

Sturing van technieken in kantoorgebouwen: een energie-optimalisatie

Jens Dewever, Sébastien Hendrieckx

Promotor: prof. Patrick Ampe
Begeleider: Hilde Witters

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master of Science in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Vakgroep Elektronica en Informatiesystemen, Vakgroep
Industriële Technologie en Constructie
Voorzitter: prof. dr. ir. Rik Van de Walle
Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur
Academiejaar 2014-2015



Voorwoord

Voordat de onderwerpen van de masterproeven bekend waren, was het al duidelijk dat wij een onderwerp wilden die te maken had met hernieuwbare energie of energie-efficiëntie. Deze twee aspecten boeien ons omdat men in de toekomst meer en meer gebruik zal maken van hernieuwbare energie in combinatie met energie-efficiënte systemen. Aan het einde van het tweede semester van het derde jaar Bachelor of Science in de industriële wetenschappen bouwkunde kregen wij te horen welke onderwerpen er konden gekozen worden. Het uiteindelijke onderwerp lag dus voor de hand, namelijk ‘Sturing van technieken in kantoorgebouwen: een energie-optimalisatie’.

Graag willen wij onze dank betuigen aan enkele personen die ons gedurende het hele project begeleid en gesteund hebben. Vooreerst willen wij onze promotoren, de heer. ing. Anthony Tetaert, de heer ing. Leo Van Cauter en prof. ir. Patrick Ampe bedanken. Hun inzicht en advies waren een meerwaarde tot het volbrengen van deze masterproef. We willen ook prof. dr. ir. Jeriffa De Clercq bedanken voor haar hulp bij het oplossen van thermodynamische vergelijkingen. Als laatste willen wij ook onze vrienden en familie bedanken voor hun steun en begrip tijdens de moeilijke momenten.

Abstract

Sinds de invoering van de Europa 2020-strategie is er een grote evolutie in de groei van hernieuwbare energiebronnen en in het efficiënter gebruik van energie. Ook bij publieke, industriële en kantoorgebouwen, waar er een groot aantal technieken worden geïmplementeerd. Deze technieken worden afzonderlijk gestuurd met behulp van hun eigen stuurprogramma's. Het is naar energie-efficiëntie veel interessanter dat de verschillende technieken op elkaar afgestemd worden en er rekening gehouden wordt met de staat van het gebouw. Het koppelen van deze systemen kan met behulp van gebouwbeheerssoftware. Het effect van deze slimme sturing kan gesimuleerd worden met behulp van TRNSYS (*Transient System Simulation Tool*).

Het onderzoek is een casestudie waarbij gestart wordt met een reeds uitgewerkt ontwerp van een kantoorgebouw. Specifiek is dit het toekomstige gebouw van de sociale huisvestingsmaatschappij 'De gelukkig haard' uit Oostende. De technieken en de geometrie van het gebouw zijn opgelegd en het is de bedoeling om een sturingssysteem te ontwerpen voor de aanwezige technieken. Dit gebeurt stap voor stap in TRNSYS. De geometrie van het gebouw wordt ingegeven in TRNBuild. In dit programma worden alle bouwfysische gegevens omtrent het gebouw verzameld. Deze gegevens omvatten voornamelijk de opbouw van de wanden, de aanwezige ventilatie, de interne warmtewinsten en de verwarming. Deze gegevens kunnen allemaal constant verondersteld worden maar om een correcte simulatie te maken is dit niet opportuun. Zo zijn de ventilatie en de interne warmtewinsten afhankelijk van de aanwezigheid. De fysische gegevens zijn de enige die niet variabel kunnen worden gemaakt. Verder kan alles variabel worden gemaakt met behulp van inputparameters. Naast inputparameters zijn er ook outputparameters zoals de luchteigenschappen. Door deze parameters variabel te maken kan er een sturingssysteem ontwikkeld worden en een energiesimulatie gemaakt worden.

Het sturingssysteem voor de verschillende technieken, wordt opgebouwd in Simulation Studio aan de hand van *types* en *calculators*. Wanneer de systemen volledig geïmplementeerd zijn in de software, wordt de sturing uitvoerig getest aan de hand van simulaties. Er wordt een simulatie uitgevoerd voor een jaar alsook worden alle randvoorwaarden gecontroleerd. Als aan alle voorwaarden voldaan zijn, kunnen de resultaten als betrouwbaar worden beschouwd. Op basis van deze resultaten wordt een energieanalyse gemaakt.

Het resultaat van de energieanalyse, is dat het totaal jaarlijks energieverbruik 61983 kWh bedraagt en de totale jaarlijkse energieproductie van de zonnepanelen 43446 kWh bedraagt. Worden deze waarden vergeleken met standaardwaarden voor kantoorgebouwen, dan wordt er 80,7% energie bespaard. Deze energiebesparing kan gerelativeerd worden aangezien er geen rekening wordt gehouden met elektrische randapparaten zoals servers, kopieerapparaten, printers,...

Abstract English

Since the introduction of the Europe 2020 strategy there has been a major evolution in the growth of renewable energy and the efficient use of energy. Also, in public, industrial and office buildings where there are complex HVAC systems implemented. These techniques are controlled separately using their own algorithms. It is far more interesting to have a coordinated HVAC system to increase the energy efficiency. These systems can be linked using building management software. The effect of this intelligent control can be simulated using TRNSYS (Transient System Simulation Tool).

The research is a case study that starts with an already elaborated draft of an office building. Specifically, this is the future building of the Vlaamse huisvestigingsmaatschappij 'De gelukkige haard' located in Ostend. The techniques and the geometry of the building have been imposed and the intention is to design a control system for the implemented HVAC system. Step by step the control system will be created in TRNSYS. The geometry of the building is entered in TRNBuild. Here, all the data concerning the physical construction of the building is collected. These data include mainly the construction of walls, with proper ventilation, internal heat gains and heating. The data can all be assumed constant, but in order to make a correct simulation this is not expedient. Thus, the ventilation and the internal gains are dependent on the occupancy. The physical data are the only ones that cannot be made variable. Furthermore, everything can be made variable by inserting input parameters. In addition to the input parameters, there are also output parameters such as the air properties. When these parameters are made variable, a control system can be developed to create an energy simulation.

The control system for the techniques available in this building are constructed in Simulation Studio based on types and calculators. When the techniques are fully implemented in the software, the control system is tested extensively. A simulation is carried out for a year and verifies whether all the preconditions are met. If all the conditions are met, the results are considered reliable. Based on these results, an energy analysis can be made.

The main result of the energy analysis is the total annual energy consumption which amounts to 61983 kWh. The total annual energy production for the solar panels totals at 43446 kWh. 80,7% energy is being saved when these values are compared with an average annual consumption for office buildings. The high percentage of energy savings can be criticized based on electrical devices which are not included in this simulation. Examples are servers, copiers, printers,...

Inhoudsopgave

Voorwoord	IV
Abstract	V
Abstract English	VI
Inhoudsopgave	VII
Figurenlijst	X
Tabellenlijst.....	XIII
Literatuurstudie	15
1. Europa 2020-strategie	15
1.1. Reductie van broeikasgassen.....	15
1.2. Toename aandeel duurzame energie	15
1.3. Verhogen energie-efficiëntie.....	16
1.4. Vooruitgang in België	16
1.4.1. Progressie doelstelling broeikasgassen	17
1.4.2. Prognose doelstelling hernieuwbare energie.....	17
1.4.3. Prognose doelstelling primair energieverbruik	17
2. Technische installaties.....	18
2.1. Balansventilatie met warmterecuperatie (systeem D)	18
2.1.1. Algemeen	18
2.1.2. Warmterecuperatie	19
2.2. Energiepalen.....	20
2.2.1. Uitvoering.....	20
2.3. Verticale water/water warmtepomp met buffervaten	21
2.3.1. Principe	21
2.3.2. Werking.....	21
2.3.3. EPB-regelgeving	23
2.4. Vloerverwarmingssysteem met luchtverwarming	24
2.5. Fotovoltaïsche zonne-energie.....	25
2.5.1. Algemeen	25
2.5.2. Werking.....	25
2.5.3. Efficiëntie	26
2.5.4. Installatie	27

2.5.5.	Opbrengst	27
2.6.	Verlichting.....	27
3.	Sturingsparameters	28
3.1.	Bezetting.....	28
3.1.1.	Actieve rol.....	28
3.1.2.	Passieve rol.....	28
3.1.3.	CO ₂ -sensoren.....	30
3.1.4.	Schema's	32
3.2.	Richtlijnen en normering omtrent ventilatie.....	33
3.2.1.	Basisclassificatie van de binnenluchtkwaliteit	33
3.2.2.	Classificatie van de afvoerluchtkwaliteit	33
3.2.3.	Regelingsmogelijkheden voor de binnenluchtkwaliteit (IDA-C).....	35
3.3.	Thermisch comfort	35
3.4.	Oververhitting	36
3.5.	Warmtewinsten (Energie Vlaanderen, 2015)	37
3.6.	Grondtemperatuur	38
Onderzoek		39
1.	TRNBuild.....	39
1.1.	Oriëntering	40
1.2.	Zonering	40
1.2.1.	Layer type manager.....	40
1.2.2.	Wall type manager	41
1.2.3.	Window type manager	42
1.2.4.	Definiëring zones	42
1.3.	Technieken	45
1.3.1.	Heating types.....	45
1.3.2.	Ventilation types	46
1.4.	Resterende type managers	47
1.5.	Parameters binnen een zone	47
1.5.1.	Gains	47
1.5.2.	Initial values	48
1.5.3.	Humidity models	48
2.	Simulation studio.....	49

2.1.	Template.....	50
2.1.1.	Types	50
2.1.2.	Links tussen parameters	51
2.2.	Ventilatie	52
2.2.1.	Sturing op bezetting	52
2.2.2.	Bepaling aanvoer-, doorvoer- en afvoerdebieten	56
2.2.3.	Componenten systeem D.....	58
2.2.4.	Nachtventilatie	64
2.2.5.	Voorverwarming	67
2.2.6.	Voorkoeling.....	69
2.2.7.	Controle en correctie	72
2.3.	Warmteopwekking	78
2.3.1.	Warmtepomp.....	78
2.3.2.	Warmtebronicircuit	82
2.3.3.	Verwarmingscircuit.....	86
2.3.4.	Afgiftesystemen	91
2.4.	Controle en optimalisatie	102
2.4.1.	Temperatuurcontrole	102
2.4.2.	Herdefiniëring van de ramen.....	107
2.4.3.	Normcontrole	108
2.4.4.	Bijkomende technieken	110
2.4.5.	Vochtigheid	115
2.4.6.	Energie optimalisatie.....	116
2.5.	Zonnepanelen	119
2.5.1.	Effective sky temperature.....	119
2.5.2.	Simple Photovoltaic System.....	120
2.5.3.	Controle.....	121
2.6.	Andere elektrische verbruikers.....	122
	Besluit	123
	Discussie	127
	Literatuurlijst.....	128

