesteld. Deze worden in dit hoofdstuk besproken beginnend met een theoretische uitleg over het ontwerp en dimensionering van een centrale verwarmingsinstallatie. Vervolgens wordt het ontwerp van een ventilatiesysteem besproken met de betrekking tot de berekening van de nodige ventilatiedebieten. Afsluitend worden de twee uitvoeringsplannen besproken.

7.1 Ontwerp en dimensionering van centrale verwarmings- en koelinstallaties

In deze sectie wordt het ontwerp en dimensionering van de centrale verwarmings- en koelinstallatie besproken. Eerst wordt er besproken hoe de benodigde verwarmings- en koelvermogens van een ruimte worden bepaald. Vervolgens wordt het ontwerp en dimensionering van het leidingnet besproken waarbij de nodige leidingdiameters worden bepaald en de verliezen in de leidingen worden berekend. Daarna wordt er besproken hoe men de circulatiepomp selecteert voor de circulatie van het verwarmings- en koelwater. Afsluitend wordt er besproken hoe men het expansievat kan bepalen voor de installatie.

7.1.1 Bepalen van de benodigde verwarmingsvermogens

De norm NBN EN 12831 [30], [31] schrijft een rekenmethode voor om het minimaal benodigd verwarmingsvermogen in een te verwarmen ruimte te bepalen. Deze rekenmethode wordt weergegeven volgens:

$$\phi_{tot} = \phi_{transmissie} + \phi_{ventilatie} + \phi_{opwarming} [W] \quad (8)$$

Met:

- ϕ_{tot} : het totaal benodigd verwarmingsvermogen (W),
- $\phi_{transmissie}$: het warmteverlies ten gevolge van transmissie (W),
- $\phi_{ventilatie}$: het warmteverlies ten gevolgen van ventilatie (W),
- $\phi_{opwarming}$: het opwarmingsvermogen (W).

De transmissieverliezen en de ventilatieverliezen zijn al besproken in sectie 2.5 Warmteverliezen en worden verder niet behandeld. Het opwarmingsvermogen is een begrip dat is ingebracht ten gevolge van de sturing van een verwarmingsinstallatie. Zo zal een ruimte niet continu verwarmd worden om de gewenste temperatuur te handhaven. Wanneer er gedurende een lange periode van een aantal uren de ruimte niet zal bezet worden door personen wordt de temperatuur tijdelijk verlaagd om energieverpilling tegen te gaan. De ruimte zal afkoelen en wanneer men terug de gewenste temperatuur wil bereiken in de ruimte is er een extra opwarmingsvermogen benodigd. Dit opwarmingsvermogen is afhankelijk van het temperatuurverschil tussen de verlaagde temperatuur en de comforttemperatuur, de tijdsduur dat nodig is om de comforttemperatuur te bereiken en de thermische inertie van het gebouw [7].

Voor de berekening van dit opwarmingsvermogen is er een vereenvoudigde rekenmethode opgesteld die afhankelijk is van de vloeroppervlakte van de ruimte en een opwarmingsfactor. De berekening wordt weergegeven volgens:

$$\phi_{opwarming} = A_{vloer} \cdot f_{opwarming} [W] \quad (9)$$

Waarin:

- A_{vloer} : de vloeroppervlakte is van de ruimte (m²);
- $f_{opwarming}$: de opwarmingsfactor is van de ruimte (W/m²);

De opwarmingsfactor wordt vervolgens bepaald met behulp van tabel 17 [7].

Tabel 17: Waarden voor de opwarmingsfactor [7]

| Opwarming stijd (h) | Residentieel | | | niet-residentieel | | | | | | | | |
|------------------------|---|-----|-----|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Temperatuurdaling tijdens de verlaging (onderbreking) | | | | | | | | | | | |
| | 1 K | 2 K | 3 K | 2 K | | | 3 K | | | 4 K | | |
| | Gebouwsmassa | | | | | | | | | | | |
| | Hoog | | | laag | Gem. | Hoog | laag | Gem. | Hoog | laag | Gem. | Hoog |
| 1 | 11 | 22 | 45 | 18 | 23 | 25 | 27 | 30 | 27 | 36 | 27 | 31 |
| 2 | 6 | 11 | 22 | 9 | 16 | 22 | 18 | 20 | 23 | 22 | 24 | 25 |
| 3 | 4 | 9 | 16 | 6 | 13 | 18 | 11 | 16 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| 4 | 2 | 7 | 13 | 4 | 11 | 16 | 6 | 13 | 16 | 11 | 16 | 16 |

7.1.2 Bepalen van de benodigde koelvermogens

Voor het bepalen van de benodigde koelvermogens is er voor België geen norm of methode opgesteld. Hierdoor zal er rekening gehouden worden met de methode voor het bepalen van het benodigde verwarmingsvermogen. Dit was afhankelijk van de transmissie- en ventilatieverliezen en een opwarmingsvermogen. De koeling wordt echter gedimensioneerd voor een zomerscenario waarbij de buitentemperatuur hoger is dan de gewenste binnentemperatuur. Hierdoor zullen er warmtewinsten in plaats van warmteverliezen zijn zoals besproken in 2.6 Warmtewinsten. De warmtewinsten door de zon zijn echter buiten beschouwing gelaten. Naast deze externe warmtewinsten moet er ook rekening gehouden worden met de interne warmtewinsten. Voor de berekening van de benodigde koelvermogens wordt er vervolgens uit gegaan van de meest ongunstige situatie. Dit is wanneer de bezetting in de ruimtes maximaal is en alle elektrische apparaten gebruikt worden.

Het benodigde koelvermogen in de ruimte kan men vervolgens berekenen met:

$$\phi_{tot} = \phi_{transmissie} + \phi_{ventilatie} + \phi_{personen} + \phi_{apparaten} [W] \quad (10)$$

Met:

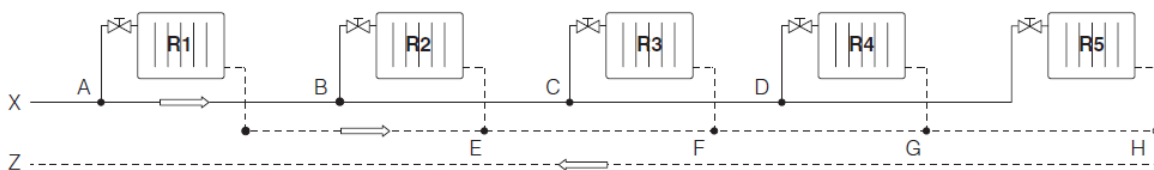
- ϕ_{tot} : het totaal benodigd koelvermogen (W),
- $\phi_{transmissie}$: de warmtewinsten ten gevolge van transmissie (W),
- $\phi_{ventilatie}$: de warmtewinsten ten gevolgen van ventilatie (W),
- $\phi_{personen}$: de warmteproductie van de personen (W),
- $\phi_{apparaten}$: de warmteproductie van de elektrische apparaten (W).

7.1.3 Ontwerp en dimensionering van het leidingnet

Nadat de benodigde verwarmings- en koelvermogens bepaald zijn, moet er door de ontwerper het afgiftesysteem en de warmte- en koudebron bepaald worden. De verwarmings- en koellichamen in het afgiftesysteem worden gekozen in functie van het benodigd verwarmings- en koelvermogen in de ruimte en het werkingsregime van de installatie. De warmte- en koudebron worden gekozen in functie van het totaalbenodigd vermogen van de installatie. Voor de warmtebron dient er echter nog rekening gehouden te worden met het sanitair warm water dat eventueel geproduceerd moet worden. Meer informatie over deze berekeningen zijn besproken in [7].

Wanneer het afgiftesysteem en de warmte- en koudebronnen bepaald zijn, dient de ontwerper deze te plaatsen op het plan zodat het leidingnet bepaald kan worden. Er zijn verschillende soorten ontwerpen van leidingnetten zoals: éénpijps-, tweepijps-, collector- en tichelmannsystemen. Doordat er in de masterproef met het tichelmannsysteem gewerkt zal worden, wordt deze verder uitgelegd.

Bij een traditioneel tweepijpsysteem waarbij er een lange rij radiatoren parallel geplaatst zijn, kan het verschil in drukverlies tussen de kortst bijzijnde en de verst geplaatste radiator zeer groot worden. De benodigde regelapparatuur kan dit drukverschil niet regelen zonder dat er mogelijke akoestische problemen ontstaan ter hoogte van het regelapparaat. In dergelijke gevallen gaat men met het tichelmannprincipe werken om deze problemen weg te werken. Op figuur 49 [7] is het principe van het tichelmannsysteem weergegeven.



Figuur 49: Principe van het tichelmannsysteem [7]

Door de vertrek- en de retourleidingen zo aan te sluiten is de lengte van de radiatorringen ongeveer gelijk voor iedere radiatorring. Het gevolg hiervan is dat de drukverliezen ongeveer gelijk gaan zijn per radiatorring. Het grote nadeel van dit systeem is dat de totale leidinglengte groot is met als gevolg dat de investeringskost groter is. Daar tegenover zal de nodige pompenergie om het water te circuleren lager zijn door de lagere drukverliezen en zal de investeringskost op lange termijn kunnen worden terugverdiend volgens [7].

7.1.3.1 Bepalen van de buisdiameters

Nadat het principe van het leidingsysteem is gekozen, kan er verder worden gegaan met het ontwerp ervan. Eens het leidingnet getekend is, kunnen de diameters bepaald worden. De diameters kunnen bepaald worden aan de hand van twee methoden. De eerste methode is constante watersnelheid waarbij er een constante watersnelheid wordt gedefinieerd die men in het hele leidingnetwerk wil handhaven. De tweede methode is constant lineair drukverlies. Met deze methode wordt er een lineair drukverlies opgesteld die men in ieder leidingstuk van de installatie wil hebben.

Voor de uitvoeringsplannen is er rekening gehouden dat de watersnelheid in de leidingen de maximale snelheid van 0,8 m/s niet overschrijdt. Indien de watersnelheid hoger is dan deze 0,8 m/s kunnen er namelijk akoestische problemen ontstaan die niet gewenst zijn. Verder is er rekening gehouden met de diameters van de leidingen. Er is geopteerd om deze zo lang mogelijk constant te houden zodat er geen grote fluctuaties zijn met diameterovergangen.

Afhankelijk van de gekozen methode kunnen de leidingdiameters bepaald worden voor iedere leidinglengte in de installatie. Dit is afhankelijk van het debiet dat vloeit door de leiding en het materiaal waaruit de leiding is vervaardigd. Vervolgens kan er met behulp van tabellen de leidingdiameters bepaald worden. Deze tabellen kan men terug vinden in de bijlage van [7].

7.1.3.2 Bepalen van de drukverliezen

De volgende stap na het ontwerpen van het leidingnet is het berekenen van de totale drukverliezen in elke radiatorkring. Voor de goede werking van de installatie is het belangrijk dat de totale drukverliezen in iedere radiatorkring gelijk zijn. Indien dit niet het geval is, is het mogelijk dat het debiet lager is in de radiatorringen waar het drukverlies hoger is. Dit heeft als gevolg dat de afgegeven warmte of koude lager is dan het benodigd vermogen. De totale drukverliezen (Δp_{tot}) in een radiatorkring bestaan uit een som van lineaire drukverliezen (Δp_l) en plaatselijke drukverliezen (Δp_z). De formule kan men als volgt beschrijven:

$$\Delta p_{tot} = \sum \Delta p_l + \sum \Delta p_z \quad (Pa) \quad (11)$$

De lineaire drukverliezen zijn verliezen ten gevolge van de stroming van het water doorheen een buislengte. Er ontstaat wrijving tussen het stromend water en de binnenwand van de buis waardoor er drukverliezen ontstaan. Het lineaire drukverlies van een buislengte berekent men volgens:

$$\Delta p_l = R \cdot L \quad (Pa) \quad (12)$$

Met:

- R: het lineaire drukverlies per lengte-eenheid (Pa/m);
- L: de lengte van de buislengte (m).