Figurenlijst

Figuur 1: Vooruitgang van de lidstaten voor de 2020 klimaat- en energiedoelstellingen (EEA, 2014)	16
Figuur 2: Trends en prognoses uitstoot broeikasgassen (Dejean, 2014)	17
Figuur 3: Verbruik in hernieuwbare energie (Dejean, 2014)	17
Figuur 4: Primair en finaal energieverbruik (Dejean, 2014)	17
Figuur 5: Basisprincipe balansventilatiesysteem (Zehnder)	18
Figuur 6: Principe van een warmtewiel (Boonstra, 2015)	19
Figuur 7: Principe van een kruisstroomwarmtewisselaar (Boonstra, 2015)	19
Figuur 8: Principeschema energiepalen (Wigpalen, 2012)	20
Figuur 9: Werkingssprincipe van de warmtepomp (WTCB, 2011)	21
Figuur 10: Omgekeerd Carnotproces voor warmtepompen (Philschatz, 2014)	22
Figuur 11: Principeschets werking fotovoltaïsch zonnecel (BIM, 2011)	25
Figuur 12: De installatie van fotovoltaïsche zonnepanelen (Energie-technologie, 2010)	27
Figuur 13: Schema's energieverbruik van verlichting, geleverd elektrisch vermogen en aanwezigheid (Hong, 2014)	29
Figuur 14: Resultaten energieverbruik met sturing op bezetting (Hong, 2014)	29
Figuur 15: Energieverbruik in vergelijking met aanwezigheid (Masoso & Grobler, 2010)	30
Figuur 16: Simulatie van het algoritme (Cali et al., 2015)	31
Figuur 17: Schema van bezetting met 95% betrouwbaarheidsinterval (Zhao et al., 2014)	32
Figuur 18: Basisschema weekdag (Autodesk, 2015)	32
Figuur 19: Basisschema weekend (Autodesk, 2015)	32
Figuur 20: Invloed van de luchttemperatuur en zoninstraling op de bodemtemperatuur (Geelen et al., 2003)	38
Figuur 21: Bodemtemperatuur in Aalter (Robeyn & Hoes, 2011)	38
Figuur 22: Bepaling van de oriëntering	40
Figuur 23: Definiëring van de layer type PIR	40
Figuur 24: Definiëring van de <i>wall type</i> KELDER_MUUR	41
Figuur 25: Voorbeeld van ingegeven parameters voor de <i>wall type</i> KELDER_MUUR	41
Figuur 26: Eigenschappen van het standaardraam	42
Figuur 27: Definiëring van de zone V1_A0_E5	43
Figuur 28: Aan te vullen parameters bij <i>external wall</i>	44
Figuur 29: Aan te vullen parameters bij <i>boundary</i>	44
Figuur 30: Aan te vullen parameters bij <i>adjacent wall</i>	44
Figuur 31: Definiëren van een <i>heating type</i>	45
Figuur 32: Koppelen van <i>heating type</i> aan de zone	45
Figuur 33: Definiëring van een doorvoer <i>ventilation type</i>	46
Figuur 34: Koppelen van <i>ventilation type</i> aan de zone	46
Figuur 35: Bepaling van de interne winsten in een zone	48
Figuur 36: Startwaarden zonetemperatuur en relatieve vochtigheid in een zone	48
Figuur 37: Weergave template in Simulation Studio met links	50
Figuur 38: Aanwezigheidsschema voor de burelen	52
Figuur 39: Aanwezigheidsschema voor de keuken	53
Figuur 40: Aanwezigheidsschema voor de personeelsruimte	53

Figuur 41: Aanwezigheidsschema voor de vergaderzaal	54
Figuur 42: Aanwezigheidsschema voor evenement	54
Figuur 43: Weergave van de schema's in Simulation Studio	55
Figuur 44: Weergave van de <i>calculators</i> in Simulation Studio	57
Figuur 45: Weergave 'Controle Centrum' in Simulation Studio	66
Figuur 46: Weergave ventilatiesysteem D in Simulation studio	71
Figuur 47: Grafiek van het aanvoerdebiet en aanwezigheid in V1_A5_H6	73
Figuur 48: Grafiek van het aanvoerdebiet en aanwezigheid in V2_C6_G7	74
Figuur 49: Grafiek van het aanvoerdebiet in V1_G0_H2	74
Figuur 50: Grafiek van het aanvoerdebiet in V2_G2_I7	75
Figuur 51: Grafiek van het aanvoerdebiet in V1_B1_G2	75
Figuur 52: Grafiek van het aan- en doorvoerdebiet in zone V2_C6_G7	76
Figuur 53: Grafiek van de verschillende debieten in zone V2_A4_C7	76
Figuur 54: Grafiek van het afvoerdebiet in V1_C4_E5	77
Figuur 55: Temperaturen in buffervat van 1 m	88
Figuur 56: Temperatuur in buffervat van 5m	88
Figuur 57: Moduleerbare warmtepomp	90
Figuur 58: Niet-moduleerbare warmtepomp	90
Figuur 59: Grafiek koelingsvraag voor koeling	91
Figuur 60: Grafiek verwarmingsvraag voor verwarming	93
Figuur 61: Grafiek verwarmingsvraag vloerverwarming	96
Figuur 62: Weergave warmteopwekking systeem in Simulation Studio	101
Figuur 63: Grafiek van de temperaturen in de extreemste zones op het gelijkvloers met enkel ventilatie	102
Figuur 64: Grafiek van de temperaturen in de extreemste zones op de eerst verdieping met enkel ventilatie	102
Figuur 65: Grafiek van de temperaturen in de extreemste zones op het gelijkvloers met ventilatie en warmteopwekking	103
Figuur 66: Grafiek van de temperaturen in de extreemste zones op de eerste verdieping met ventilatie en warmteopwekking	103
Figuur 67: Grafiek van de aanvoertemperatuur onder invloed van de warmtewisselaar	104
Figuur 68: Grafiek van de temperaturen in de extreemste zones op het gelijkvloers met ventilatie, warmteopwekking, voor koeling en voor verwarming	105
Figuur 69: Grafiek van de temperaturen in de extreemste zones de eerst verdieping met ventilatie, warmteopwekking, voor koeling en voor verwarming	105
Figuur 70: Grafiek van de temperaturen in de extreemste zones op het gelijkvloers met ventilatie, warmteopwekking, voor koeling, voor verwarming en nachtventilatie	106
Figuur 71: Grafiek van de temperaturen in de extreemste zones de eerst verdieping met ventilatie, warmteopwekking, voor koeling, voor verwarming en nachtventilatie	106
Figuur 72: Parameters van een isolerend raam	107
Figuur 73: Grafiek van de temperatuur van de extractielucht met ventilatie, warmteopwekking, voor koeling en voor verwarming	108

Figuur 74: Grafiek van de temperatuur van de extractielucht met ventilatie, warmteopwekking, verkoeling, voorverwarming en nachtventilatie.....	109
Figuur 75: Definiëring van zonnewering	110
Figuur 76: Oppervlaktestraling per windrichting.....	111
Figuur 77: Links met de <i>calculator Shading</i>	111
Figuur 78: Grafiek van de temperatuur van de extractielucht met ventilatie, warmteopwekking, verkoeling, voorverwarming, nachtventilatie en zonnewering	112
Figuur 79: Grafiek van de temperatuur van de extractielucht met ventilatie, warmteopwekking, verkoeling, voorverwarming, nachtventilatie, zonnewering en extra koeling	114
Figuur 80: Grafiek met de gemiddelde relatieve vochtigheid van de verschillende zones	115
Figuur 81: Grafiek met temperatuur van het warm buffervat en de vermogensstanden van de warmtepomp.....	116
Figuur 82: Grafiek met temperatuur van het warm buffervat en de vermogensstanden van de geoptimaliseerde warmtepomp	117
Figuur 83: Grafiek in het koud buffervat	117
Figuur 84: Grafiek van de cumulatieve energieproductie van de zonnepanelen.....	121
Figuur 85: Grafiek van het verbruik van de ventilatoren	123
Figuur 86: Grafiek van het energieverbruik van de circulatiepompen.....	123
Figuur 87: Grafiek van het energieverbruik van de warmtepomp	124
Figuur 88: Grafiek van het energieverbruik van de elektronica.....	124
Figuur 89: Grafiek van het energieverbruik van de elektrische weerstand van het warm buffervat...	124
Figuur 90: Samenvatting van de energieanalyse.....	125

Tabellenlijst

Tabel 1: Efficiëntie van de verschillende fotovoltaïsche technologieën (Photon International Modules Survey, 2009)	26
Tabel 2: Basisclassificatie van de binnenluchtkwaliteit volgens NBN EN 13779	33
Tabel 3: Classificatie van de afvoerluchtkwaliteit volgens NBN EN 13779	33
Tabel 4: Regelingsmogelijkheden voor binnenluchtkwaliteit volgens NBN EN 13779	35
Tabel 5: Kwantificering van eisen inzake thermisch comfort (NBN EN ISO 7730, CR 1752, Nederlandse Rijksgebouwendienst)	35
Tabel 6: Metabolische equivalenten t.o.v. van fysieke inspanning volgens NBN EN ISO 7730	37
Tabel 7: Parameters van de type <i>Weather Data</i>	51
Tabel 8: Links tussen <i>Weather Data</i> en <i>Multi-zone Building</i>	51
Tabel 9: De maximum bezetting in een bepaalde zone	55
Tabel 10: Parameters van de type <i>Variable Speed Fan</i>	58
Tabel 11: Parameters van de type <i>Air Diverting Valve</i>	59
Tabel 12: Links tussen <i>Air Diverting Valve</i> en <i>Multi-zone Building</i>	59
Tabel 13: Parameters van de type <i>Air Mixing Valve</i>	60
Tabel 14: Links tussen <i>Multi-zone Building</i> en <i>Air Mixing Valve</i>	60
Tabel 15: Parameters van de type <i>Sensible Air to Air Heat Recovery</i>	61
Tabel 16: Links met <i>Sensible Air to Air Heat Recovery</i>	62
Tabel 17: Links tussen <i>Sensible Air to Air Heat Recovery</i> en <i>Diverter</i>	62
Tabel 18: Parameters van de type <i>Variable Speed Fan</i>	63
Tabel 19: Links tussen <i>Sensible Air to Air Heat Recovery</i> en <i>Variable Speed Fan</i>	63
Tabel 20: Parameters van de type <i>ON/OFF Differential Controller</i>	64
Tabel 21: Links met <i>ON/OFF Differential Controller</i>	64
Tabel 22: Parameters van de type <i>Auxiliary Heater_Air</i>	67
Tabel 23: Parameters van de type <i>Auxiliary Heater_Water</i>	68
Tabel 24: Links met <i>Auxiliary Heater_Air</i>	68
Tabel 25: Links met <i>Auxiliary Heater_Water</i>	68
Tabel 26: Parameters van de type <i>Cooling Device_Air</i>	69
Tabel 27: Parameters van de type <i>Cooling Device_Water</i>	69
Tabel 28: Links met <i>Cooling Device_Air</i>	70
Tabel 29: Links met <i>Cooling Device_Water</i>	70
Tabel 30: Parameters van de type <i>Psychrometrics: Dry Bulb Temperature and Humidity Ratio Known</i>	70
Tabel 31: Links met <i>Psychrometrics: Dry Bulb Temperature and Humidity Ratio Known</i>	70
Tabel 32: Parameters van de type <i>ON/OFF Differential Controller</i>	72
Tabel 33: Links met <i>ON/OFF Differential Controller</i>	73
Tabel 34: Parameters van de type <i>Water to Water Heat Pump</i>	79
Tabel 35: Parameters van de type <i>ON/OFF Differential Controller</i>	81
Tabel 36: Links tussen calculator 'Sturing Pompen' en <i>Water to Water Heat Pump</i>	81
Tabel 37: Parameters van de type <i>Variable Speed Pump</i>	83
Tabel 38: Links met <i>Variable Speed Pump</i>	84
Tabel 39: Parameters van de type <i>Storage Tank Cold</i>	85

Tabel 40: Links met <i>Storage Tank Cold</i>	86
Tabel 41: Parameters van de type <i>Variable Speed Pump</i>	87
Tabel 42: Links met <i>Variable Speed Pump</i>	87
Tabel 43: Parameters van de type <i>Storage Tank Warm</i>	89
Tabel 44: Links met <i>Storage Tank Warm</i>	89
Tabel 45: Parameters van de type <i>Variable Speed Pump</i>	92
Tabel 46: Links met <i>Variable Speed Pump</i>	92
Tabel 47: Links met calculator 'Voorkoeling'	93
Tabel 48: Parameters van de type <i>Variable Speed Pump</i>	94
Tabel 49: Links met <i>Variable Speed Pump</i>	94
Tabel 50: Links met calculator 'Voorkoeling'	95
Tabel 51: Parameters van de type <i>Mixing Valve for Fluids</i>	95
Tabel 52: Links met <i>Mixing Valve for Fluids</i>	95
Tabel 53: Parameters van de type <i>Variable Speed Pump</i>	97
Tabel 54: Links met de type <i>Variable Speed Pump</i>	97
Tabel 55: Parameters van de type <i>Fluid Diverting Valve</i>	98
Tabel 56: Links met de type <i>Fluid Diverting Valve</i>	98
Tabel 57: Parameters van de type <i>Pipe</i>	99
Tabel 58: Lengtes per verwarmingskring	99
Tabel 59: Links tussen <i>Fluid Diverting Valve</i> en <i>Pipe</i>	99
Tabel 60: Parameters voor de type <i>Mixing Valve for Fluids</i>	100
Tabel 61: Links met de type <i>Mixing Valve for Fluids 2</i>	100
Tabel 62: Temperatuuroverschrijding met ventilatie, warmteopwekking, voorkoeling en voorverwarming	108
Tabel 63: Temperatuuroverschrijding met ventilatie, warmteopwekking, voorkoeling, voorverwarming en nachtventilatie	109
Tabel 64: Grenswaarden van de oppervlaktestraling per windrichting	111
Tabel 65: Temperatuuroverschrijding met ventilatie, warmteopwekking, voorkoeling, voorverwarming, nachtventilatie en zonnewering	112
Tabel 66: Temperatuuroverschrijding met ventilatie, warmteopwekking, voorkoeling, voorverwarming, nachtventilatie, zonnewering en extra koeling	114
Tabel 67: Parameters bij de type <i>Effective sky temperature for long-wave radiation exchange</i>	119
Tabel 68: Links tussen <i>Weather data</i> en <i>Effective sky temperature for long-wave radiation exchange</i>	119
Tabel 69: Parameters van de type <i>Simple Photovoltaic System: no Cover and Constant Efficiency</i> ..	120
Tabel 70: Links met de type <i>Simple Photovoltaic System: no Cover and Constant Efficiency</i>	120
Tabel 71: Energieverbruik op jaarbasis	125

Literatuurstudie

1. Europa 2020-strategie

De Europese Unie (EU) stelde op 17 juni 2010 een tienjarenplan op met als prioriteit een concurrerende economie te ontwikkelen met meer werkgelegenheid. Dit moet leiden tot een slimme, duurzame en inclusieve groei met de nadruk op nieuwe banen en armoedebestrijding. Eén van de vijf kerndoelstellingen is gericht op de klimaatverandering en duurzame energievoorziening. Hierbij is de EU vastbesloten om de gemiddelde wereldwijde temperatuurstijging tot 2°C boven het pre-industrieel niveau te beperken. De Europa 2020-strategie stelt hiertoe drie doelstellingen inzake het klimaat- en energiebeleid die bereikt moeten worden in 2020. (De Europese Commissie, 2015)

1.1. Reductie van broeikasgassen

De eerste doelstelling is de uitstoot van broeikasgassen reduceren met 20% ten opzichte van 1990. Hierbij wordt ook de uitstoot van de internationale luchtvaart ingerekend. De belangrijkste beleidsinstrumenten om de doelstelling te halen, zijn de EU Emissions Trading system (EU ETS) en de Effort Sharing Decision (ESD). Deze instrumenten gebruiken 2005 als basisjaar waardoor de doelstelling van 20%, ten opzichte van 1990, vertaald wordt in 14% vermindering ten opzichte van 2005. De EU ETS stelt jaarlijkse limietwaarden op voor elektriciteitscentrales, industriële installaties en de luchtvaartindustrie. Dit laat de lidstaten toe om onderling in emissierechten te verhandelen. De limietwaarde wordt elk jaar kleiner om tegen 2020 een emissiereductie te verkrijgen van 21% ten opzichte van 2005. De ESD legt jaarlijks bindende doelstellingen vast per lidstaat voor de uitstoot van sectoren die niet onder de EU ETS vallen. De doelstelling per lidstaat kan variëren tussen 20% reductie en 20% stijging van de emissie van broeikasgassen. Een stijging is enkel het geval bij minder rijke economieën waardoor er een grote economische groei gecreëerd kan worden. Het is de bedoeling om in totaal 10% emissie van broeikasgassen in ESD-sectoren te reduceren tegen 2020 en dit ten opzichte van 2005. (De Europese Commissie, 2015; EEA, 2014)

1.2. Toename aandeel duurzame energie

Het tweede doel van de Europa 2020-strategie is om het aandeel van de hernieuwbare energie in het bruto finaal energieverbruik te verhogen tot 20%. De expansie van hernieuwbare energiebronnen vermindert de afhankelijkheid van geïmporteerde brandstoffen. Het importeren van brandstoffen zorgt voor een te hoge prijsvolatiliteit, aanzienlijke kosten en risico op tekorten. Hernieuwbare energie, waarvan het meeste in eigen land wordt gekocht, vermindert deze risico's. Ze genereren ook meer van hun toegevoegde waarde binnen de EU, in tegenstelling tot de ingevoerde fossiele brandstoffen. Duurzame energie kan onder andere opgewekt worden uit waterkracht, windenergie, zonne-energie en aardwarmte. Biomassa, de enige energiebron die in elke sector wordt gebruikt, blijft veruit de belangrijkste bron in de EU. De grootste energiebron voor elektriciteit blijft waterkracht, maar deze zal in de toekomst bijgehaald worden door de snelle ontwikkeling van biogas, zonne-energie en windenergie. De energie voor verwarming en koeling wordt voornamelijk gehaald uit biomassa, biogas, thermische zonne-energie en warmtepompen. (De Europese Commissie, 2015; EEA, 2014)

1.3. Verhogen energie-efficiëntie

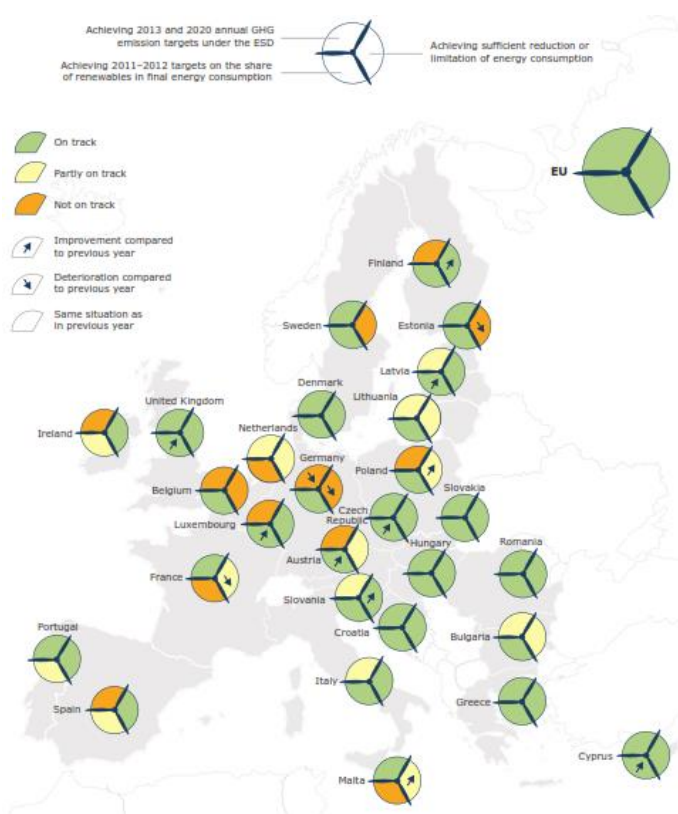
De centrale doelstelling omvat het verbeteren van de energie-efficiëntie met 20%. Het leveren van eenzelfde dienst of product, maar met minder energie, is één van de meest kosteneffectieve opties voor het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen. Dit betekent dat het Europees energieverbruik in 2020 niet meer mag zijn dan 1483 *million tonnes of oil equivalent* (Mtoe) primaire energie of 1086 Mtoe finale energie. Primair energieverbruik omvat alle bruto binnenlands energieverbruik, behalve energiedragers ingezet voor niet-energetische doeleinden. Finaal energieverbruik bestaat alleen uit het energieverbruik van de eindgebruiker. Het verschil tussen deze twee vormen van energieverbruik is gelijk aan de energie die verloren gaat tijdens energieomzetting, energietransmissie en energiedistributie. (De Europese Commissie, 2015; EEA, 2014)

1.4. Vooruitgang in België

De economische omstandigheden in elk land zijn verschillend, waardoor de EU-doelstellingen omgevormd worden tot nationale doelstellingen. Voor België gelden de volgende drie waarden:

- 15% minder uitstoot van broeikasgassen dan in het basisjaar 2005;
- 13% van de energie uit duurzame energiebronnen halen;
- 18% reductie in primair energieverbruik.

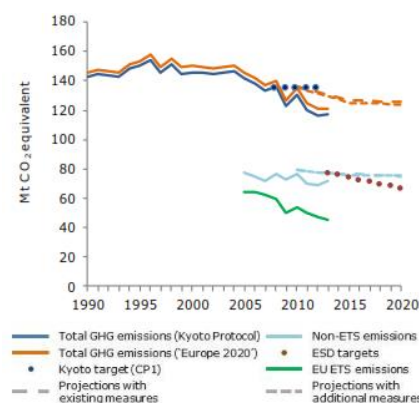
Sinds 2010 stelt het European Environment Agency (EEA) elk jaar een voortgangsrapport op per lidstaat. In 2014 werd uit deze rapporten geconcludeerd dat de EU op schema ligt om de klimaat- en energiedoelstellingen te halen. Zoals weergegeven in figuur 1 hinkt België op twee van zijn drie doelstellingen achterop. (Dejean, 2014; EEA, 2014)



Figuur 1: Vooruitgang van de lidstaten voor de 2020 klimaat- en energiedoelstellingen (EEA, 2014)

1.4.1. Progressie doelstelling broeikasgassen

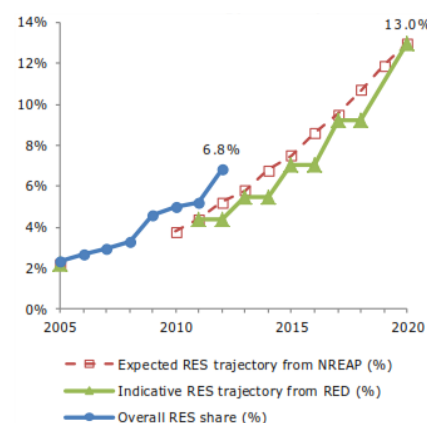
Het ESD stelt jaarlijks een emissiegrens op waaraan een lidstaat moet voldoen. Voor het jaar 2013 zit België, met 8,4% minder emissie, ruim onder de ESD-doelstelling van 1,6% reductie in de uitstoot van broeikasgassen. Daarentegen geven prognoses aan dat België het ESD-doel van 2020 niet zal halen, ondanks de geplande maatregelen in 2013. Er zullen extra inspanningen moeten geleverd worden om deze doelstelling te halen tegen 2020. (Dejean, 2014)



Figuur 2: Trends en prognoses uitstoot broeikasgassen (Dejean, 2014)

1.4.2. Prognose doelstelling hernieuwbare energie

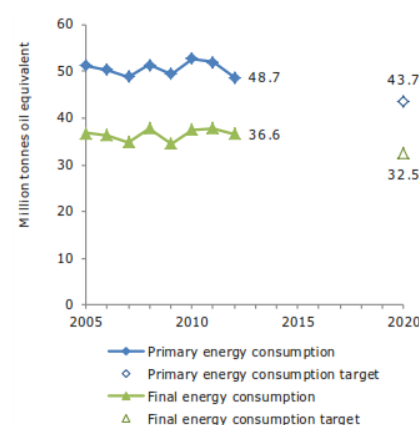
Het gemiddelde aandeel van hernieuwbare energiebronnen in het bruto eindverbruik van energie van 2011-2012 was 6% in België. Dit is hoger dan de doelstelling van dat jaar, namelijk 4,4%. Momenteel betekent dit een gemiddeld jaarlijkse groei van 16,5%. Om de doelstelling te halen heeft België een gemiddeld jaarlijkse groei nodig van 9,9% in aanloop naar 2020. Dit komt ongeveer neer op 1,7 keer de cumulatieve inspanningen tot nu toe. (Dejean, 2014)



Figuur 3: Verbruik in hernieuwbare energie (Dejean, 2014)

1.4.3. Prognose doelstelling primair energieverbruik

De verlaging van zowel het primair als het finaal energieverbruik tussen 2005 en 2012 is niet genoeg om aan de doelstellingen van 2020 te voldoen. Verbetering van de conversie-efficiëntie voor de productie van elektriciteit en energie-efficiëntie in de industrie, zou het primair energieverbruik kunnen helpen verminderen. (Dejean, 2014)



Figuur 4: Primair en finaal energieverbruik (Dejean, 2014)

2. Technische installaties

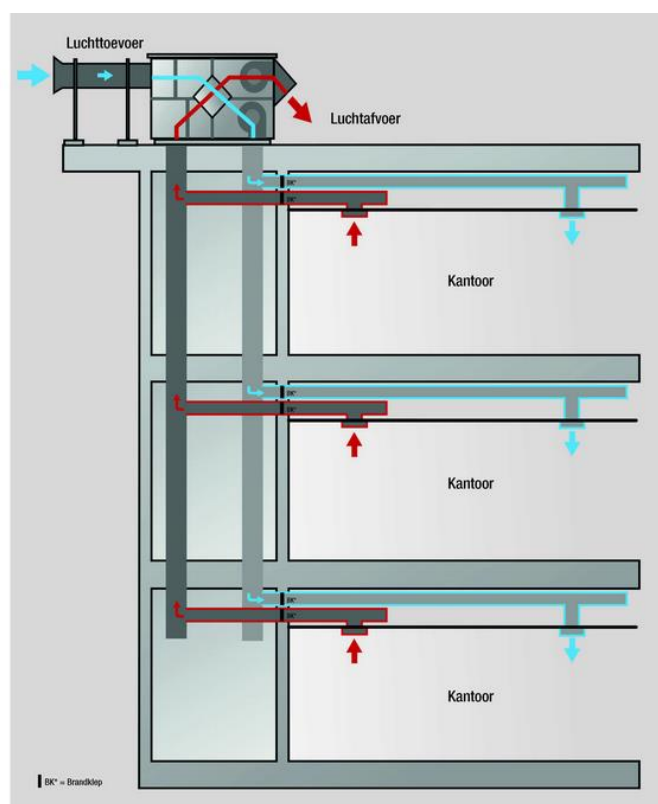
2.1. Balansventilatie met warmterecuperatie (systeem D)

2.1.1. Algemeen

Dit type van ventilatie is ontstaan door de evolutie in het passief bouwen. Het beter isoleren en het luchtdicht maken van gebouwen had als gevolg dat er geen verse lucht meer binnen kwam. Met balansventilatie wordt de binnenlucht, op basis van een mechanische aan- en afvoer, continu ververst ondanks het luchtdichte karakter van sommige gebouwen. Er wordt evenveel verse gefilterde buitenlucht aangevoerd naar droge ruimtes, als er vervuilde en vochtige binnenlucht wordt afgevoerd uit vochtige en/of droge ruimtes. Het is mogelijk om het systeem vraaggestuurd te programmeren zodat de ventilatiebehoefte berekend kan worden op basis van de luchtkwaliteit in een ruimte.