Hierbij kan het lineaire drukverlies per lengte-eenheid berekend worden maar in de praktijk wordt deze bepaald met behulp van tabellen zoals weergegeven in de bijlage van [7].

De plaatselijke drukverliezen worden gedefinieerd als verliezen ten gevolge van een weerstand die ontstaat wanneer het stromend water van stroomrichting verandert en/of een snelheidsverandering ondervindt. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door:

- bochten, diameterovergangen en aftakkingen in het leidingnet;
- hulpstukken zoals collectoren, afsluit-, meng- en regelkranen;
- toestellen zoals afgiftelichamen, warmte- en koudebronnen en batterijen.

De plaatselijke drukverliezen kan men berekenen volgens:

$$\Delta p_z = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (Pa) \quad (13)$$

Met:

- ζ : de plaatselijke drukverliescoëfficiënt (-);
- ρ : het soortelijk gewicht van het fluïdum (kg/m^3);
- v : de stroomsnelheid van het fluïdum (m/s).

Het soortelijk gewicht van het fluïdum is een kenmerk van het gebruikte fluïdum en de stroomsnelheid is gekend na de berekening van de debieten en leidingdiameters. De plaatselijke verliesdrukcoëfficiënt is de grootte die nog bepaald moet worden. Voor toestellen en hulpstukken wordt deze coëfficiënt proefondervindelijk bepaald door de fabrikant. Via een tabel of grafiek kan de ontwerper vervolgens de drukverliescoëfficiënt aflezen. Voor bochten, aftakkingen en diameterovergangen zijn er tabellen opgesteld met richtwaarden voor de plaatselijke drukverliescoëfficiënt. Deze zijn weergegeven in de bijlage van [7].

7.1.3.3 Regelen van de radiatorkringen

Met behulp van de voorgaande berekeningen is het mogelijk om het totale drukverlies van iedere radiatorkring in de installatie te bepalen. De radiatorkring waarbij het totale drukverlies het grootst is, wordt gedefinieerd als de meest ongunstige radiatorkring. Vervolgens moeten de totale drukverliezen van de andere radiatorkringen geregeld worden zodat hun totale drukverlies gelijk is aan dat van de meest ongunstige radiatorkring. De hoeveelheid druk dat geregeld moet worden, wordt bepaald door:

$$\Delta p_{reg,i} = \Delta p_{tot,ongunstig} - \Delta p_{tot,i} \text{ (Pa)} \quad (14)$$

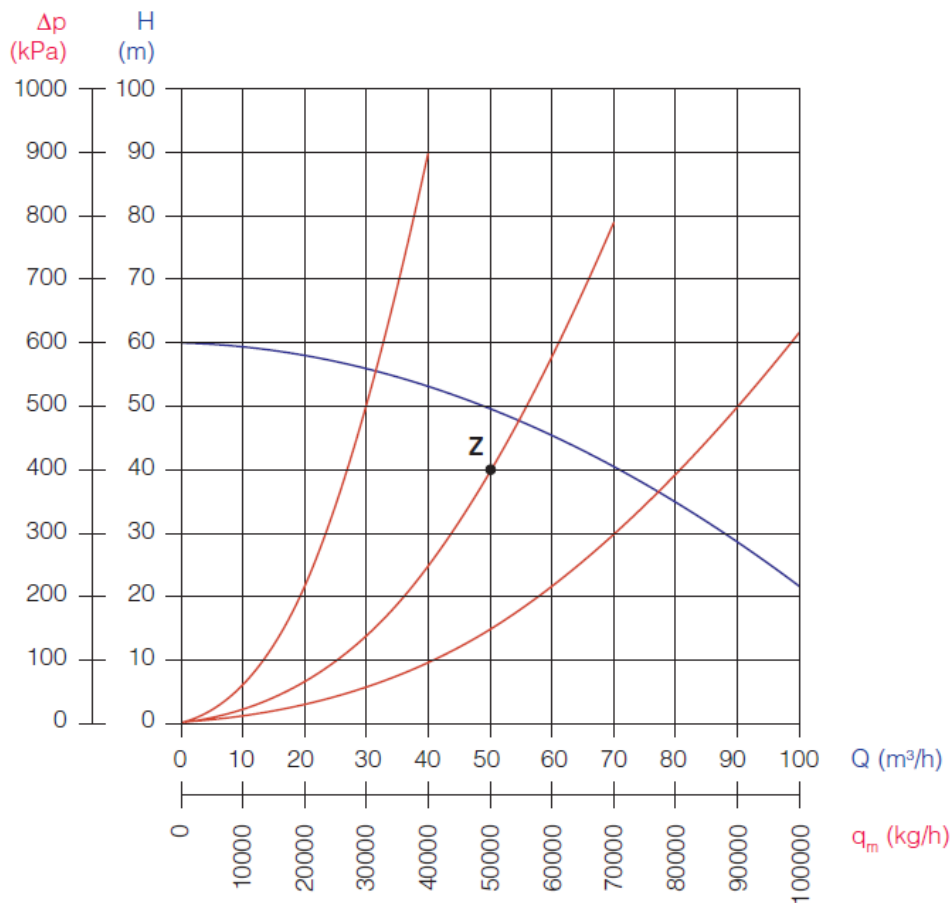
Waarin:

- $\Delta p_{reg,i}$: is het te regelen drukverlies voor radiatorkring “i” (Pa);
- $\Delta p_{tot,ongunstig}$: is het totale drukverlies van de meest ongunstige radiatorkring (Pa);
- $\Delta p_{tot,i}$: is het totale drukverlies van radiatorkring “i” (Pa)

Met behulp van de regelkraan geplaatst in elke radiatorkring kan dit regeldrukverlies ingesteld worden.

7.1.4 Bepalen van de circulatiepomp

Als volgende stap na het ontwerpen en dimensioneren van het leidingnet dient de circulatiepomp bepaald te worden. Een circulatiepomp is een toestel dat de waterstroming bevordert en ervoor zorgt dat het ontworpen debiet gegarandeerd wordt. Voor de bepaling van een circulatiepomp wordt gebruik gemaakt van de pompkarakteristiek. Hierbij wordt de opvoerhoogte uitgezet in functie van het pompdebiet zoals weergegeven op figuur 50 [7].



Figuur 50: Pompkarakteristiek (blauw) en leidingkarakteristieken (rood) [7]

De tweede karakteristiek die weergegeven is op figuur 50 is de leidingkarakteristiek van de installatie en wordt bepaald door het totaal waterdebiet en het drukverlies van de meest ongunstige radiatorkring zoals besproken in de voorgaande sectie. Deze karakteristiek wordt weergegeven volgens de volgende functie:

$$\Delta p_{tot} = C \cdot q_{m,tot}^2 \quad (15)$$

Met:

- Δp_{tot} : het totale drukverlies van de meest ongunstige radiatorkring (Pa)
- $q_{m,tot}$: het totale waterdebiet dat door de installatie stroomt (kg/h)
- C: de karakteristieke grootheid van de installatie (1/kg.m)

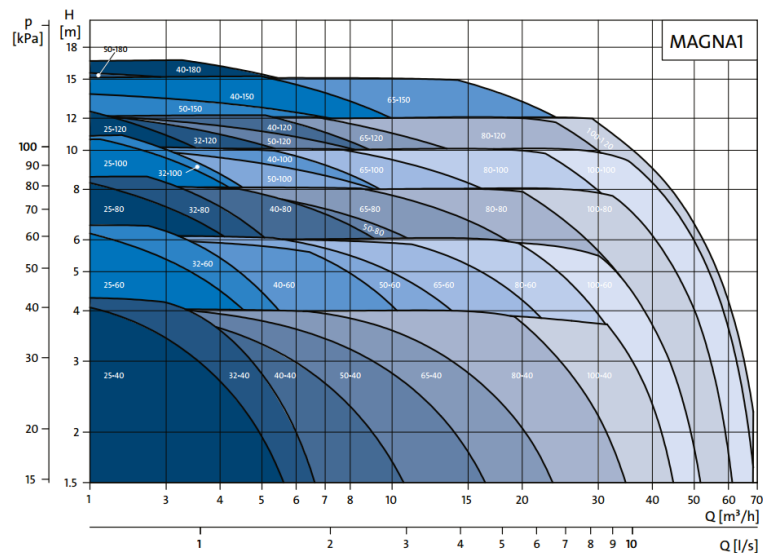
Het totale drukverlies van de meest ongunstige radiatorkring en het totale waterdebiet dat door de installatie stroomt, zijn reeds gekend waardoor men de karakteristieke grootheid C kan berekenen. Eens deze gekend is, kan de leidingkarakteristiek getekend worden bij de pompkarakteristiek. Deze heeft een typisch parabolisch verloop. Vervolgens wordt het theoretisch aangeduid op de karakteristiek, punt Z op figuur 50. Dit zijn de gegevens die men reeds bekomen heeft voor het totale drukverlies van de meest ongunstige radiatorkring en het totale waterdebiet van de installatie.

Het werkelijk werkingpunt van de installatie ligt op de plaats waar de pompkarakteristiek en de leidingkarakteristiek elkaar snijden. Het is belangrijk dat dit werkelijk werkingpunt hoger ligt dan of ten minste gelijk is aan het theoretisch berekent werkingpunt.

Op figuur 50 is er echter maar één pompkarakteristiek getekend maar in werkelijkheid kunnen dit meerdere zijn voor dezelfde pomp afhankelijk van het toerental van de pomp. Zo is het belangrijk om

het juiste toerental te kiezen waarmee de leidingkarakteristiek het best mee overeenkomt om een zo efficiënt mogelijke werking van de installatie te realiseren.

Fabrikanten van circulatiepomp hebben doorgaans meerdere types voor eenzelfde circulatiepomp met verschillende pompkarakteristieken. Op figuur 51 is een voorbeeld gegeven van de pompkarakteristieken van de verschillende types voor de Grundfos Magna 1 [32].



Figuur 51: Pompkarakteristieken voor de verschillende types van de Grundfos Magna 1 [32]

Voor de keuze van de circulatiepomp wordt het theoretisch werkingpunt op de grafiek getekend zoals voorgaand besproken. Aan de hand van het werkingsgebied van het type circulatiepomp waarin het werkingpunt ligt, wordt de circulatiepomp gekozen.

Voor de regeling van de circulatiepompen kunnen er twee regelingen worden toegepast. De eerste regeling is een constant-debiet systeem waarbij het waterdebiet wat de pomp levert constant wordt gehouden. Het afgeven vermogen van radiatoren kan vervolgens geregeld worden met behulp van de watertemperatuur. Een tweede regeling is een variabel-debiet systeem. Het waterdebiet van de pomp wordt hierbij geregeld om het afgeven vermogen van de radiatoren te regelen. De temperatuur van het water wordt hierbij constant gehouden. Voor de uitvoeringsplannen is er gekozen om te werken met het constant-debiet systeem waarbij er een mengkraan in aanvoerleiding wordt geplaatst die het retourwater gaat mengen. Door deze menging wordt de gewenste aanvoertemperatuur geregeld.