Het voordeel van een balansventilatie is dat de luchtkwaliteit in het gebouw steeds optimaal is door het compleet gecontroleerd systeem. Een ander groot voordeel is de mogelijkheid tot warmterecuperatie. Dit gebeurt door de koude buitenlucht te laten kruisen met de warme binnenlucht. Een esthetisch pluspunt is het feit dat er geen raamroosters of gevelroosters meer nodig zijn.

Een van de nadelen van dit systeem is dat de rendabiliteit niet optimaal benut kan worden bij niet goed geprogrammeerde systemen en bij slecht geïsoleerde gebouwen met onvoldoende luchtdichtheid. Ook moeten de filters op regelmatige basis schoongemaakt of vervangen worden. Een laatste nadeel is de geluidshinder wanneer er gekozen wordt voor een goedkoper balansventilatiesysteem. (Devree; Selfmatic; Viento bvba, 2008; Zehnder)



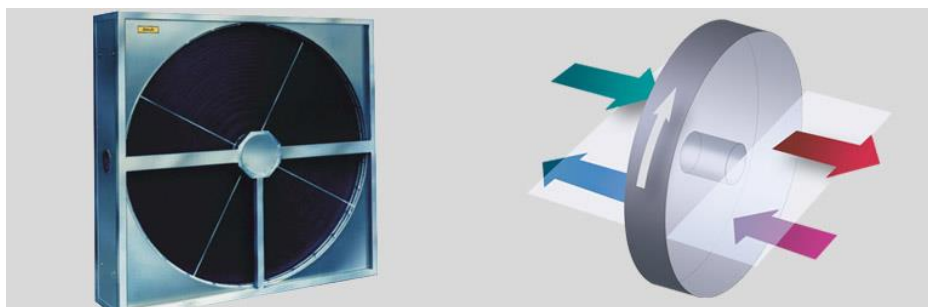
Figuur 5: Basisprincipe balansventilatiesysteem (Zehnder)

2.1.2. Warmterecuperatie

In de meeste gevallen wordt een balansventilatiesysteem gecombineerd met een warmtewisselaar. Hierbij wordt de warmte van de afgevoerde binnenlucht gebruikt om de aangezogen verse buitenlucht op te warmen. In een optimale situatie kan tot 90% van de warmte gerecupereerd worden. Via een bypass kan de doorstroom via de warmtewisselaar vermeden worden om bijvoorbeeld de binnenlucht sneller af te koelen in de zomer. De warmtewisselaar is ofwel een warmtewiel of een kruisstroomsysteem.

➤ Warmtewiel

Een warmtewiel is opgebouwd uit kleine aluminium buisjes. Het principe is gebaseerd op een warmte-accumulerend element in de vorm van een wiel. De afgevoerde lucht warmt de bovenste helft van het wiel op en door de rotatie van het wiel kan deze warmte afgegeven worden aan de toegevoerde lucht aan de onderkant van het wiel. Door het toerental te regelen, kan de temperatuur van de aangevoerde lucht constant blijven. Een nadeel aan dit systeem is dat ter hoogte van de horizontale diameter van het warmtewiel een miniem luchtverlies optreedt van de afgevoerde naar de aangevoerde lucht. Een voordeel aan dit verlies is dat er vochtterugwinning mogelijk is waardoor de binnenlucht niet te droog wordt.



Figuur 6: Principe van een warmtewiel (Boonstra, 2015)

➤ Kruisstroomsysteem

Bij warmteterugwinning met een kruisstroomsysteem bestaat de warmtewisselaar uit aluminium platen of RVS (roestvaststaal) die afwisselend vlak en gegolfd zijn uitgevoerd. Langs deze platen stroomt de toevoer- en afvoerlucht gescheiden van elkaar. Hierbij warmt de afvoerlucht de platen op en de toevoerlucht neemt deze warmte op. Het voordeel van dit systeem is dat de luchtstromen gescheiden blijven van elkaar. De hogere drukval en het feit dat er geen vochtterugwinning mogelijk is zijn enkele nadelen. (Boonstra, 2015; Devree; Viento bvba, 2008)



Figuur 7: Principe van een kruisstroomwarmtewisselaar (Boonstra, 2015)

2.2. Energiepalen

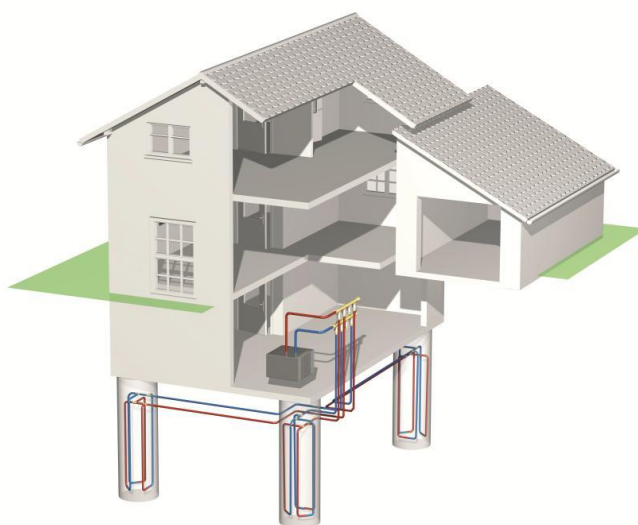
Een energiepaal is een funderingspaal die gebruikt wordt om de stabiliteit van het gebouw te waarborgen en ook de mogelijkheid heeft om warmte uit de grond te halen. Dit is een dubbel grondverdringende schroefpaal die in de grond geboord wordt en voorzien is met PE-Xa Plus buizen. Op deze buizen kan het warmtebroncircuit van een warmtepomp aangesloten worden. Een mengsel van glycol en water wordt door deze buizen gestuurd om aardwarmte uit de grond te onttrekken.

Het grote voordeel van een energiepaal is de reductie in CO₂-uitstoot en energieverbruik. Een gebouw gefundeerd op energiepalen levert zijn eigen energie door gebruik te maken van aardwarmte. Deze aardwarmte wordt verbonden met een warmtepomp zodat het gebouw kan opwarmen in de winter en afkoelen in de zomer. Hierbij is er een winst van 40% op de CO₂-uitstoot en daalt het energieverbruik met maximaal 60%.

2.2.1. Uitvoering

Tijdens de voorbereiding wordt er bepaald welke palen energiepalen worden. Hierbij wordt er rekening gehouden met de minimum tussenafstand van vier meter tussen twee energiepalen. Verder wordt aan de hand van een grondsondering de bodemgesteldheid gecontroleerd om te bepalen of de ondergrond geschikt is om dit type van funderingspalen uit te voeren. Uiteindelijk wordt bekeken of het aantal energiepalen zal voldoen aan de totale energiebehoefte.

Op de werf worden de energiebuizen in de wapening geplaatst, waardoor de mantel van de buizen beschermd is. Per paal kunnen twee lussen ingewerkt worden. De uiteinden van de buizen worden met pluggen afgesloten zodat er geen beton inloopt tijdens het vormen van de energiepaal. Vervolgens worden de dubbel grondverdringende schroefpalen in de grond gevormd. Er wordt gekozen voor deze uitvoeringswijze omdat hierbij geen grond naar boven komt en omdat er snel en trillingsvrij kan gewerkt worden. De wapeningskorf, met daarin de energiebuizen, wordt in het verse beton van de gevormde paal geduwd. De boorkop komt terug omhoog en laat een gewapende energiepaal over. Als laatste stap worden de buizen gereinigd en onderworpen aan een druktest. (Wigpalen, 2012)



Figuur 8: Principeschema energiepalen (Wigpalen, 2012)

2.3. Verticale water/water warmtepomp met buffervaten

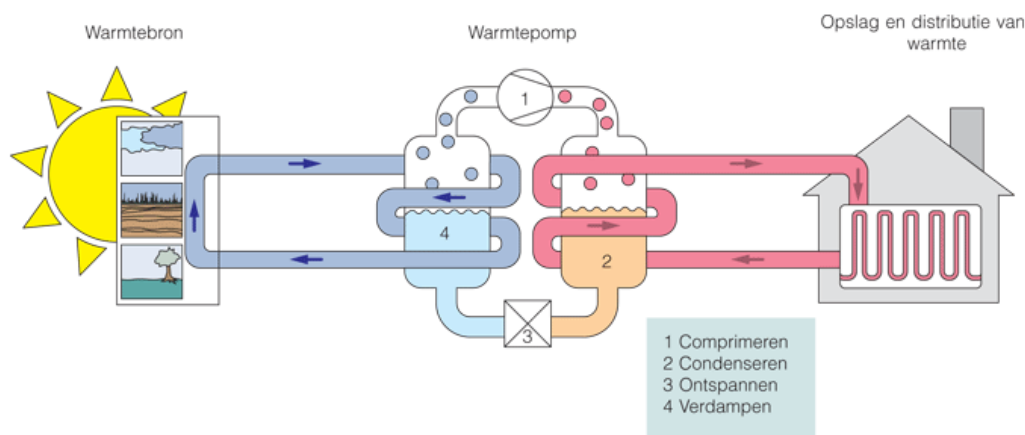
2.3.1. Principe

Een verticale water/water warmtepomp benut warmte uit de bodem en brengt deze van een relatief lage temperatuur naar een hogere temperatuur. Deze warmte kan aangewend worden voor de centrale verwarming, het sanitair warm water of andere warmteafgiftesystemen. De meeste warmtepompen verbruiken elektriciteit voor deze bewerking, maar doen dit op een efficiënte manier. Zo kan een warmtepomp, die bijvoorbeeld 1 kWh elektriciteit verbruikt, warmte uit de grond halen en 4 kWh afleveren aan het gebouw. Dit rendement wordt de *coefficient of performance* (COP) genoemd.

Op bepaalde momenten produceert de warmtepomp warmte of warm water waar er op dat moment geen behoefte aan is. Deze overtollig geproduceerde warmte kan worden opgevangen in een buffervat. De vaten kunnen 300 tot 2000 liter water opslaan. De laatste reeks buffervaten zijn thermisch gelaagd. Dit wil zeggen dat de warmte in de buffervaten wordt opgeslagen in verschillende temperatuurlagen. Afhankelijk van de toepassing, wordt de warmte uit een bepaalde laag gehaald. Vloerverwarming heeft bijvoorbeeld een aanvoertemperatuur nodig van 35°C en sanitair warm water 60°C. (Devree; Kuypers, 2012; WTCB, 2011)

De belangrijkste voordelen van een warmtepomp is het zeer laag verbruik en de lage CO₂-uitstoot. Ook kan het volledige systeem omgekeerd gebruikt worden om actief te koelen. Een nadeel aan het systeem is dat de opwarming trager verloopt, omdat dit bij lagere temperaturen gebeurt. Het is ook een grote investering in vergelijking met andere verwarmingssystemen. (Devree; Viesmann, 2015)

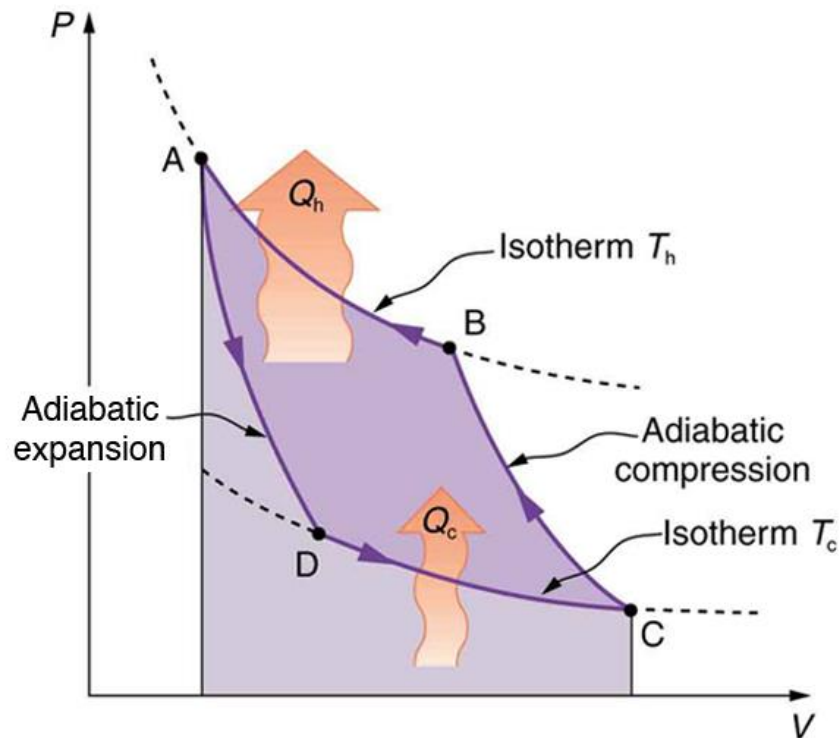
2.3.2. Werking



Figuur 9: Werkingsprincipe van de warmtepomp (WTCB, 2011)

De warmtebron bij dit type warmtepomp is de warmte uit de grond. Er worden verticale buizen in de bodem geplaatst waarin een mengsel van water en glycol stroomt. Het mengsel neemt warmte op van de naastliggende grond en vloeit naar de verdamper in de warmtepomp. Eenmaal de warmte is afgestaan aan de verdamper, wordt het mengsel terug in de buizen gepompt. De warmte die de warmtepomp genereert, wordt met een warmtewisselaar overgedragen naar de leidingen van het verwarmingssysteem. In dit geval is dit een buffervat die zorgt voor energieopslag. (KPE, 2013; Kuypers, 2013; Viesmann, 2015)

De warmtepomp bestaat uit een gesloten circuit waarin koelvloeistof met een laag kookpunt vloeit. Het volledige proces verloopt volgens het omgekeerde Carnotproces.



Figuur 10: Omgekeerd Carnotproces voor warmtepompen(Philschatz, 2014)

- Isothermische expansie ($D \rightarrow C$)

Door de toevoeging van warmte (Q_c) uit de grond zal de koelvloeistof verdampen in de verdamper volgens een isothermisch verloop. Dit wil zeggen dat de temperatuur constant blijft tijdens deze verandering in aggregatietoestand.

- Adiabatiese compressie ($C \rightarrow B$)

Een scroll-compressor perst het koudemiddel in gasvorm samen en verhoogt zo de druk. Hierdoor verhoogt de temperatuur zonder dat deze aan de omgeving wordt afgegeven.

- Isothermische compressie ($B \rightarrow A$)

Het opgewarmde gas staat zijn warmte af (Q_h) in de condensor waarna het koudemiddel terug een vloeistof wordt. Met de warmte die vrij komt, wordt een andere gesloten kring opgewarmd. Dit kunnen vloerverwarming, sanitair warm water, buffervaten of andere systemen zijn.

- Adiabatiese expansie ($A \rightarrow D$)

De koelvloeistof gaat vervolgens door een expansieklep waarin de vloeistof wordt ontspannen. Hierdoor daalt de temperatuur van de vloeistof terug en kan de kringloop opnieuw doorlopen worden. (Dyck, 2012; eandis, 2013; KPE, 2013; Philschatz, 2014; Viesmann, 2015)

2.3.3. EPB-regelgeving

Een verwarmingssysteem in een gebouw beïnvloedt het niveau van het primair energieverbruik of het E-peil. Het E-peil van een gebouw wordt berekend in het kader van de regelgeving betreffende energieprestaties en binnenklimaat in gebouwen (EPB). Het is belangrijk om te bepalen hoe sterk een verwarmingssysteem met een warmtepomp het E-peil beïnvloedt. Er zijn verschillende stappen om tot een E-peil te komen van een warmtepomp.

I. COP-test

Om tot een uiteindelijk E-peil te komen, moet het rendement (COP) van de warmtepomp bepaald worden. Dit staat op het verplicht energielabel van de warmtepomp, maar kan ook berekend worden. De COP geeft de verhouding weer tussen de hoeveelheid afgegeven warmte ten opzichte van de hoeveelheid verbruikte energie. Door de standaardformule van de COP om te vormen met enkele tussenstappen, kan de COP uitgerekend worden in functie van de in- en uitgaande temperatuur.

$$COP = \frac{|Q|}{W} \quad (1)$$

Met: -Q: De bruikbare hoeveelheid warmte;
-W: Het energieverbruik van de compressor.

Volgens de eerste wet van de thermodynamica geldt:

$$Q_{warm} = Q_{koud} + W \quad (2)$$

Met: - Q_{warm} : Warmte door warmtereservoir afgegeven;
- Q_{koud} : Warmte opgeslagen in het koudereservoir.

W vervangen in formule (1):

$$COP_{verwarming} = \frac{Q_{warm}}{Q_{warm} - Q_{koud}} \quad (3)$$

Er kan aangetoond worden dat:

$$\frac{Q_{warm}}{T_{warm}} = \frac{Q_{koud}}{T_{koud}} \quad (4)$$

Met: - T_{warm} : Temperatuur van het warme reservoir;
- T_{koud} : Temperatuur van het koude reservoir.

Daaruit volgt:

$$COP_{verwarming} = \frac{T_{warm}}{T_{warm} - T_{koud}} \quad (5)$$

II. Van COP naar SPF (seizoensprestatiefactor)

De COP-waarde die opgegeven wordt door de producent van de warmtepomp, is een theoretische waarde. Hierbij is er nog geen rekening gehouden met de omgevingsfactoren waar de warmtepomp geïnstalleerd is. Dit heeft als gevolg dat de COP-waarde hoger of lager kan liggen dan de opgegeven waarde. Om alle factoren in rekening te brengen, wordt de COP-waarde vermenigvuldigd met correctiefactoren om tot een SPF-waarde te komen. De correctiefactoren zijn vastgelegd in de regelgeving en verschillen van systeem tot systeem.

III. Van SPF naar E-peil

Om een verlaging van het E-peil te bekomen door het installeren van een warmtepomp, moet er aan volgende twee voorwaarden voldaan zijn:

- SPF-waarde is groter dan 4;
- Minstens 10 kWh/m² bruikbare vloeroppervlakte van het gebouw.

Deze voorwaarden gelden voor kantoorgebouwen en scholen. Als blijkt dat de installatie hieraan voldoet wordt het E-peil gereduceerd met 10%. (Maeyninckx, 2014; WTCB, 2011)

2.4. Vloerverwarmingssysteem met luchtverwarming

Het gesloten circuit van de vloerverwarming wordt aangesloten op het buffervat. Hierdoor wordt de vloeistof in de buizen opgewarmd. Door middel van warmtestraling wordt de warmte gelijkmatig verdeeld in de ruimtes.

Boven het isolatiepakket van de vloer wordt een dubbel noppenfolie gelegd met daarboven de buizen voor de vloerverwarming. Hierdoor ontstaat een luchtspouw tussen de isolatie en de vloerverwarming. Aan de uiteinden van de vloer in elke geventileerde ruimte, worden roosters voorzien die verbonden zijn met de luchtspouw in de vloeropbouw. Aan de hand van ventilatoren ter hoogte van de roosters, wordt er een luchtstroom gecreëerd.

Het voordeel van dit type van systeem met luchtverwarming is het snel opwarmen van de ruimtes. Door de traagheid van opwarmen van de vloeropbouw, heeft een vloerverwarmingssysteem zonder luchtverwarming enige tijd nodig om de ruimte voor de eerste keer op te warmen. In de zomer kan dit systeem ook dienen als actieve koeling wanneer de werking van de warmtepomp wordt omgedraaid. (Algera, 2013; Schütz, 2015)

2.5. Fotovoltaïsche zonne-energie

2.5.1. Algemeen

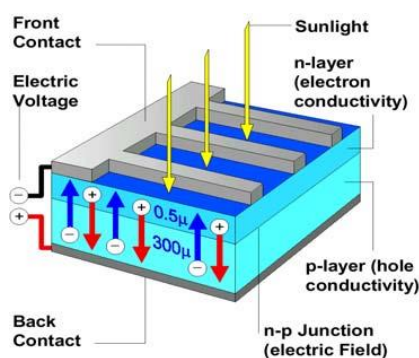
De term “fotovoltaïsch” duidt op het fysisch proces waarbij lichtenergie omgezet wordt in elektriciteit door de energieoverdracht van fotonen naar elektronen in een materiaal. Fotovoltaïsche cellen zetten licht rechtstreeks om in elektriciteit. Deze elektriciteit wordt omgevormd tot wisselstroom en kan meteen nuttig gebruikt worden of in het net geïnjecteerd worden. In de toekomst kan fotovoltaïsche energie goed zijn voor 25% van de jaarlijkse productie. (BIM, 2011; Rensol, 2013)

2.5.2. Werking

De fotovoltaïsche cel bestaat uit een halfgeleider die lichtenergie afkomstig van de zon omzet in elektrische energie. Het principe is gebaseerd op de eigenschappen van halfgeleiders. Het fotovoltaïsch effect doet zich voor wanneer een foton wordt geabsorbeerd door een materiaal dat is samengesteld uit gedoteerde n-type (negatief) en p-type (positief) halfgeleiders, ook wel pn-overgang of pn-junctie genoemd. Doteren is het aanbrengen van onzuiverheden in een oorspronkelijk isolerend basismateriaal om de materiaaleigenschappen te veranderen. (BIM, 2011)

Een gedoteerd n-type halfgeleider ontstaat door het toevoegen van elementen uit de stikstofgroep van het periodiek systeem aan silicium. Deze elementen hebben elk vijf elektronen op de buitenste schil en dit is er één meer dan silicium. Hierdoor ontstaan er vrije elektronen in het kristalrooster. Een gedoteerd p-type halfgeleider ontstaat door het toevoegen van elementen uit de boorgroep van het periodiek systeem aan silicium. Deze elementen hebben slechts drie elektronen op de buitenste schil en dus één minder dan silicium. Zo ontstaan er plaatselijk tekorten aan elektronen in het kristalrooster. Dit wordt ook wel een elektronengat genoemd. (Mannaert & Peremans, 2005; Tronic, 2012; Wikipedia, 2015)

Als gevolg van deze configuratie en dotering is er in het materiaal een permanent elektrisch veld aanwezig. Wanneer zonlicht invalt op deze cel, zal het foton zijn energie overdragen op een elektron. Dit elektron komt, onder invloed van deze energie, vrij van zijn valentieband en migreert naar de geleidingsband. Deze vrijgekomen elektronen stromen naar het gedoteerde n-type halfgeleider en er ontstaan elektronengaten aan het gedoteerde p-type halfgeleider. Door elektroden aan te sluiten op beide zijden, kunnen de vrije elektronen terugstromen en de elektronengaten opvullen. Daardoor gaat er stroom door de zonnecel lopen. (BIM, 2011)



Figuur 11: Principeschets werking fotovoltaïsch zonnecel (BIM, 2011)

2.5.3. Efficiëntie

Om het fotonvoltaïsch beginsel in de praktijk toe te passen, worden er materialen gebruikt die twee basisprocessen optimaliseren. Deze processen zijn de absorptie van het invallende licht en de aantrekking van elektronen aan het oppervlak. (BIM, 2011)

De eerste generatie zonnecellen zijn gemaakt van de halfgeleider kristallijn silicium (mono en poly). Meer dan 90% van de huidig toegepaste zonnecellen zijn op deze manier vervaardigd. Eén zijde van de cel is n-gedoteerd en de andere zijde p-gedoteerd. Door aan beide zijden elektrodes aan te brengen ontstaat een elektrisch circuit.