7.1.5 Bepalen van het expansievat

In een verwarmingsinstallatie bevindt het circulerend verwarmingswater zich in een gesloten circuit met een bepaalde druk. De temperatuur van dit water is echter niet constant maar afhankelijk van de werking van de installatie. Deze temperatuurvariaties zorgen op hun beurt voor dichtheidsvariaties van het water. Bij de opwarming van het water zet het uit waardoor de druk in de installatie toeneemt. Dit water krimpt vervolgens wanneer het afkoelt en waardoor de druk in de installatie daalt. Deze drukvariaties kunnen leiden tot onder- en overdrukken buiten het werkingsgebied van de installatie. Om deze drukvariaties op te vangen en te reduceren wordt er één of meerdere expansievaten in de installatie geplaatst. Het doel van deze expansievaten is dus het opvangen van de dichtheidsvariaties

om zo de druk in de installatie constant te houden. Er zijn twee soorten expansievaten die men kan gebruiken in een installatie namelijk open en gesloten expansievaten.

Open expansievaten zijn open waterbassins die in contact staan met de atmosferedruk en worden geplaatst in het hoogste punt van de installatie. Deze open expansievaten hebben echter veel nadelen zoals:

- het verdampen van het verwarmingswater waardoor er regelmatig bijgevuld moet worden;
- het corroderen van de installatie doordat er zuurstof wordt opgenomen in het installatiewater;
- de warmteverliezen indien het expansievat geplaatst is in een niet-verwarmde ruimte.

Door deze vele nadelen worden open expansievaten doorgaans minder gebruikt en gaat de keuze naar gesloten expansievaten. Gesloten expansievaten bestaan uit een reservoir voor het installatiewater en een reservoir voor het gas die gescheiden zijn door middel van een membraan of balg zoals weergegeven op figuur 52 [33].



Figuur 52: Principe van een gesloten membraan en balg expansievat [33]

Van deze gesloten expansievaten zijn er twee verschillende soorten namelijk de variabele druk expansievaten en de constante druk expansievaten. Bij variabele druk expansievaten is de druk afhankelijk van de temperatuur van het water. Wanneer het water opwarmt zal het uitzetten en zal het in het expansievat een grotere druk hebben dan de lucht aan de andere zijde van het membraan of de balg. De lucht wordt vervolgens samengedrukt waardoor ook deze druk stijgt. Wanneer het water afkoelt en de druk daalt zal ook de druk van het water in het expansievat dalen. De druk van de lucht in het expansievat is groter waardoor deze gaat uitzetten. Het resultaat hiervan is dat de druk van het water minder zal variëren. Deze variabele druk expansievaten worden voornamelijk gebruikt in kleine en middelgrote installaties.

Voor grote installaties wordt er gebruik gemaakt van constante druk expansievaten. Bij deze expansievaten wordt de waterdruk constant gehouden doormiddel van een compressor die het gas in het expansievat regelt of doormiddel van een pomp die geplaatst wordt in de leiding van de installatie.

Voor het bepalen van het expansievat kan er gebruik gemaakt worden van rekenbladen die opgesteld zijn door het WTCB [34]. Voor verdere informatie over de berekeningen en parameters die nodig zijn voor het bepalen van de expansievaten wordt er verwezen naar [7].

7.2 Ontwerp van een ventilatiesysteem

Voorgaand in sectie 6.4 Gekozen oplossingen is er aangehaald dat er voor de ventilatie gebruik zal gemaakt worden van het Oxygen-systeem van Jaga en dat er per ruimte een extractiebox wordt geplaatst zonder een kanaalsysteem. Hierdoor zullen enkel de benodigde ventilatiedebieten bepaald moeten worden. Het bepalen van deze ventilatiedebieten kan met behulp van twee regelgevingen. De eerste is de norm NBN EN 13779 [15] en het tweede is het algemeen regelement voor de arbeidsbescherming (ARAB) [35], [36].

De norm NBN EN 13779 [15] deelt de benodigde ventilatiedebieten in volgens de binnenluchtkwaliteit dat gehanteerd moet worden. Tabel 18 [35] geeft een overzicht van de verschillende categorieën van de binnenluchtkwaliteit.

Tabel 18: Overzicht van categorieën bij de binnenluchtkwaliteit

| Categorie | Omschrijving |
|-----------|-----------------------------------|
| IDA 1 | Hoge binnenluchtkwaliteit |
| IDA 2 | Gemiddelde binnenluchtkwaliteit |
| IDA 3 | Aanvaardbare binnenluchtkwaliteit |
| IDA 4 | Lage binnenluchtkwaliteit |

Bij het ontwerp van het ventilatiesysteem is de ontwerper vrij in de keuze over de binnenluchtkwaliteit dat gehanteerd wordt. Volgens [35] schrijft de EPB-richtlijn echter voor om minimaal een binnenluchtkwaliteit van IDA 3 te hanteren.

Na de keuze van de binnenluchtkwaliteit voor de ruimtes waarvoor het ventilatiesysteem wordt ontworpen, kan men overgaan naar het bepalen van de ventilatiedebieten. Op tabel 19 [35] is het benodigd ventilatiedebiet weergegeven opgedeeld volgens de categorieën van de binnenluchtkwaliteit en volgens de functie van de ruimte indien dit een rokerszone is of niet.

Tabel 19: Benodigd ventilatiedebiet per persoon [35]

| Categorie | Eenheid | Ventilatiedebiet per persoon | | | |
|-----------|-------------------|------------------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | Niet-rokerszone | | Rokerszone | |
| | | Typische waarde | Standaard waarde | Typische waarde | Standaard waarde |
| IDA 1 | m ³ /h | >54 | 73 | >108 | 144 |
| IDA 2 | | 36-54 | 45 | 72-108 | 90 |
| IDA 3 | | 22-36 | 29 | 43-72 | 58 |
| IDA 4 | | <22 | 18 | <43 | 36 |

Zoals weergegeven in de tabel wordt het benodigd ventilatiedebiet uitgedrukt in een debiet per persoon. Wanneer men het debiet wenst te berekenen voor een ruimte is het dus belangrijk dat de bezetting van de ruimte gekend is. Wanneer de bezetting is opgesteld door de ontwerper van de ruimte kan deze waarde gebruikt worden. Indien dit niet gekend is, kan men doormiddel van tabellen het ventilatiedebiet bepalen afhankelijk van de vloeroppervlakte van de ruimte [35]. Op tabel 20 [35] is een voorbeeld weergegeven van de vloeroppervlakte per persoon afhankelijk van de functie van de ruimte.

Tabel 20: Omrekeningstabel van de vloeroppervlakte per persoon

| Functie van de ruimte | Vloeroppervlakte per persoon (m ² /pers) |
|--|---|
| kantoor | 15 |
| Ontvangstruimte, receptie, vergaderzalen | 3,5 |
| Hoofdingang | 10 |

Het ARAB stelt de eis van een minimaal ventilatiedebiet van 30 m³/h per werknemer in de ruimte. Het is dus belangrijk om een onderscheid te maken tussen het aantal personen in een ruimte en het aantal personen dat zijn tewerkgesteld in de ruimte [35], [36].

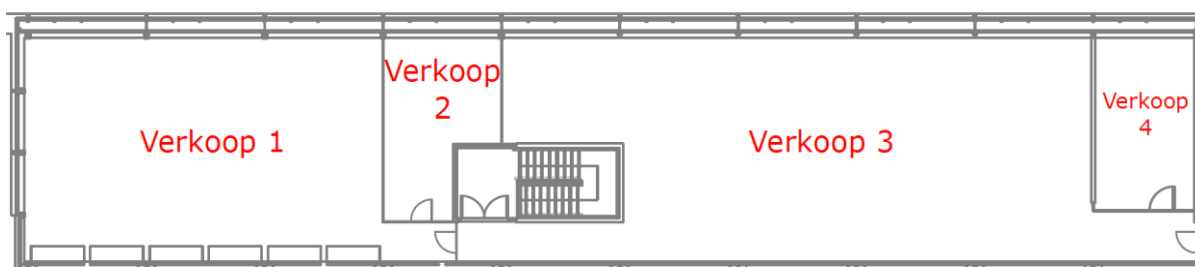
Voor het ontwerp van het benodigd ventilatiedebiet in een ruimte dienen de debieten berekend te worden volgens beide regelgevingen. Het grootste ventilatiedebiet uit deze berekeningen wordt vervolgens gebruikt tijdens het ontwerp van het ventilatiesysteem.

7.3 Verkoopafdeling

Zoals besproken in 6.4 Gekozen oplossing is er gekozen om de HVAC-installatie op de verkoopafdeling te renoveren. Er is besloten om de afdeling te scheiden van de bestaande centrale verwarm- en koelinstallatie doormiddel van de verwarming en koeling te voorzien met een warmtepomp. Hierbij dient het leidingnetwerk, de sturing en het afgiftesysteem vernieuwd te worden. Tot slot moet ook de huidige ventilatie vernieuwd worden. In deze sectie wordt het uitvoeringsplan opgesteld. De berekening van het benodigd vermogen, de berekening van het leidingnetwerk, de regeling en schema's worden hierbij besproken.

7.3.1 Benodigde verwarm- en koelvermogens

Na de presentatie van 6 januari over de comfortklachten en mogelijke oplossingen is er besloten om de configuratie van de verkoopafdeling aan te passen om het akoestisch comfort te verhogen. De grote ruimte is met tussenwanden verdeeld in drie kleinere ruimtes zoals weergegeven op onderstaande figuur 53.



Figuur 53: Vernieuwde indeling van de verkoopafdeling

Door de aanpassing is de bezetting gewijzigd en werden de benodigde verwarm- en koelvermogens herrekend. Ook het benodigd ventilatiedebiet is hierbij herrekend. Op onderstaande tabel 21 is de bezetting van de ruimtes weergegeven.

Tabel 21: Vloeroppervlakte en bezetting van de vernieuwde verkoopafdeling

| Ruimte | Vloeroppervlakte (m ²) | Bezetting (#personen) |
|-----------|------------------------------------|-----------------------|
| Verkoop 1 | 95,78 | 12 |
| Verkoop 2 | 21,1 | 8 |
| Verkoop 3 | 160,4 | 14 |
| Verkoop 4 | 20,6 | 10 |

Tijdens de berekening van de benodigde vermogens is er uitgegaan van de meest nadelige scenario's. Voor de verwarming wordt er enkel rekening gehouden met de transmissieverliezen, de ventilatieverliezen en het opwarmingsvermogen. Voor het benodigd koelvermogen wordt naast de transmissie en ventilatieverliezen ook rekening gehouden met de bezetting, het aantal computers en monitors en het aantal kopieermachines in de ruimtes. De berekende verwarm- en koelvermogens zijn weergegeven in onderstaande tabel 22.