De tweede generatie panelen zijn de zogenaamde dunne-film zonnecellen. Het principe van deze zonnecellen is een opeenstapeling van dunne lagen halfgeleidende materialen. Oorspronkelijk waren dit dure panelen die enkel toegepast werden voor ruimtevaarttoepassingen en concentratietechnologieën. Door de stijging van de productie kwam er een prijsdaling, waardoor deze technologie kan concurreren met de kristallijne technologie. De volgende dunnelaagtechnologieën worden geproduceerd:

- CdTe: Cadmiumtelluride;
- CIS / CIGS: Copper Indium Gallium Selenide;
- Dunnefilm silicium: amorf (aSi) en microkristallijn silicium.

De laatste generatie zijn de foto-elektrochemische zonnecellen. Bij deze soort cellen bestaat minstens de actieve laag uit organische moleculen. Deze technologie werd ontwikkeld door de lage productiekost. Dit komt door het toepassen van goedkope organische halfgeleiders. Op de hedendaagse markt worden deze cellen vooral toegepast voor commerciële toepassingen in de consumentenelektronica, omdat de verwachte levensduur van de zonnecel en het product ongeveer gelijk zijn. (BIM, 2011; Zonnepanelen.net, 2014)

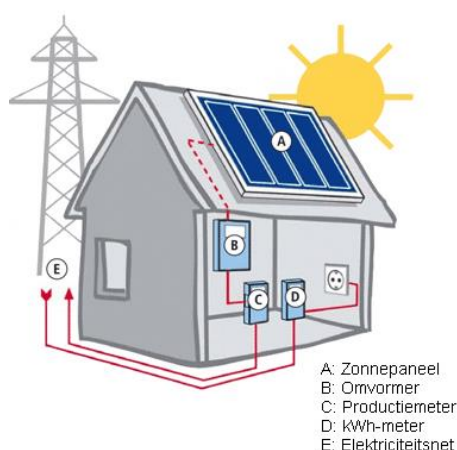
Elk type zonnecel heeft een verschillend rendement die wordt weergegeven in volgende tabel:

	Amorf silicium	Cadmium teluride	Cl(G)S	Amorf silicium/ microkristallijn	Mono-kristallijn	Poly-kristallijn
Efficiëntie van de cel bij STC*	5-7 %	8-11%	7-11%	8%	16-19%	14-15%
Efficiëntie van de module bij STC*					13-15%	12-14%
Benodigde oppervlakte om 1kWp te produceren	15 m ²	11 m ²	10 m ²	12 m ²	7 m ²	8 m ²
*STC: standaard testcondities 1000 W/m ² , 25°C, spectrum AM 1,5						

Tabel 1: Efficiëntie van de verschillende fotonvoltaïsche technologieën (Photon International Modules Survey, 2009)

2.5.4. Installatie

Fotovoltaïsche cellen wekken, onder invloed van de zon, gelijkstroom elektriciteit op. Deze wordt naar een omvormer gestuurd, die de opgewekte gelijkstroom omzet naar wisselstroom die kan aangewend worden om de verschillende technieken in een gebouw van energie te voorzien. Het systeem wordt aangesloten op het elektriciteitsnet en een productiemeter die de hoeveelheid gegenereerde elektriciteit meet. Indien de panelen niet het volledige gebruik kunnen dekken, wordt de overige elektriciteitsbehoefte van het net gehaald. Het omgekeerde is eveneens mogelijk. Wanneer er teveel energie gegenereerd wordt, dan draait de kWh-meter terug. (Be Smart Energy, 2015; Energie-technologie, 2010)



Figuur 12: De installatie van fotovoltaïsche zonnepanelen (Energie-technologie, 2010)

2.5.5. Opbrengst

Het vermogen van zonnecellen, onder optimale omstandigheden, wordt uitgedrukt in Watt-piek (Wp). Om tot de jaaropbrengst in kWh te komen, moet het vermogen in Wp vermenigvuldigd worden met een reductiefactor van 0,85 om de verschillende verliezen in rekening te brengen. Het hoogste rendement wordt behaald als de zonnepanelen naar het zuiden georiënteerd zijn en een hellingshoek hebben van 36°. Indien dit niet mogelijk is, volstaat een hellingshoek tussen de 20° en de 50° ook om een normaal rendement te bereiken. Ook een oriëntatie naar het zuidoosten of zuidwesten levert een acceptabel rendement op. (Zonnepanelen.net, 2014)

2.6. Verlichting

Het Europees parlement heeft in verband met de gewenste CO₂-reductie besloten om tussen 2009 en 2012 alle gloeilampen van de markt te halen. Door de opkomst van de energiezuinige ledverlichting kwam de gloeilamp in een kwaad daglicht te staan. Het grootste verschil is dat de warmteontwikkeling bij een ledlamp slechts 10% is, waar dit bij een gloeilamp 90% is. Ook heeft ledverlichting een lager energieverbruik door een hoger lumen/watt verhouding en is de duurzaamheid opmerkelijk hoger dan bij andere verlichtingstypes. Omwille van deze redenen is ledverlichting het energie-efficiënte om toe te passen als verlichtingsinstallatie. (Allinled, 2015; Dydell, 2015; Lled, 2015)

3. Sturingsparameters

3.1. Bezetting

Menselijke bezetting in een gebouw wijzigt de condities in de ruimtes op een actieve (het gebruik en bediening van apparaten) en op een passieve (door middel van hitte en uitstoot van schadelijke stoffen) manier. De informatie over de aanwezigheid van personen in een binnenmilieu kan gebruikt worden om een slimme sturing van de technieken te bekomen. Het gedrag van de aanwezigen beïnvloedt namelijk sterk de energieprestaties van een gebouw. (Calì et al., 2015)

3.1.1. Actieve rol

De gezondheid, het comfort en de productiviteit van de bezetting in een gebouw worden gezien als belangrijke parameters tijdens het ontwerp en het gebruik van het gebouw. Talrijke studies hebben verschillende modellen ontwikkeld om de aanwezigen een actieve rol te laten spelen in het gebouw. (Zhao et al., 2014)

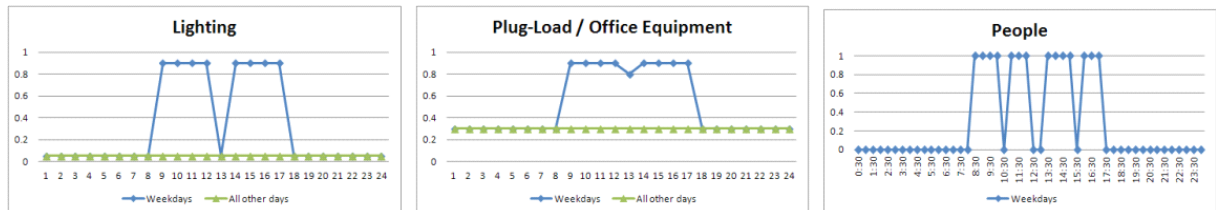
Eén van die onderzoeken beschrijft het effect van een interactief systeem waarbij de verzoeken van de werknemers in een kantoorgebouw gebruikt worden bij het regelen van het airconditioningsysteem. Het experiment wordt uitgevoerd in een kantoorgebouw waar 50 personen tewerkgesteld zijn. Elke werknemer kan via een softwareprogramma aangeven aan welk thermisch comfort en thermische sensatie de ruimte moet voldoen. Met deze parameters wordt de set temperatuur bepaald voor de kantoorruimte. De conclusie van het experiment is dat de toepassing van een interactief airconditioningsysteem tot 20% minder energie verbruikt ten opzichte van een systeem dat constant op 26°C ingesteld staat. (Murakami et al., 2007)

3.1.2. Passieve rol

Eveneens heeft de bezetting een passieve invloed op de prestaties van de gebouwen. Vooral op vlak van thermische prestaties en de luchtkwaliteit van het gebouw. De aanwezigen worden gezien als mobiele warmte- en CO₂-bronnen en deze kunnen het energieverbruik van het HVAC-systeem in hoge mate beïnvloeden. Het is cruciaal om de aanwezigheid te bestuderen en dit om te vormen naar een schema om de passieve impact in rekening te brengen. Hiernavolgend wordt er aan de hand van enkele onderzoeken aangetoond wat de significante impact is van het passief gedrag van de aanwezigen in een gebouw. (Zhao et al., 2014)

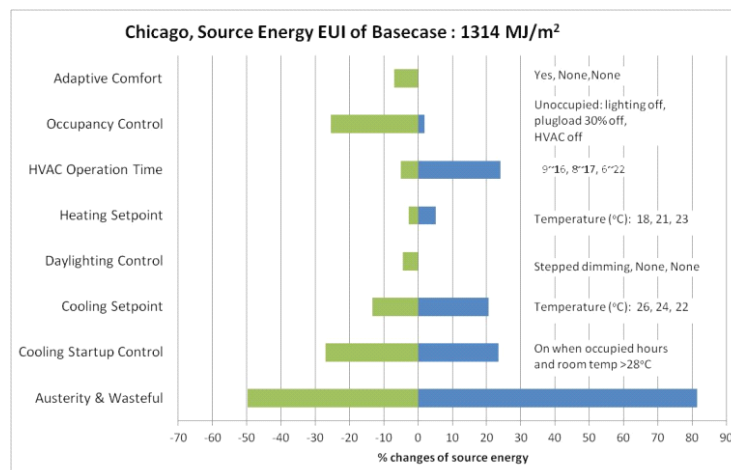
➤ Hong T., 2014

Het gedrag van de aanwezigen in een gebouw is één van de meest onzekere parameters voor het simuleren van het energieverbruik in een gebouw. Deze studie maakt gebruik van een simulatiepakket om de impact van de bezetting van een kantoorgebouw in Amerika op energieverbruik te evalueren. Dit gebeurt aan de hand van schema's met relatieve waarden voor verlichting, geleverd elektrisch vermogen en aanwezigheid van de persoon in de ruimte.



Figuur 13: Schema's energieverbruik van verlichting, geleverd elektrisch vermogen en aanwezigheid (Hong, 2014)

Rekening houdend met het buitenklimaat, de comfortvoorwaarden, de set temperatuur voor verwarming en koeling, en de operatietijd van het HVAC-systeem tussen 6h en 22h, kan er een simulatie gemaakt worden. Het resultaat is 50% reductie in energie voor personen die een zuinig verbruikspatroon hebben en tot 81% reductie voor personen met een verkwistend verbruikspatroon. (Hong, 2014)



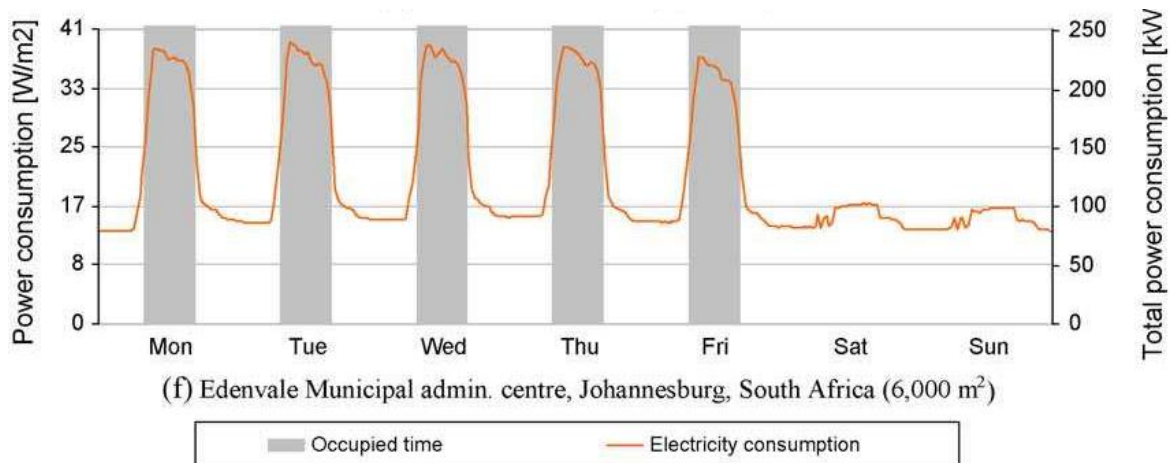
Figuur 14: Resultaten energieverbruik met sturing op bezetting (Hong, 2014)

➤ Glicksman & Taub, 1997

In een kantoorgebouw waar alle bureaus in één ruimte staan, wordt een simulatie uitgevoerd om de invloed te bepalen van een sturing op aanwezigheid van het HVAC-systeem. In deze studie wordt er gewerkt met sensoren die bepalen of er al dan niet personen aanwezig zijn in een bepaalde zone van de kantoorruimte. In de zones waar er niemand aanwezig is, wordt het HVAC-systeem uitgeschakeld waardoor er minder energieverbruik is. Uit de resultaten blijkt dat er een totale reductie in energie is van 13%. (Glicksman & Taub, 1997)