Tabel 22: De benodigde verwarm- en koelvermogens voor de vernieuwde verkoopafdeling

| Ruimte | Verwarmvermogen (W) | Koelvermogen (W) |
|-----------|---------------------|------------------|
| Verkoop 1 | 8500 | 5902,2 |
| Verkoop 2 | 3115 | 3241,1 |
| Verkoop 3 | 12800 | 7668,7 |
| Verkoop 4 | 3550 | 3957,8 |

7.3.2 Het benodigd ventilatiedebiet

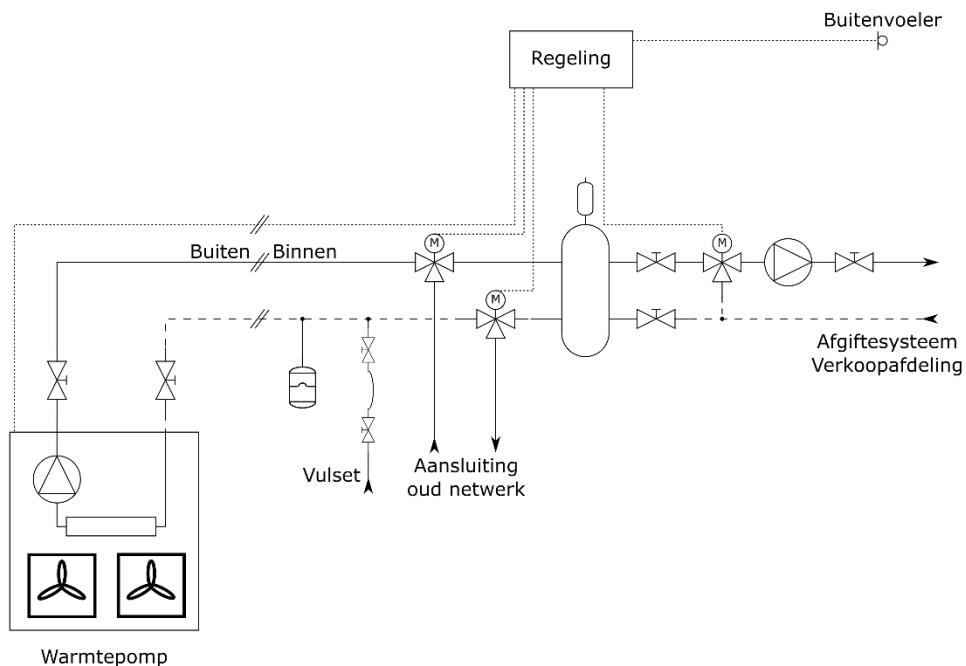
Het benodigd ventilatiedebiet is berekend volgens de norm NBN EN 13779 en volgens het ARAB. Het minimaal benodigd ventilatiedebiet is vervolgens de grootste waarde van de berekende debieten. In tabel 23 zijn de benodigde ventilatiedebieten weergegeven.

Tabel 23: De benodigde ventilatiedebieten voor de vernieuwde verkoopafdeling

| Ruimte | Debiet volgens ARAB (m ³ /h) | Debiet volgens EN 13779 (m ³ /h) | Benodigd ventilatiedebiet |
|-----------|---|---|---------------------------|
| Verkoop 1 | 360 | 154 | 360 |
| Verkoop 2 | 240 | 44 | 240 |
| Verkoop 3 | 420 | 242 | 420 |
| Verkoop 4 | 300 | 44 | 300 |

7.3.3 Uitvoeringsplan van de verwarming- en koelinstallatie

Op de onderstaande figuur 54 is het prinsipeschema van de installatie weergegeven.



Figuur 54: Principe schema van het uitvoeringsplan voor de verkoopafdeling

De warmtepomp is reeds aangekocht door Jaga. Tijdens de beslissingsvergadering is er geopteerd om deze te gebruiken voor de verkoopafdeling. De gegevens van de warmtepomp zijn in tabel 24 weergegeven.

Tabel 24: Gegevens van de warmtepomp voor de verkoopafdeling

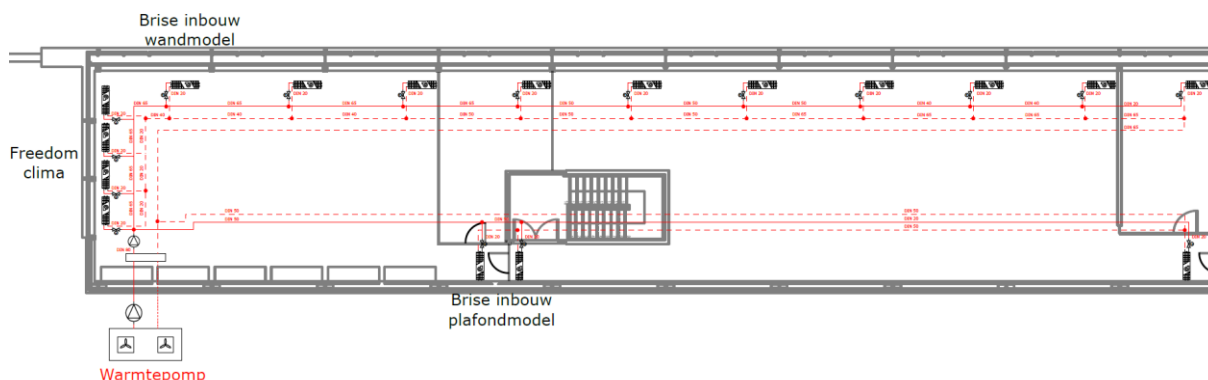
| | | |
|-------------------------|-------------|-------------------|
| Merk | Thermocold | |
| Type | Mex Prozone | |
| | 133Z | |
| | Monoblok | |
| Bouwjaar | 2010 | |
| Koelvermogen | 33,3 | kW |
| Elektrisch vermogen | 11,3 | kW |
| Verwarmvermogen | 34,3 | kW |
| Elektrisch vermogen | 10 | kW |
| Waterdebiet | 5,73 | m ³ /h |
| EER | 2,82 | |
| COP | 3,26 | |
| Compressor | Scroll | |
| Koudemiddel | R410A | |
| Elektrische aansluiting | 400/3+N/50 | |

Om voor continuïteit te zorgen is de installatie nog verbonden met de oude installatie. Bij uitval van de warmtepomp of het niet behalen van de benodigde vermogens kan er omgeschakeld worden naar het bestaand leidingnetwerk.

Er wordt gewerkt met een evenwichtsfles om het leidingnetwerk van het afgiftesysteem te scheiden van de warmtepomp. Er wordt een extra circulatiepomp geplaatst met een gemotoriseerd driewegventiel om de gewenste watertemperatuur in te stellen.

Voor de regeling wordt er gewerkt met het Qbus systeem. Met behulp van een buitenvoeler kan men een weersafhankelijke regeling toepassen voor het afgiftesysteem.

Figuur 55 geeft het hydraulisch schema van het afgiftesysteem weer. Voor betere details is het schema in bijlage: cd-rom – Uitvoeringsplan Verkoopafdeling toegevoegd.



Figuur 55: Hydraulisch schema van het afgiftesysteem op de verkoopafdeling

De gebruikte toestellen voor het afgiftesysteem zijn dertien Jaga Brise EC en vier Freedom Clima toestellen. Op tabel 25 zijn de gegevens van beide toestellen weergegeven.

Tabel 25: Gegevens van Jaga Brise inbouw type 06 en Jaga Freedom Clima L181

| Merk | Jaga | |
|---|--------------|------|
| Type | Brise inbouw | |
| | 06 | |
| Verwarmingsvermogen ($\Delta T=10^{\circ}\text{C}$) | 5900 | W |
| Waterdebiet | 514 | kg/h |
| Drukverlies | 3000 | Pa |
| Koelvermogen ($\Delta T=5^{\circ}\text{C}$) | 5900 | W |
| Waterdebiet | 1014 | kg/h |
| Drukverlies | 7700 | Pa |

| Merk | Jaga | |
|---|---------------|------|
| Type | Freedom Clima | |
| | L181 | |
| Verwarmingsvermogen ($\Delta T=10^{\circ}\text{C}$) | 1700 | W |
| Waterdebiet | 428 | kg/h |
| Drukverlies | 30000 | Pa |
| Koelvermogen ($\Delta T=5^{\circ}\text{C}$) | 1700 | W |
| Waterdebiet | 188 | kg/h |
| Drukverlies | 7000 | Pa |

Met behulp van deze gegevens is het leidingnetwerk ontworpen waarbij er gebruik werd gemaakt van de gegevens voor het koelen. De waterdebieten zijn voor het koelen namelijk hoger wat een invloed heeft op de benodigde diameters van het leidingsysteem. In de bijlage: cd-rom – Uitvoeringsplan Verkoopafdeling - Excel Uitvoeringsplan Verkoopafdeling.xls zijn de resultaten van de berekening weergegeven.

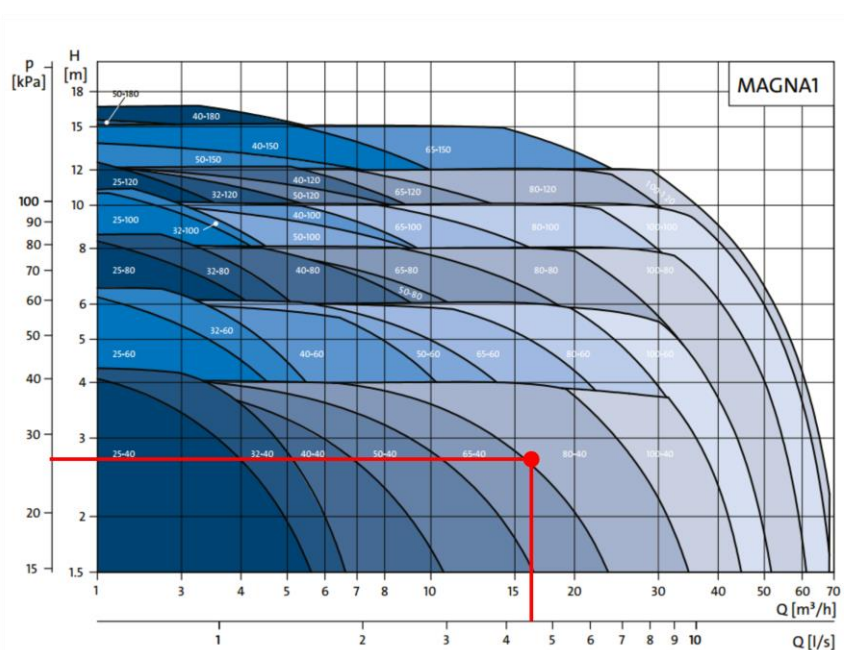
Nadat de diameters en de benodigde apparatuur (ventielen, bochten, T-stukken,...) zijn bepaald, werden de drukverliezen in het leidingnetwerk berekend. Per radiatorkring zijn de drukverliezen berekend en werd de meest ongunstige kring bepaald. Deze resultaten zijn in de bijlage: cd-rom – Uitvoeringsplan Verkoopafdeling - Excel Uitvoeringsplan Verkoopafdeling.xls berekend.

Na de drukverliesberekening wordt de circulatiepomp bepaald. Het bepalen van de pomp gebeurt aan de hand van twee parameters: het maximaal waterdebiet en het drukverlies van de meest ongunstige radiator kring zoals beschreven in 7.1.4 Bepalen van de circulatiepomp. Op tabel 26 zijn deze benodigde gegevens van de installatie weergegeven.

Tabel 26: Het totale waterdebiet en drukverlies voor de bepaling van de circulatiepomp van de verkoopafdeling

| | | |
|--------------------|----------|-------------------|
| q _m max | 16976 | kg/h |
| | 16,98 | m ³ /h |
| Δp _{max} | 27698,21 | Pa |
| | 27,70 | kPa |

Deze gegevens bepalen het werkpunt van de circulatiepomp. Op figuur 56 is de pompcurve weergegeven van een Grundfos Manga 1 circulatie pomp [32]. De parameters van het leidingnetwerk zijn aangeduid en men kan besluiten dat het type 80-40 nodig is voor de toepassing.

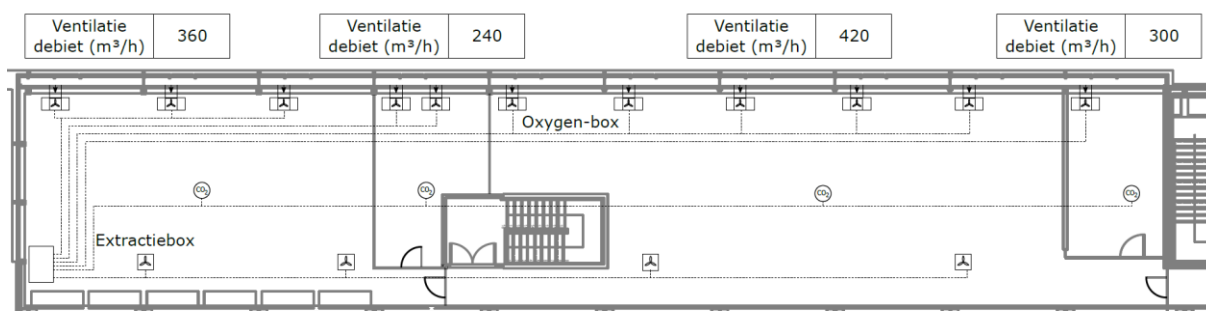


Figuur 56: Pompcurve Grundfos Manga 1 [32]

Het laatste component dat voor het leidingnetwerk moet bepaald worden is het expansievat. Voor deze berekening werd gebruik gemaakt van het rekenblad van [7]. In de bijlage: cd-rom – Uitvoeringsplan Verkoopafdeling - Excel Uitvoeringsplan Verkoopafdeling.xls is de volledige berekening weergegeven. Het expansievat heeft een inhoud nodig van 25 liter met een voordruk van 1 bar. De keuze gaat hierbij naar de Flamco Flexcon van 25 liter met één bar voordruk.

7.3.4 Uitvoeringsplan van de ventilatie

Voor de ventilatie is er gekozen om met het Oxygen-systeem van Jaga te werken. De benodigde debieten zijn reeds uitgerekend in bijlage: cd-rom - Gegevens huidige installatie, benodigd verwarm- en koelvermogen en ventilatiedebiet.xls. Er zijn in totaal elf Oxygen-toestellen nodig om de ruimtes te voorzien van verse lucht. De verdeling per ruimte is te zien op figuur 57.



Figuur 57: Ventilatieschema in de vernieuwde verkoopafdeling

Er worden ook extractieboxen voorzien op de plaatsen waar het oude ventilatiesysteem was gepositioneerd. De gebruikte extractieboxen zijn Jaga OXEX 0.015. Op tabel 27 zijn de gegevens van deze extractiebox weergegeven.

Tabel 27: Gegevens Jaga Extraction Box OXEX 015

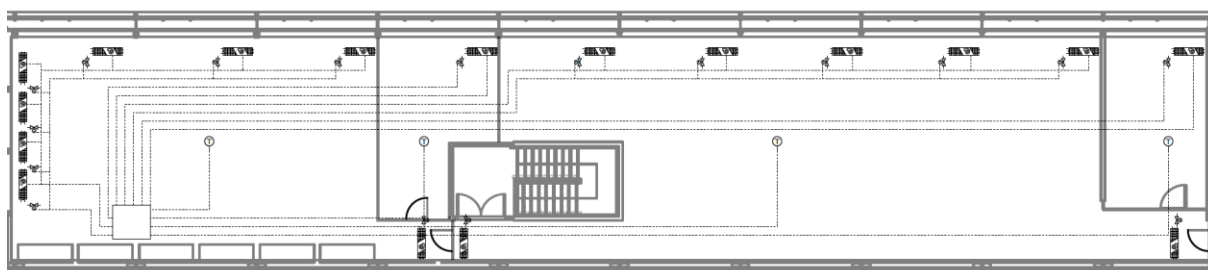
| | | |
|----------------|-----------------|-------------------------|
| Merk | Jaga | |
| Type | Extraction Box | |
| | OXEX 015 | |
| Netaansluiting | 230 V, 50-60 Hz | |
| Draaisnelheid | 300 | Min tr/min |
| Compressor | 3000 | Max tr/min |
| Luchtdebiet | 450 | Max (m ³ /h) |

Per ruimte worden er CO₂-sensoren voorzien die verbonden zijn met het Qbus systeem. Het Qbus systeem regelt afhankelijk van de CO₂-concentratie in de ruimte de Oxygen-toestellen voor de toevoer van verse lucht en de extractieboxen voor de afvoer van de vuile lucht.

7.3.5 Regeling en sturing

Zoals in de vorige paragrafen vermeld, zal er gewerkt worden met het Qbus-systeem voor de sturing van de verwarming, koeling en ventilatie. In iedere ruimte wordt er een temperatuursensor en een CO₂-sensor geïnstalleerd die worden verbonden met de analoge stuurmodule ANR04SA van Qbus via het bussysteem. Deze module heeft vijf ingangen en vier uitgangen. De ingangen zijn potentiaal vrije contacten waaraan er drukknoppen gemonteerd kunnen worden. De uitgangen kunnen gebruikt

worden als analoge uitgang waarbij er een signaal van 0 tot 10 Volt wordt gestuurd of als digitale uitgang waarbij een relais wordt gestuurd die een maximaal vermogen kan schakelen van 3680 Watt bij 230 Volt. Voor de sturing van de ventilo-convectoren en Oxygen-toestellen zullen de vier uitgangen worden gebruikt als een analoge uitgang. Zo wordt er één uitgang gebruikt voor de snelheid van de ventilatoren te sturen van de ventilo-convectoren. Hiermee wordt het afgegeven vermogen van de convectoren geregeld. Een tweede uitgang dient om het zoneventiel van de ventilo-convector te sturen. Zo worden de convectoren in de ruimte aan- en uitgeschakeld. Met de derde uitgang wordt het Oxygen-toestel gestuurd waarmee de toevoer van verse lucht wordt geregeld. De laatste uitgang is voor de sturing van de extractieboxen. Hiermee wordt de afvoer van de vuile lucht geregeld. Figuur 58 geeft vervolgens de sturing van de verwarming en koeling weer. De sturing van de ventilatie is reeds weergegeven op figuur 57.



Figuur 58: Sturing van de verwarming en koeling

Per ruimte is er één analoge stuurmodule nodig om de verwarming, koeling en ventilatie te regelen. Verder zijn er nog twee stuurmodules nodig om de driewegkranen, circulatiepomp en warmtepomp aan te sturen. Om het verbruik van de warmtepomp en de circulatiepomp te loggen wordt er de energy counter module ECM04 geïnstalleerd. Deze module meet aan de hand van pulsen, die uitgezonden worden door meters, het verbruik afhankelijk van het soort meter dat is geïnstalleerd. De module is verbonden met het bussysteem waarmee de controller de gemeten waarden kan inlezen. Via de visualisatie wordt het verbruik vervolgens weergegeven aan de gebruiker.

7.3.6 Financieel plan

Op tabel 28 is het financieel plan weergegeven van het uitvoeringsplan op de verkoopafdeling. De belangrijkste componenten voor het plan uit te voeren zijn hierin weergegeven met hun brutoprijs per eenheid. Het aantal benodigde eenheden is opgesomd en vervolgens is de totaalprijs uitgeteld. Dit financieel plan is gebaseerd op het voorgaand beschreven uitvoeringsplan en het is hierbij mogelijk dat er tijdens de uitvoering mogelijk extra componenten nodig zijn bij de uitvoering van de werkzaamheden.

De warmtepomp is niet inbegrepen in het plan omdat deze reeds is aangekocht door Jaga. Het plan is opgesteld beginnend met de benodigde componenten voor de leidingen zoals de leidingen zelf, de buisisolatie, beugels, T-stukken, bochten en verloopstukken. Verder zijn er enkele benodigde componenten zoals de vulset om water bij te vullen, het overdrukventiel met manometer, het expansievat, de circulatiepomp, de evenwichtsfles en de driewegkranen. Vervolgens het afgiftesysteem met de convectoren en de aansluitsetten. Voor de regeling zijn er de analoge stuurmodules nodig van Qbus. Hierbij zijn er nog de Greenwire-kabels en de temperatuur- en CO₂-

sensoren benodigd. Tot slot zijn er de benodigde toestellen voor de ventilatie zoals de Oxygen-toestellen en de extractieboxen. Er wordt gerekend op een periode van acht weken waarin twee werknemers de werkzaamheden zullen uitvoeren. Voor het project wordt de kost geschat op zo'n 72927,98 Euro (Bruto).

Tabel 28: Financieel plan van het uitvoeringsplan op de verkoopafdeling

| Materiaal beschrijving | Prijs(€)/e (Bruto) | aantal | Prijs (€) |
|---|-----------------------|---------------|-----------------|
| Man verz.Buis 22 P/L6M | 21,81 | 12 | 261,72 |
| Man verz.Buis 42 P/L6M | 61,00 | 3 | 183,00 |
| Man verz.Buis 54 P/L6M | 77,48 | 21 | 1627,08 |
| Man verz.Buis 76 P/L6M | 180,87 | 16 | 2893,92 |
| Man verz.Buis 88,9 P/L6M | 214,52 | 1 | 214,52 |
| Buisisolatie Armaflex Type SH 11x22 P/L2M | 9,06 | 34 | 308,04 |
| Buisisolatie Armaflex Type SH 11x42 P/L2M | 14,78 | 8 | 118,24 |
| Buisisolatie Armaflex Type SH 11x60 P/L2M | 29,41 | 61 | 1794,01 |
| Buisisolatie Armaflex Type SH 11x76 P/L2M | 42,85 | 46 | 1971,10 |
| Buisisolatie Armaflex Type SH 11x89 P/L2M | 52,74 | 2 | 105,48 |
| Beugel BSA 8x20-23 1/2 | 2,72 | 50 | 136,00 |
| Beugel BSA 8x38-42 1/2 | 3,49 | 10 | 34,90 |
| Beugel BSA 8x50-54 | 4,47 | 50 | 223,50 |
| Beugel BSA 8x63-64 | 6,20 | 30 | 186,00 |
| Beugel BSA 8x75-80 | 7,29 | 10 | 72,90 |
| Man TE 76-22-76 G | 29,52 | 12 | 354,24 |
| Man TE 54-22-54 G | 21,22 | 8 | 169,76 |
| Man TE 42-22-42 G | 17,83 | 4 | 71,32 |
| Man TE 22 G | 6,69 | 4 | 26,76 |
| Man VERLOOPSTUK 76,1-54 G | 47,29 | 2 | 94,58 |
| Man VERLOOPSTUK 54-42 G | 8,23 | 2 | 16,46 |
| Man VERLOOPSTUK 42-22 G | 19,06 | 2 | 38,12 |
| Man BOCHT 90 GR 22 G | 4,03 | 56 | 225,68 |
| Man BOCHT 90 GR 42 G | 20,91 | 4 | 83,64 |
| Man BOCHT 90 GR 76 G | 85,50 | 12 | 1026,00 |
| Presco-Mano 1/2 (overdrukventiel met manometer) | 26,50 | 1 | 26,50 |
| Vulset-CA 1/2 INOX L500 | 75,48 | 1 | 75,48 |
| Flamco Flexcon 25L 1bar (drukvat) | 90,30 | 1 | 90,30 |
| Grundfos Magna 65-150 | 4109,00 | 1 | 4109,00 |
| Maes (MMT) evenwichtsfles | 687,44 | 1 | 687,44 |
| Honeywell 3weg kraan roterend | 346,35 | 3 | 1039,05 |
| Brise EC Type 06 (plafondmodel) | 774,60 | 10 | 7746,00 |
| Brise EC Type 06 (wandmodel) | 796,20 | 3 | 2388,60 |
| Freedom Clima Type 181 | 1456,00 | 4 | 5824,00 |
| Jaga aansluitset 24V DC | 145,00 | 17 | 2465,00 |
| Qbus analoge stuurmodule ANR04SA | 248,00 | 4 | 992,00 |
| Greenwire (2X1mm ²) | 116,00 | 8 | 928,00 |
| Jaga temperatuursensor | 95,00 | 4 | 380,00 |
| Jaga CO2 sensor | 350,00 | 4 | 1400,00 |
| Oxygen-toestel | 672,00 | 11 | 7392,00 |
| Extractiebox OXEX 015 | 686,91 | 4 | 2747,64 |
| Manuren (2 man, 8 weken aan 35€/u) | 35,00 | 640 | 22400,00 |
| | | Totaal | 72927,98 |

7.4 Systeemtopologie van de centrale verwarm- en koelinstallatie

In sectie 6.4 Gekozen oplossingen is er verder besloten dat, naast een aanpassing van de HVAC-installatie in de verkoopafdeling, er ook een renovatie van de systeemtopologie van de huidige centrale verwarm- en koelinstallatie zal uitgevoerd worden. Hierbij dient er een uitvoeringsplan opgesteld te worden om de huidige tweepijpsinstallatie te vervangen door een vierpijpsinstallatie. Het afgiftesysteem en de sturing worden hierbij ook aangepast. In deze sectie wordt het uitvoeringsplan opgesteld. De berekening van het benodigd vermogen, de berekening van het leidingnetwerk, de regeling en schema's worden hierbij besproken.