➤ Masoso & Grobler, 2010

In dit onderzoek worden 6 audits beschreven die in willekeurig gekozen gebouwen in Zuid-Afrika plaatsvonden. Hierbij wordt het totaal verbruikt vermogen weergegeven gedurende verschillende dagen. In de grafiek is duidelijk te zien dat er 's nachts en in het weekend nodeloos energie verbruikt wordt, terwijl er niemand aanwezig is in het gebouw. Het gaat zelfs over meer dan 50% van de energie die verbruikt wordt tijdens niet-werkuren en 19 tot 28% hiervan werd verbruikt in het weekend. Een systeem die gestuurd wordt op basis van aanwezigheid is noodzakelijk om het energieverbruik terug te dringen. (Masoso & Grobler, 2010)



Figuur 15: Energieverbruik in vergelijking met aanwezigheid (Masoso & Grobler, 2010)

3.1.3. CO₂-sensoren

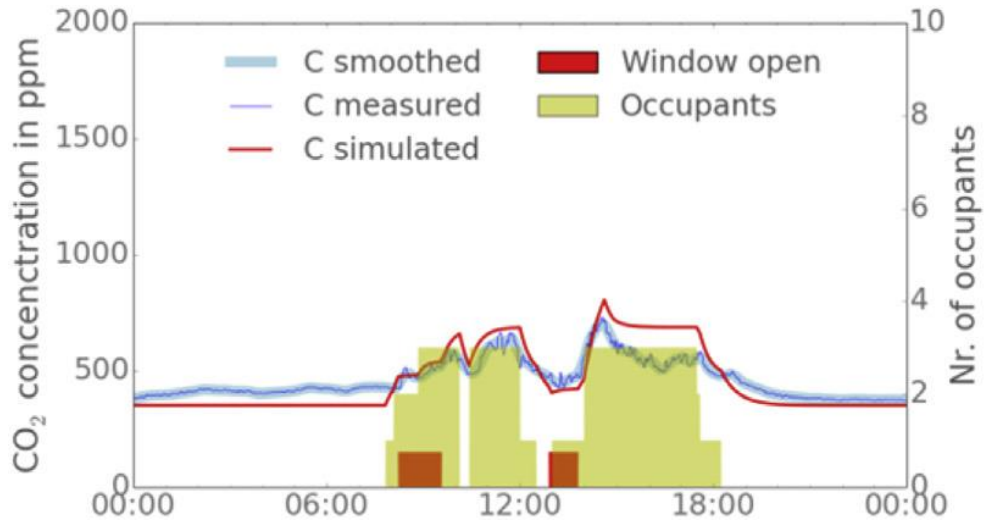
Door de jaren heen zijn er verschillende methodes ontwikkeld om aanwezigheid van personen in een ruimte te detecteren. De werkwijzen kunnen gecategoriseerd worden als directe en indirecte benadering. Bij de directe aanpak wordt de positie van een persoon effectief bepaald. Dit gebeurt aan de hand van *global positioning system* (GPS), mobiele data, draadloos lokaal netwerk, Bluetooth... Deze methodes zijn effectief om het gedrag van aanwezigen in een gebouw te detecteren, maar zouden kunnen zorgen voor privacy problemen. Hierdoor zijn er indirecte positioneringsmethodes ontwikkeld. De sensoren detecteren enkel de aanwezigheid in de ruimte en eventueel hoeveel personen er aanwezig zijn. Een vaak toegepast systeem werkt op basis van CO₂-sensoren. (D'Oca & Hong, 2015; Zhao et al., 2014)

CO₂-sensoren worden vaak toegepast om de luchtkwaliteit in gebouwen te beheren en kunnen, mits invoering van een algoritme, het aantal aanwezige personen in de ruimte bepalen. In vergelijking met andere technieken om de aanwezigheid te detecteren, geeft deze meer info over het aantal personen die zich in de ruimte bevinden zonder de privacy te schenden. Het algoritme ter bepaling van het aantal aanwezigen is gebaseerd op een massabalans. Door dit algoritme om te vormen wordt het aantal aanwezigen bepaald met volgende formule.

$$[n_{occ}]_i = \frac{\left[\left(1 - \frac{[\dot{m}_{airx}]_i \cdot [\Delta t]_i}{V_{office} \cdot \rho_{air}} \right) \cdot [C]_{i-1} + \frac{[\dot{m}_{v,amb}]_i \cdot [\Delta t]_i}{V_{office} \cdot \rho_{air}} \cdot [C_{amb}]_i + \frac{[\dot{m}_{v,in}]_i \cdot [\Delta t]_i}{V_{office} \cdot \rho_{air}} \cdot [C_{adj}]_i \right] - [C]_i}{\frac{[C_p]_i \cdot [\Delta t]_i}{V_{office}}} \quad (6)$$

- Met: -i: De tijd
 - $\dot{m}_{airx}$: De totaal uitgewisselde luchtmassa;
 Is de som van:
 - $\dot{m}_{mv}$: De mechanische ventilatie;
 - $\dot{m}_{inf}$: De infiltratie van buitenaf;
 - $\dot{m}_w$: De luchtuitwisseling door een raam;
 - $\dot{m}_d$: De luchtuitwisseling door een deur;
 -C: De gemeten CO₂-concentratie in de ruimte;
 - $\dot{m}_{v,amb}$: De uitgewisselde luchtmassa met de omgevingslucht;
 - C_{amb} : De CO₂-concentratie in de omgevingslucht;
 - $\dot{m}_{v,in}$: De uitgewisselde luchtmassa met de aangrenzende zones;
 - C_{adj} : De CO₂-concentratie van de aangrenzende zones;
 - n_{occ} : Het aantal personen in de zone tijdens de periode Δt ;
 - C_p : De hoeveelheid geproduceerde CO₂ per persoon;
 - ρ_{air} : De luchtdichtheid;
 - V_{office} : Het volume van de lucht in de desbetreffende zone;

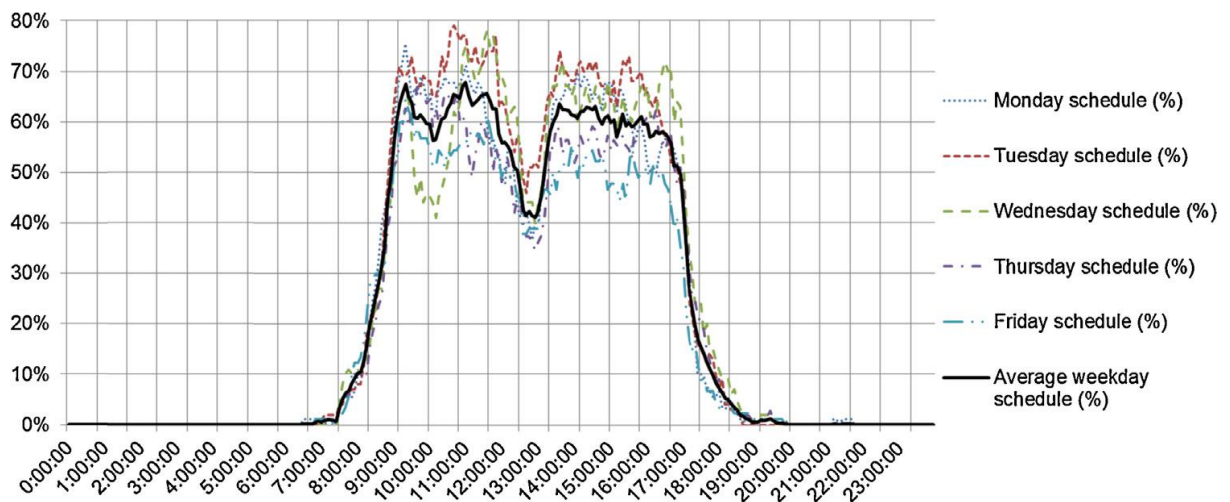
Om dit algoritme te simuleren en te testen, werd er in een kantoorruimte, de aangrenzende ruimtes en in de buitenomgeving CO₂-sensors geplaatst. Over een tijdsinterval van 24h werd de CO₂-concentratie gemeten en uitgezet op een grafiek. Met toepassing van het algoritme werd het aantal aanwezigen in de ruimte ook weergegeven. (Calì et al., 2015)



Figuur 16: Simulatie van het algoritme (Calì et al., 2015)

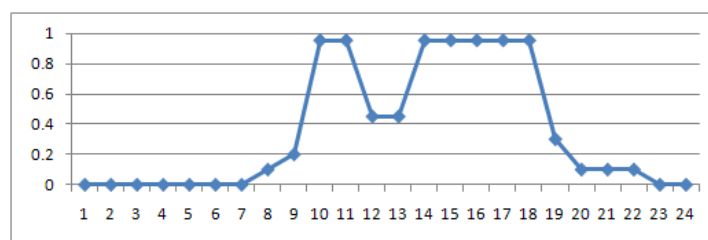
3.1.4. Schema's

Om het aantal personen in een bepaalde ruimte als inputparameter te gebruiken in een simulatieprogramma, zal de detectie op basis van CO₂-metingen moeten omgezet worden in schema's. In een experiment van Zhao et al. (2014) wordt de aanwezigheid van personen in een ruimte in kaart gebracht. Er wordt niet enkel gekeken naar de aanwezigheid van een persoon, maar ook naar het energieverbruik van de aanwezigen. Een armband detecteert de aanwezigheid van een persoon en via meetsensoren wordt het energieverbruik van verlichting, computers, schermen, printers... in kaart gebracht. De gegevens worden verzameld in een databank en daaruit wordt er een schema bepaald per weekdag met een 95% betrouwbaarheidsinterval. (D'Oca & Hong, 2015; Zhao et al., 2014)

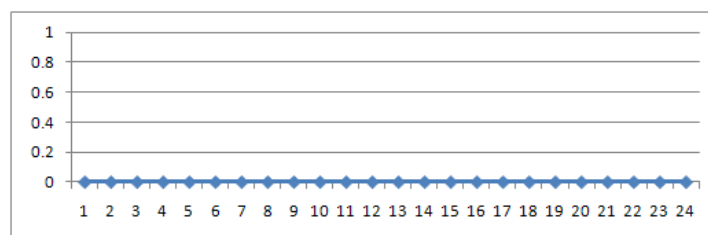


Figuur 17: Schema van bezetting met 95% betrouwbaarheidsinterval (Zhao et al., 2014)

Om een dergelijk schema te genereren in een simulatieprogramma zal er een vereenvoudiging nodig zijn van dit schema. Het kennisplatform van Autodesk geeft eenvoudige schema's weer voor verschillende types van gebouwen. Deze schema's zijn gebaseerd op de ASHRAE-normen (*The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*).



Figuur 18: Basisschema weekdag (Autodesk, 2015)



Figuur 19: Basisschema weekend (Autodesk, 2015)

3.2. Richtlijnen en normering omtrent ventilatie

3.2.1. Basisclassificatie van de binnenluchtkwaliteit

De norm NBN EN 13779 classificeert de binnenluchtkwaliteit in vier klassen van IDA 4 tot IDA 1 (IDA = *Indoor Air Quality*). Bij elke klasse horen er verschillende eigenschappen. De beschrijving is een betere weergave om te weten over welke luchtkwaliteit het gaat. De tweede eigenschap bevat het verschil in CO₂-concentratie tussen binnen- en buitenlucht. Dit gas heeft een negatief effect op de luchtkwaliteit. Daarom is het een goede indicator om de IDA-klasse te bepalen. Het merendeel van de ventilatiesystemen houdt de luchtkwaliteit in IDA 2 of 3. Om tijdens de ontwerpfase het ventilatiesysteem te bepalen en te berekenen, is het noodzakelijk om het ventilatiedebiet te kennen om tot een bepaalde klasse te voldoen. (NBN EN 13779, 2007)

Klasse	Beschrijving	Vershil in CO ₂ -concentratie tussen binnen- en buitenlucht	Ventilatievoud met buitenlucht in ruimtes bestemd voor menselijke bezetting
IDA 1	Hoge luchtkwaliteit	< 400 ppm	>54 m /h.persoon
IDA 2	Middelmatige luchtkwaliteit	Tussen 400 en 600 ppm	36 – 54 m /h.persoon
IDA 3	Aanvaardbare luchtkwaliteit	Tussen 600 en 1000 ppm	22 – 36 m /h.persoon
IDA 4	Lage luchtkwaliteit	> 1000 ppm	< 22 m /h.persoon

Tabel 2: Basisclassificatie van de binnenluchtkwaliteit volgens NBN EN 13779

3.2.2. Classificatie van de afvoerluchtkwaliteit

De norm NBN EN 13779 classificeert ook de afvoerluchtkwaliteit in vier klassen van ETA 1 tot ETA 4 (ETA = *Extract Air Quality*). De klassen geven aanbevelingen over het hergebruik van afvoerlucht. (NBN EN 13779, 2007)

Klasse	Beschrijving	Hergebruik van afvoerlucht
ETA 1	Lage vervuilingsgraad	Mag hergebruikt en doorgesluisd worden.
ETA 2	Matige vervuilingsgraad	Mag niet hergebruikt worden, maar mag worden doorgesluisd naar toiletten, garages en andere gelijkaardige plaatsen.
ETA 3	Hoge vervuilingsgraad	Mag niet hergebruikt en doorgesluisd worden.
ETA 4	Zeer hoge vervuilingsgraad	Mag niet hergebruikt en doorgesluisd worden.