7.4.1 Benodigde verwarm- en koelvermogens

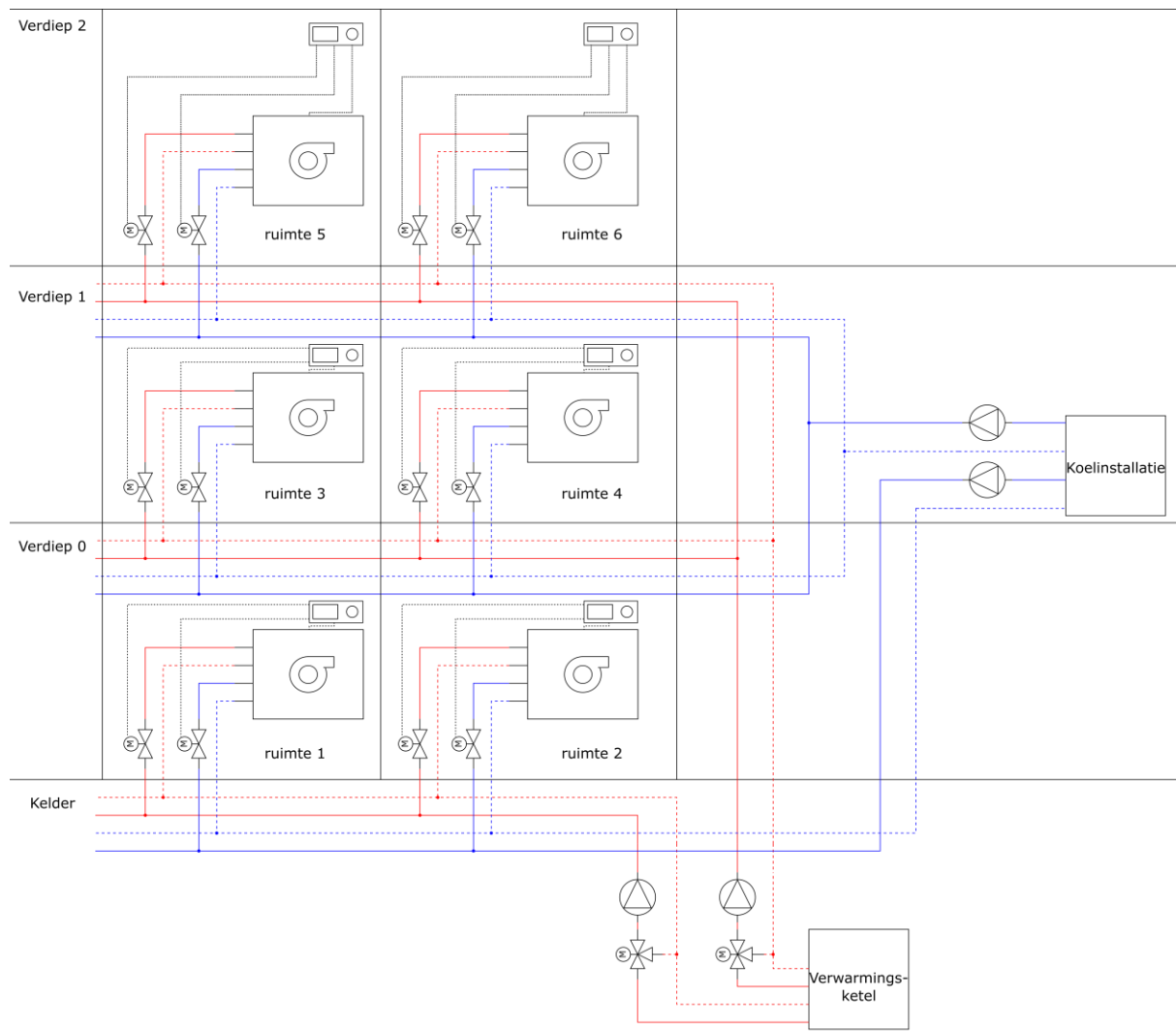
Tijdens de berekening van de benodigde vermogens is er uitgegaan van de meest nadelige scenario's. Voor de verwarming wordt er enkel rekening gehouden met de transmissieverliezen en het opwarmingsvermogen. Doordat er geen ventilatie aanwezig is in het gebouw op uitzondering van de afzuiging op de toiletten, wordt er hier geen rekening mee gehouden. Voor het benodigd koelvermogen wordt naast de transmissiewinsten ook rekening gehouden met de bezetting, het aantal computers en monitors en het aantal kopieermachines in de ruimtes. De berekende verwarm- en koelvermogens zijn weergegeven in tabel 29.

Tabel 29: Benodigde verwarm- en koelvermogens

| Verdieping | Vleugel | Werkruimte | Benodigd verwarmvermogen (W) | Benodigd koelvermogen (W) |
|--------------|-----------------|---------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Verdieping 0 | Rechtereuleugel | Planning | 10751 | 5135 |
| | | Personeelsdienst | 5673 | 2212 |
| | | W.C. | 4366 | 1331 |
| | | Gang | 3944 | 1105 |
| | | Receptie | 8018 | 2655 |
| | | Inkomhal | 3282 | 950 |
| Verdieping 1 | Rechtereuleugel | IT | 2757 | 1792 |
| | | Social media en Web | 2134 | 1991 |
| | | SAP 1 | 2402 | 1430 |
| | | SAP 2 | 1355 | 901 |
| | | SAP 3 | 1190 | 562 |
| | | W.C. | 2535 | 722 |
| | | Gang | 1685 | 217 |
| | Linkereuleugel | Boekhouding 6 | 1058 | 518 |
| | | Boekhouding 5 | 1358 | 895 |
| | | Boekhouding 4 | 1358 | 895 |
| | | Boekhouding 3 | 1391 | 899 |
| | | Boekhouding 2 | 1391 | 899 |
| | | Boekhouding 1 | 1595 | 987 |
| | | Kleine vergaderzaal | 3901 | 4244 |
| | | Grote vergaderzaal | 5886 | 7036 |
| | | Receptie (hal) | 7275 | 2091 |
| | | Gang | 1133 | 146 |
| | | Verdieping 2 | Rechtereuleugel | MRD 1 |
| MRD 2 | 1874 | | | 1104 |
| MRD 3 | 1903 | | | 1109 |
| MRD 4 | 6174 | | | 4052 |
| MRD 5 | 2061 | | | 1459 |
| MRD 6 | 4592 | | | 3658 |
| MRD 7 | 4649 | | | 2185 |
| W.C. | 2459 | | | 735 |
| Gang | 2451 | | | 582 |

7.4.2 Uitvoeringsplan van de verwarming- en koelinstallatie

Op figuur 59 is het principe weergegeven van het vierpijpsysteem met de warmte- en koudebron en het afgiftesysteem.



Figuur 59: Principe van het vierpijpsysteem voor de centrale verwarm- en koelinstallatie

Aangezien er besloten werd om de bestaande warmte- en koudebron te behouden, blijven de posities van deze toestellen gelijk. De verwarmingsketel is geplaatst in de kelder van het bureelgebouw waardoor de pompgroepen en de vertrekken van de leidingen naar de verschillende verdiepen hier gepositioneerd zijn. De koelinstallatie is verhoogd gepositioneerd in de fabriekshal naast het bureelgebouw. De pompgroep en de vertrekken van de leidingen naar de verschillende verdiepen zijn dus ook hier gepositioneerd. Er is gekozen om voor de verwarming twee kringen te maken namelijk één kring voor verdieping 0 en één kring voor verdieping 1 en 2. Dit is zo gekozen om het aantal stijgleidingen te beperken want deze worden in de fabriekshal gepositioneerd. Deze reden geldt ook voor de twee kringen van de koelinstallatie.

Het leidingnetwerk op de verdiepingen is gepositioneerd in het vals plafond waarbij er aftakkingen doorheen het plafond worden gemaakt naar het afgiftesysteem in de ruimte. Doordat er lange rijen van parallel aangesloten warmte- en koudelichamen volgens het tweepijpsprincipe zijn, zal er gebruik

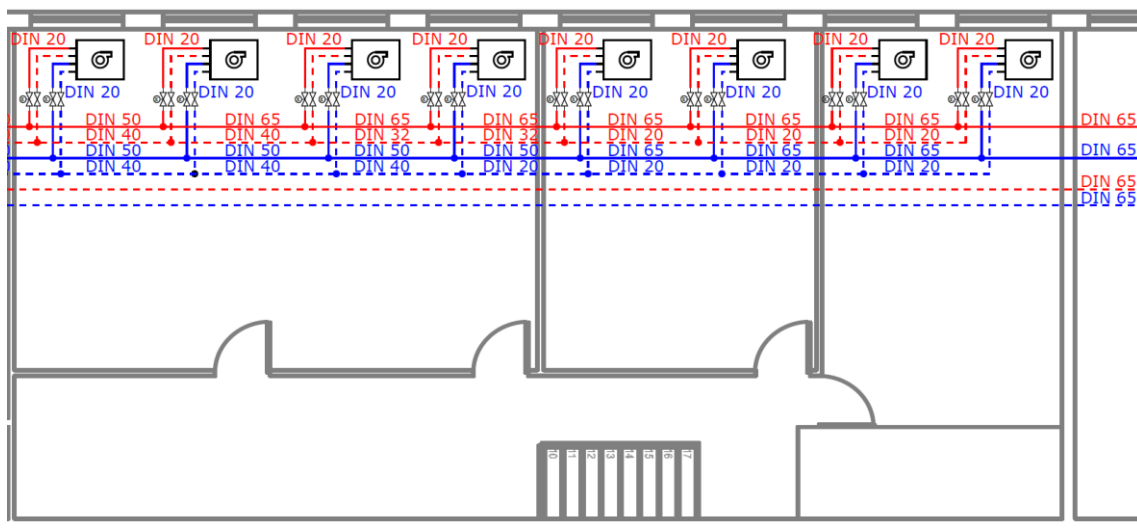
worden gemaakt van het Tichelmann principe zoals beschreven in sectie 7.1.3 Ontwerpen en dimensioneren van het leidingnet.

Door veroudering, niet voldoen aan de benodigde vermogen en gebrek aan functionaliteiten zoals verwarmen en koelen met hetzelfde toestel is er gekozen om de huidige toestellen in het afgiftesysteem te vervangen. Er is besloten om gebruik te maken van de Jaga Briza-toestellen uitgevoerd voor vierpijpsaansluiting. De gegevens van de gebruikte Briza-toestellen zijn weergegeven op tabel 30.

Tabel 30: Gegevens van Jaga Briza 4pijp H052 L102

| Merk | Jaga | |
|--|--------------------------|------|
| Type | Briza 4pijp H052 L102 | |
| Verwarmingsvermogen ($\Delta T=10^{\circ}\text{C}$) | 2300 | W |
| Waterdebiet | 260 | kg/h |
| Drukverlies | 5000 | Pa |
| Koelvermogen ($\Delta T=5^{\circ}\text{C}$) | 1191 | W |
| Waterdebiet | 245 | kg/h |
| Drukverlies | 5000 | Pa |

Met behulp van de voorgaande gegevens zijn de diameters bepaald voor het leidingnetwerk. De schema's van het leidingnetwerk in het gebouw zijn bijgevoegd in de bijlage: cd-rom - Uitvoeringsplan Systeemtopologie en de berekeningen van de leidingdiameters zijn weergegeven in bijlage: cd-rom - Uitvoeringsplan Systeemtopologie - Excel Uitvoeringsplan Systeemtopologie.xls. Op figuur 60 is een voorbeeld gegeven van het hydraulisch schema van de vierpijpsinstallatie op de SAP-afdeling.



Figuur 60: Voorbeeld van het hydraulisch schema van de vierpijpsinstallatie op de SAP-afdeling

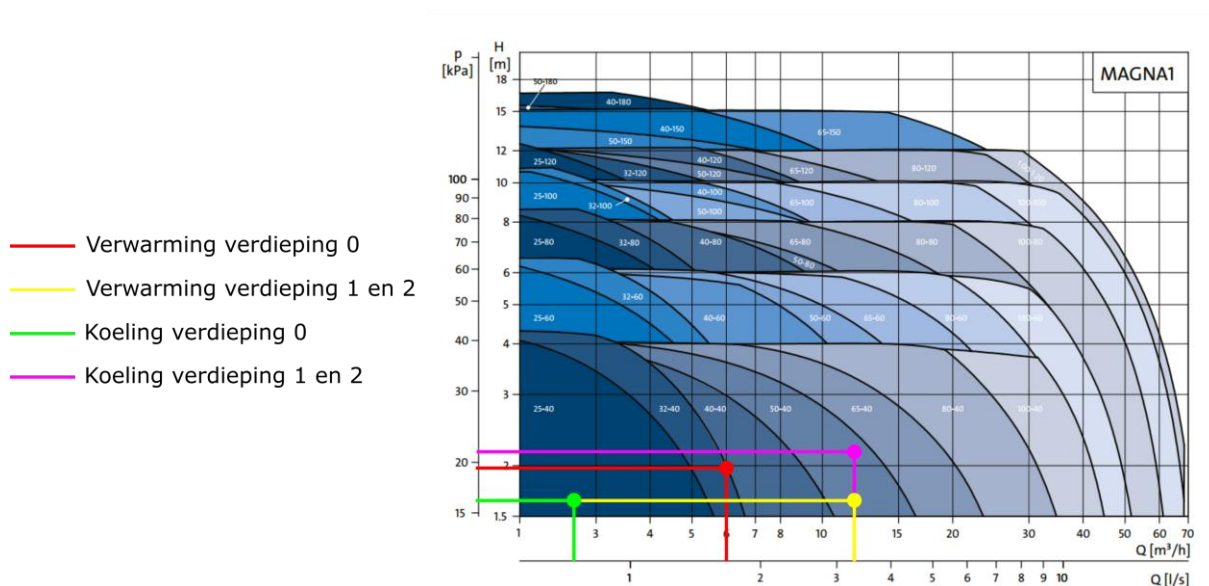
Nadat de leidingdiameters bepaald zijn, worden de drukverliezen berekend en werd de meest ongunstige radiatorkring per hoofdkring bepaald volgens de methode die uitgelegd is in sectie 7.1.3.2 Bepalen van de drukverliezen.

Na de drukverliesberekening wordt de circulatiepomp bepaald. Het bepalen van de pomp gebeurt aan de hand van twee parameters: het maximaal waterdebiet en het drukverlies van de meest ongunstige radiatorkring zoals beschreven in 7.1.4 Bepalen van de circulatiepomp. Op tabel 31 zijn deze benodigde gegevens van de installatie weergegeven.

Tabel 31: Het totale waterdebiet en drukverlies voor de bepaling van de circulatiepomp per hoofdkring

| Hoofdkring | Verwarming Verdieping 0 | Verwarming Verdieping 1 + 2 | Koeling Verdieping 0 | Koeling Verdieping 1 + 2 | Eenheid |
|--------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|
| q _m max | 5980 | 12740 | 2695 | 12740 | kg/h |
| | 6,0 | 12,7 | 2,7 | 12,7 | m ³ /h |
| Δp _{max} | 19991 | 16065 | 16497 | 21089 | Pa |
| | 19,99 | 16,06 | 16,50 | 21,09 | kPa |

Met deze gegevens zijn de benodigde circulatiepompen geselecteerd. Op figuur 61 [32] is de selectie van de benodigde circulatiepompen weergegeven. Er is hierbij gekozen om te werken met de Grundfos Magna1.



Figuur 61: Selectie van de circulatiepompen per hoofdkring [32]

De geselecteerde circulatiepompen zijn voor de verwarming op verdieping 0 de Grundfos Magna1 type 32-40 en voor de koeling op deze verdieping het type 65-40. Voor de verwarming en koeling op verdieping 1 en 2 zijn beide het type 50-40.

Als laatste dienen de expansievaten bepaald te worden. Zoals besproken in 7.1.5 Bepalen van expansievaten wordt er gebruik gemaakt van de rekentool van het WTCB [34]. In de bijlage: cd-rom - Uitvoeringsplan Systeemtopologie - Excel Uitvoeringsplan Systeemtopologie.xls is dit bijgevoegd. Er is één expansievat bepaald voor het leidingnetwerk van de verwarming van de gehele installatie en één voor de koeling. Voor de verwarming is er vervolgens gekozen voor een variabele druk expansievat met een inhoud van 300 liter met 2 bar voordruk en voor de koeling een variabele druk expansievat met een inhoud van 50 liter en 2 bar voordruk.

7.4.3 Regeling en sturing

De gehele installatie zal gestuurd worden met behulp van het domoticasysteem van Qbus. In iedere ruimte wordt er een Vizir Room controller geplaatst. Dit is een bedieningsdisplay waarmee het mogelijk is om de verlichting, ventilatie, verwarming en koeling in de ruimte te bedienen. De Vizir Room controller wordt nu echter enkel gebruikt om de verwarming en koeling in de ruimte te sturen. In het display is een temperatuursensor geplaatst zodat dit als een thermostaat kan werken. Deze displays worden aangesloten op de ANR04SA analoge stuurmodule. Zo wordt er een connectie gemaakt met de webserver van Qbus voor het gebouw waarmee het mogelijk is om de installatie via een internetconnectie te bedienen. De analoge stuurmodule zal vervolgens in de ruimte de Briza ventilo-convectoren sturen. Voor deze sturing zijn er drie uitgangen van de module nodig. Deze sturen een 0 tot 10 Volt-sigitaal naar de zoneventielen voor de verwarming en koeling en naar het Briza-toestel om de snelheid van de ventilator te regelen.

Naast de sturing in de werkruimtes zal ook de verwarmingsketel en koelinstallatie gestuurd worden met Qbus. Er worden analoge stuurmodules geïnstalleerd om de circulatiepompen, mengkleppen, de verwarmingsketel en de koelinstallatie aan te sturen. Er is geopteerd om voor de verwarming met een weersafhankelijke regeling te werken om zo het verbruik van de verwarmingsketel te verlagen. Er dient echter wel rekening gehouden te worden met de condensatie van de rookgassen. De huidige ketel is namelijk niet gemaakt voor de condensatie van rookgassen en het is dus belangrijk dat de retourtemperatuur van het water groter is dan het dauwpunt van de rookgassen.

7.4.4 Financieel plan

Op tabel 32 is het financieel plan weergegeven van het uitvoeringsplan op de verkoopafdeling. De belangrijkste componenten voor het plan uit te voeren zijn hierin weergegeven met hun brutoprijs per eenheid. Het aantal benodigde eenheden zijn opgesomd en vervolgens is de totaalprijs uitgeteld. Dit financieel plan is gebaseerd op het voorgaand beschreven uitvoeringsplan en het is hierbij mogelijk dat er tijdens de uitvoering mogelijk extra componenten nodig zijn bij de uitvoering van de werkzaamheden.

Het plan is opgesteld beginnend met de benodigde componenten voor de leidingen zoals: de leidingen zelf, de buisisolatie, beugels, T-stukken, bochten en verloopstukken. Verder zijn er enkele benodigde componenten zoals: vulsetten om water bij te vullen, overdrukventielen met manometer, expansievaten, circulatiepompen en driewegkranen. Vervolgens is er het afgiftesysteem met de Briza ventilo-convectoren en de aansluitsetten. Voor de regeling zijn er de analoge stuurmodules, Vizir Room controllers en Greenwire-kabels nodig van Qbus. Door de omvang van het project is er geen schatting gemaakt van de benodigde werkuren. Voor het project wordt de kost geschat op ongeveer 245 183,75 Euro (Bruto).

Tabel 32: Financieel plan van het uitvoeringsplan voor aanpassingen van de systeemtopologie

| Materiaal beschrijving | Prijs(€)/e (Bruto) | aantal | Prijs (€) |
|------------------------|--------------------|--------|-----------|
| Man verz.Buis 22 P/L6M | 21,81 | 125 | 2726,25 |
| Man verz.Buis 35 P/L6M | 44,60 | 10 | 446,00 |

| | | | |
|--|---------|--------|-----------|
| Man verz.Buis 42 P/L6M | 61,00 | 75 | 4575,00 |
| Man verz.Buis 54 P/L6M | 77,48 | 60 | 4648,80 |
| Man verz.Buis 76 P/L6M | 180,87 | 65 | 11756,55 |
| Man verz.Buis 88,9 P/L6M | 214,52 | 7 | 1501,64 |
| Buisisolatie Armaflex Type SH 11x22 P/L2M | 9,06 | 350 | 3171,00 |
| Buisisolatie Armaflex Type SH 11x35 P/L2M | 13,15 | 25 | 328,75 |
| Buisisolatie Armaflex Type SH 11x42 P/L2M | 14,78 | 215 | 3177,70 |
| Buisisolatie Armaflex Type SH 11x48 P/L2M | 17,61 | 165 | 2905,65 |
| Buisisolatie Armaflex Type SH 11x76 P/L2M | 42,85 | 185 | 7927,25 |
| Buisisolatie Armaflex Type SH 11x89 P/L2M | 52,74 | 20 | 1054,80 |
| Man TE 76-22-76 G | 29,52 | 26 | 767,52 |
| Man TE 54-22-54 G | 21,22 | 85 | 1803,70 |
| Man TE 42-22-42 G | 17,83 | 92 | 1640,36 |
| Man TE 35-22-35 G | 13,59 | 21 | 285,39 |
| Man TE 22 G | 6,69 | 37 | 247,53 |
| Man TE 42 G | 19,58 | 2 | 39,16 |
| Man TE 54 G | 24,41 | 2 | 48,82 |
| Man TE 89,9 G | 163,80 | 4 | 655,20 |
| Man VERLOOPSTUK 88,9-76,1 G | 66,67 | 6 | 400,02 |
| Man VERLOOPSTUK 88,9-54 G | 56,67 | 2 | 113,34 |
| Man VERLOOPSTUK 76,1-54 G | 47,29 | 6 | 283,74 |
| Man VERLOOPSTUK 54-42 G | 8,23 | 11 | 90,53 |
| Man VERLOOPSTUK 42-35 G | 18,23 | 8 | 145,84 |
| Man VERLOOPSTUK 42-22 G | 19,06 | 11 | 209,66 |
| Man VERLOOPSTUK 35-22 G | 4,11 | 8 | 32,88 |
| Man BOCHT 90 GR 22 G | 4,03 | 1136 | 4578,08 |
| Man BOCHT 90 GR 35 G | 13,58 | 0 | 0,00 |
| Man BOCHT 90 GR 42 G | 20,91 | 16 | 334,56 |
| Man BOCHT 90 GR 54 G | 25,54 | 16 | 408,64 |
| Man BOCHT 90 GR 76 G | 85,50 | 28 | 2394,00 |
| Man BOCHT 90 GR 88,9 G | 89,89 | 10 | 898,90 |
| FL BEUGEL BSA 8x20-24 1/2" | 2,72 | 2300 | 6256,00 |
| FL BEUGEL BSA 8x33-37 4/4" | 3,25 | 20 | 65,00 |
| FL BEUGEL BSA 8x38-42 5/4" | 3,49 | 100 | 349,00 |
| FL BEUGEL BSA 8x56-60 2" | 4,91 | 75 | 368,25 |
| FL BEUGEL BSA 8x62-64 | 6,20 | 75 | 465,00 |
| FL BEUGEL BSA 8x89-91 4/4" | 7,53 | 20 | 150,60 |
| Presco-Mano 1/2 (overdrukventiel met mano) | 26,50 | 2 | 53,00 |
| Vulset-CA 1/2 INOX L500 | 75,48 | 2 | 150,96 |
| Grundfos Magna 1 32-40 | 666,70 | 1 | 666,70 |
| Grundfos Magna 1 50-40 | 2907,00 | 2 | 5814,00 |
| Grundfos Magna 1 65-40 | 3095,00 | 1 | 3095,00 |
| Flamco Flexcon 300L 1,5bar | 969,20 | 1 | 969,20 |
| Flamco Flexcon 50L 1,5bar | 150,08 | 1 | 150,08 |
| Honeywell 3weg kraan roterend | 346,35 | 2 | 692,70 |
| Briza 4pijp H052 L102 | 932,50 | 142 | 132415,00 |
| Aansluitset 24V DC | 145,00 | 142 | 20590,00 |
| Qbus analoge stuurmodule ANR04SA | 248,00 | 18 | 4464,00 |
| Greenwire (2X1mm ²) 100m | 116,00 | 17 | 1972,00 |
| Vizir Room Controllers | 300,00 | 23 | 6900,00 |
| | | Totaal | 245183,75 |

8 Besluiten

De hoofddoelstelling van de masterproef is het verhogen van het comfortniveau van de werknemers in het bureelgebouw. Er is hierbij gestreefd naar een comfortniveau waarbij minimaal 80 % van de werknemers tevreden zijn met het comfortniveau.

Met behulp van de comfortenquête is het comfortniveau bepaald voor de huidige situatie. Hieruit blijkt dat de ontevredenheid het grootst is met het thermisch comfort en de luchtkwaliteit in de werkruimtes waardoor er verder is ingegaan op deze twee aspecten. Voor het thermisch comfort zijn de voornaamste problemen temperatuurschommeling en te hoge of te lage temperaturen in de werkruimte die met behulp van temperatuurmetingen werden bevestigd.

De oorzaak van deze problemen zijn te wijten aan de sturing van de verwarming en koeling in de werkruimtes. Zo is het niet mogelijk om een gewenste temperatuur in te stellen waardoor er ook geen regeling is van de temperatuur in de ruimtes. De problemen die de ontevredenheid met de luchtkwaliteit veroorzaken zijn voornamelijk een muffe lucht en een onaangename geur in bepaalde afdelingen. Na metingen van de CO₂-concentratie in de ruimtes kan er besloten worden dat de CO₂-concentratie de limiet van 1000 ppm overschrijdt in de ruimtes waar meerdere personen tewerk zijn gesteld. Deze overschrijding kan gelinkt worden aan de muffe lucht die in de ruimtes heerst. De onaangename geur is een probleem dat voornamelijk voorkomt in de verkoopafdeling waarbij de oorzaak het ventilatiesysteem is. Het ventilatiesysteem blaast namelijk de uitlaatgassen van de keuken in de ruimte. In de onderste twee verdiepingen is er geen ventilatie voorzien in de ruimtes waardoor de luchtkwaliteit overeenkomt met IDA 4 wat zeer laag is en dus voor discomfort zorgt. Op de bovenste verdieping is er wel ventilatie voorzien, maar door de sturing en de uitvoering van de toevoer van verse lucht wordt deze niet gebruikt door de werknemers. De ontevredenheid met de luchtkwaliteit is hieruit het gevolg.

Uit de literatuurstudie zijn er verschillende oplossingen en alternatieven opgesteld en voorgesteld aan de directie van Jaga waaruit zij er twee hebben gekozen. Deze gekozen oplossingen zijn: een totaalrenovatie van de HVAC-installatie in de verkoopafdeling en een vernieuwing van de systeemtopologie van de verwarming en koeling van het overig gedeelte van het gebouw.

De werkzaamheden van de totaalrenovatie van de verkoopafdeling zijn gestart in april 2016 en worden verwacht beëindigd te zijn in juli 2016. Voor de realisatie van de vernieuwing van de systeemtopologie zijn er nog geen concrete datums opgesteld. Doordat de werkzaamheden niet konden beëindigd worden aan het einde van de masterproef, kan er geen concreet besluit worden genomen in verband met de hoofddoelstelling. Maar met behulp van de comfortproblemen die de uitvoeringsplannen verhelpen, kunnen er assumpties worden gemaakt.

Met de werkzaamheden van de totaalrenovatie in de verkoopafdeling wordt er verwacht dat de vernieuwde sturing de problemen met de temperatuurschommelingen oplost. Door de dimensionering van de afgiftevermogens en de vernieuwde afgiftetoestellen kan de installatie de benodigde capaciteiten leveren. Er is echter een onzekerheid van de omschakeltijd van de warmtepomp tussen het verwarmen en koelen maar door de geoptimaliseerde sturing kan deze onzekerheid tenietgedaan worden. Met de vernieuwing van het ventilatiesysteem wordt er verwacht dat de capaciteit voldoende is om de luchtkwaliteit ten minste te verhogen naar IDA 3. De sturing op basis van de gemeten CO₂-concentratie zorgt voor een automatische regeling van het ventilatiedebiet in de ruimte zodat de werknemers dit niet handmatig moeten regelen.

Wanneer de vernieuwing van de systeemtopologie wordt uitgevoerd, wordt er verwacht dat de problemen met temperatuurschommelingen worden opgelost door de sturing van de verwarming en koeling. Ook maakt de uitvoering het mogelijk dat er in iedere werkruimte apart gekozen kan worden tussen verwarmen of koelen wat in de huidige situatie niet het geval is.

Nadat de realisaties zijn afgerond en de werknemers enige tijd gewoon zijn geworden met de vernieuwde installatie, is het mogelijk om een nieuw comfortonderzoek uit te voeren om de voorgaande verwachtingen concreet te analyseren. Naast dit comfortonderzoek kunnen de andere onderwerpen met name het visueel en akoestisch comfort verder geanalyseerd worden. Voor het visueel comfort kan er een studie worden uitgevoerd naar de verlichtingsinstallatie met betrekking tot de verlichtingsprestaties en de energie efficiëntie.

Referenties

- [1] Jaga, "Jaga." [Online]. Available: <http://theradiatorfactory.com/>.
- [2] Greenforce, "Over Greenforce." [Online]. Available: <http://www.greenforcebelgium.be/over-greenforce/>.
- [3] Qbus, "Qbus building intelligence." [Online]. Available: <http://www.qbus.be/nl/home>.
- [4] ASHRAE, "ASHRAE Handbook-Fundamentals," *ASHRAE Handbook-Fundamentals*, 2013.
- [5] Y. Hick, "Analyse warmtebehoefte Jaga," 2013.
- [6] N. Houben, *Bouwfysica*. XIOS, 2012.
- [7] WTCB, "Rapport 14: Ontwerp en dimensionering van centrale-verwarmingsinstallaties met sww," no. 14, 2014.
- [8] Bureau voor Normalisatie, "NBN B 62-003," vol. 003, pp. 1–29, 1987.
- [9] Vlaanderen, "Nota Beschermd volume , verliesoppervlakten en andere oppervlakten in het kader van energieprestatieregeling," no. september, 2010.
- [10] Brussels instituut voor Milieubeheer, "Energiebronnen Voor Warmwaterproductie (Ww 02)," *Infofiches - Energ.*, no. Ww 02, pp. 4–7.
- [11] A. Boerstra, P. Coffeng, S. Van Der Minne, and P. Scheers, "Thermische binnenklimaat," pp. 1–26, 2008.
- [12] A. Auliciems and S. Szokolay, "Thermal comfort," *PLEA Notes*, 2007.
- [13] J. A. O. Garcia, *A Review of General and Local Thermal Comfort Models for Controlling Indoor Ambiences*. 2010.
- [14] Bureau voor Normalisatie, "NBN EN ISO 7730: Ergonomie van de thermische omgeving - Analytische bepaling en Interpretatie van thermische behaaglijkheid door de berekening van de PMV- en PDD-waarden en door criteria voor de plaatselijke thermische behaaglijkheid," 2006.
- [15] Bureau voor Normalisatie, "NBN EN 13779," 2010.
- [16] Bureau voor Normalisatie, "NBN EN 15251," 2007.
- [17] CO2.earth, "Atmospheric Co2," 2015. [Online]. Available: <http://www.co2.earth/>.
- [18] WTCB, "Herziening van de norm over de verlichting van binnenwerkplekken," pp. 2–3, 2015.
- [19] Bureau voor Normalisatie, "NBN EN 12464-1 - 'Licht en verlichting - Werkplekverlichting - Deel 1: Binnenwerkplekken,'" 2011.
- [20] Bureau voor Normalisatie, "NBN S 01-400-1," 2008.
- [21] WTCB, "Een akoustische klimaatsverandering," 2009. [Online]. Available: <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact21&art=311>. [Accessed: 23-Mar-2016].
- [22] Jaga, "Refresh Unit OXRU.015," 2015.
- [23] WTCB, "Technische Voorlichting 246: Na-isolatie van spouwmuren door het opvullen van de luchtsponw," 2012. [Online]. Available: <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact34&art=529>.

- [24] WTCB, "TV 235 : Condensatieketels," no. September, 2008.
- [25] WTCB, "De warmtepomp: een duurzaam verwarmingssysteem," 2007. [Online]. Available: <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact13&art=197>.
- [26] WTCB, "Hybride warmtegeneratoren," 2014. [Online]. Available: <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact43&art=654>.
- [27] L. François, "Verwarmen en koelen met geothermie : hoe werkt dit precies ?," *WTCB-Dossiers*, pp. 1–5, 2014.
- [28] Bureau voor Normalisatie, "Luchtfilters met hoogrendement (EPA, HEPA, ULPA) - Deel 1 Classificatie, prestatiebeproeving, merken," 2010.
- [29] Bureau voor Normalisatie, "NBN EN 779: Stoffilters voor algemene ventilatie - Bepaling van de filterprestatie," 2012.
- [30] Bureau voor Normalisatie, "NBN EN 12831 Guide."
- [31] Bureau voor Normalisatie, "NBN EN 12831 ANB," 2015.
- [32] Grundfos, "Magna 1," 2015.
- [33] W. Denkcens, "Expansiesystemen," 2008.
- [34] WTCB, "Rekenmodules." [Online]. Available: <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=tools&sub=calculator>.
- [35] A. Camps, *Ventilatietechnieken en luchtbehandeling 2*. PXL-PRESS, 2012.
- [36] Federale Overheidsdienst Werkgelegenheid Arbeid en Sociaal Overleg, "Ventilatie." [Online]. Available: <http://www.werk.belgie.be/defaultTab.aspx?id=607>.

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Vernieuwing van het klimaatbeheersingssysteem van het bureelgebouw van Jaga

Richting: **master in de industriële wetenschappen: energie-elektrotechniek**

Jaar: **2016**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Kaminski, Gert

Datum: **4/06/2016**