Tabel 3: Classificatie van de afvoerluchtkwaliteit volgens NBN EN 13779

In de norm worden de klassen als volgt omschreven:

➤ ETA 1 Lage vervuilingsgraad

Lucht afkomstig uit ruimtes waarin de vervuiling voornamelijk teweeggebracht wordt door de menselijke stofwisseling en het gebouw, met uitzondering van ruimtes waar er gerookt mag worden.

Voorbeelden:

- Kantoren met inbegrip van kleine opslagruimtes;
- Openbare ruimtes;
- Klaslokalen;
- Trappen en gangen;
- Vergaderzalen;
- Handelsruimtes zonder andere bron van vervuiling.

➤ ETA 2 Matige vervuilingsgraad

Lucht afkomstig uit bezette ruimtes, die meer onzuiverheden bevat dan lucht uit de ruimtes van categorie ETA1 en/of uit ruimtes met andere activiteiten. Ruimtes die normaal gesproken tot categorie ETA1 zouden behoren, maar waar mag worden gerookt.

Voorbeelden:

- Restaurants;
- Winkels en opslagruimtes;
- Hotelkamers.

➤ ETA 3 Hoge vervuilingsgraad

Lucht afkomstig uit ruimtes waar de luchtkwaliteit sterk beperkt wordt omwille van de productie van vocht, chemische stoffen, ...

Voorbeelden:

- Toiletten;
- Sauna's;
- Keukens;
- Bepaalde chemische laboratoria;
- Fotokopieerzalen.

➤ ETA 4 Zeer hoge vervuilingsgraad

Lucht die geuren en onzuiverheden bevat die schadelijk zijn voor de gezondheid, in concentraties die hoger zijn dan toegelaten voor de binnenlucht van bezette ruimtes.

Voorbeelden:

- Afzuiging voor grills en keuken dampkappen;
- Garages en parkings;
- Wegtunnels;
- Wasserijen;
- Bepaalde chemische laboratoria;
- Veelvuldig gebruikte rokerssalons.

3.2.3. Regelingsmogelijkheden voor de binnenluchtkwaliteit (IDA-C)

Wanneer de luchtkwaliteit in een ruimte voldoende is, kan het luchtdebiet beperkt worden. Om de luchtkwaliteit te bepalen onderscheidt de norm zes soorten. De ventilatiesystemen voorzien van een regelsysteem van het type IDA-C1 en IDA-C2 zijn niet toegelaten. (NBN EN 13779, 2007)

Klasse	Beschrijving
IDA-C1	Geen regeling: continue werking
IDA-C2	Manuele schakelaar
IDA-C3	Klokregeling
IDA-C4	Aanwezigheidsdetectie
IDA-C5	Regeling naargelang de bezetting
IDA-C6	Directe regeling (Pollutiesensors)

Tabel 4: Regelingsmogelijkheden voor binnenluchtkwaliteit volgens NBN EN 13779

3.3. Thermisch comfort

De mate waarin mensen tevreden zijn over het thermisch binnenklimaat van een gebouw, wordt het thermisch comfort genoemd. De productiviteit van de werknemers is bijgevolg rechtstreeks afhankelijk van het thermisch comfort. In de volgende tabel wordt een overzicht gegeven van de thermische comforteisen die overeenkomen met de criteria van NBN EN ISO 7730, CR 1752 en de Nederlandse Rijksgebouwendienst.

Criteria	Kwalificatie van de eisen inzake thermisch comfort		
	grenswaarde (minimale eis)	richtwaarde (normale eis)	streefwaarde (optimaal comfort)
Comforttemperatuur in zomer in winter	22°C - 27°C 19°C - 25°C	23°C - 26°C 20°C - 24°C	23,5°C - 25,5°C 21°C - 23°C
Overschrijdingsuren (zomer) > 26°C (gesloten gevel) of > 28°C (opengaande vensters)	150 h - 200 h	100 h - 150 h	< 100 h (5% v.d. werktijd)
Verticaal temperatuurverschil hoofd/enkels	≤ 4 °C	≤ 3 °C	≤ 2 °C
Stralingsasymmetrie door warm plafond door koud raam	≤ 7°C ≤ 13°C	≤ 5°C ≤ 10°C	≤ 5°C ≤ 10°C
Vloertemperatuur	17°C - 31°C	19°C - 29°C	19°C - 29°C
Luchtsnelheid : in zomer (bij 24,5°C) in winter (bij 22°C)	≤ 0,25 m/s ≤ 0,21 m/s	≤ 0,22 m/s ≤ 0,18 m/s	≤ 0,18 m/s ≤ 0,15 m/s
Relatieve vochtigheidsgraad	30% - 70%	30% - 70%	40% - 65%

Tabel 5: Kwantificering van eisen inzake thermisch comfort (NBN EN ISO 7730, CR 1752, Nederlandse Rijksgebouwendienst)

3.4. Oververhitting

In het Vlaams Gewest zijn er geen specifieke eisen op de oververhitting in niet-residentiële gebouwen. Het E-peil, dat wordt berekend voor niet-residentiële gebouwen, houdt wel rekening met de oververhitting door middel van zonnewinsten. (Energie Vlaanderen, 2015)

Om de oververhitting toch in kaart te kunnen brengen, kan het aantal overschrijdingsuren bepaald worden. Er zijn twee eisen waaraan moet voldaan worden zodat er geen oververhitting zal optreden in de desbetreffende ruimte. De eerste eis is dat de binnentemperatuur slechts 5% van de totale aanwezigheidstijd hoger mag zijn dan 25,5°C. De tweede eis houdt in dat de binnentemperatuur slechts 1% van de totale aanwezigheidstijd hoger mag zijn dan 28°C. (Dewitte, 2009; Van Beek, 2006)

Het aantal uur, wanneer de temperatuur 25,5°C en 28°C overschrijdt, wordt met volgende voorwaarden bepaald. (NBN EN12251:2007)

$$TO(25,5^{\circ}C) = 1 \quad als (0,5 t_a + 0,5 t_r) < 25,5 \quad (7)$$

$$TO(25,5^{\circ}C) = 0 \quad als (0,5 t_a + 0,5 t_r) \leq 25,5$$

Met: -TO(25,5°C): Aantal uren boven 25,5°C [h];

-t_a: De luchttemperatuur [°C];

-t_r: De stralingstemperatuur [°C].

$$TO(28^{\circ}C) = 1 \quad als (0,5 t_a + 0,5 t_r) < 28 \quad (8)$$

$$TO(28^{\circ}C) = 0 \quad als (0,5 t_a + 0,5 t_r) \leq 28$$

Met: -TO(28°C): Aantal uren boven 28°C [h];

-t_a: De luchttemperatuur [°C];

-t_r: De stralingstemperatuur [°C].

3.5. Warmtewinsten (Energie Vlaanderen, 2015)

De definitie van warmtewinsten is de toename van warmte in een bepaalde ruimte als gevolg van directe verwarming door zonnestraling en de warmte uitgestraald door andere bronnen zoals lampen uitrusting of mensen. De winsten die de lampen en de uitrusting leveren, kunnen bepaald worden met de eigenschappen van de elementen uit de technische fiches.

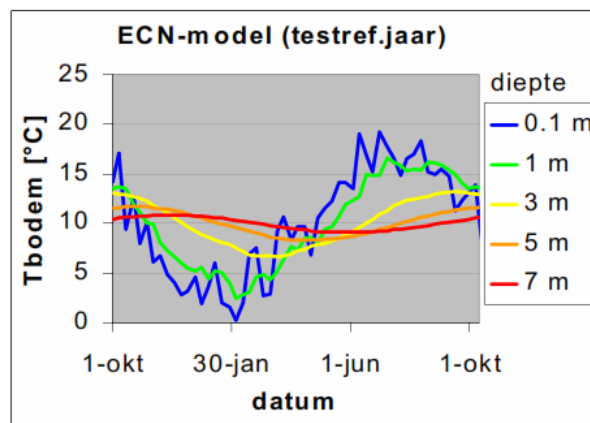
Het metabolisme van een mens levert warmtewinsten op in een ruimte, afhankelijk van de soort fysieke inspanning. Het metabool equivalent bepaalt de hoeveelheid energie een bepaalde fysieke inspanning kost ten opzichte van de hoeveelheid benodigde energie in rust. (NBN EN ISO 7730:2005)

Fysieke inspanning	Metabool equivalent	
	W/m ²	MET
Slapen	46	0,8
Zitten of rusten	58	1,0
Zittende activiteit (kantoor, woning, school, laboratorium)	70	1,2
Staande lichte activiteit (winkelen, laboratorium, lichtindustrie)	93	1,6
Staande gemiddelde activiteit (Winkelassistent, machinewerk, huishoudelijk werk)	116	2,0
Wandelen op vlakke ondergrond		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5km/h	200	3,4

Tabel 6: Metabolische equivalenten t.o.v. van fysieke inspanning volgens NBN EN ISO 7730

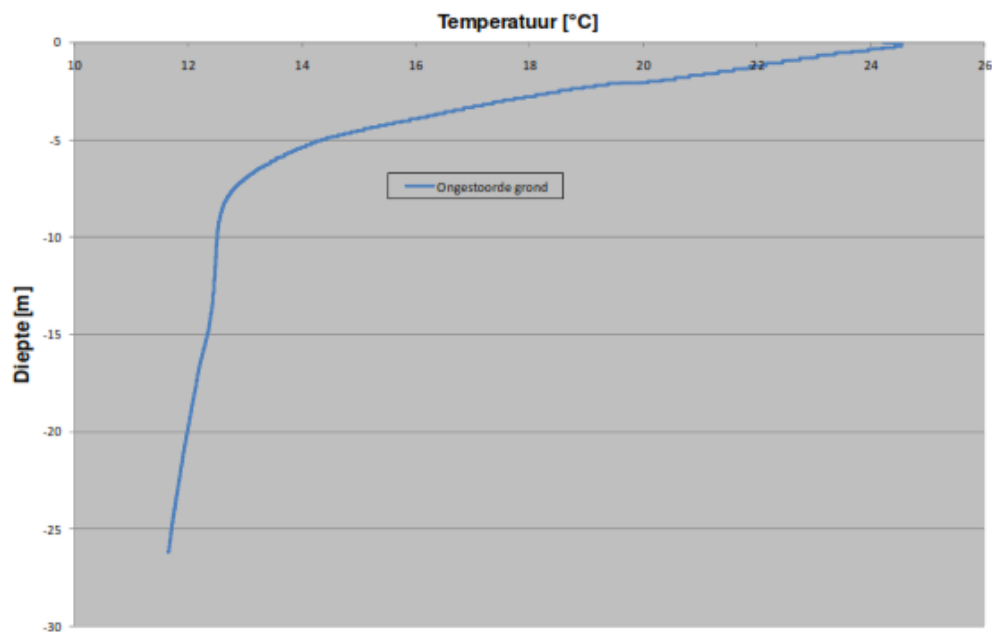
3.6. Grondtemperatuur

Om het thermisch klimaat te bepalen in een gebouw moeten de condities buiten het gebouw voorhanden zijn. De buitenluchttemperatuur kan gevonden worden in weerdatabanken. De bodemtemperatuur moet bepaald worden om het thermisch klimaat in de ondergrondse constructies te berekenen en om toevoertemperatuur te bepalen bij water/water warmtepompen. In een rapport van de Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO), wordt de bodemtemperatuur tijdens een jaar opgesteld in functie van de diepte van een energiepaal. Hieruit blijkt dat de luchttemperatuur en de zoninstraling op de grond een grote invloed hebben op de bodemtemperatuur op geringe diepte. Hoe dieper er gemeten wordt, hoe kleiner deze invloed wordt en hoe meer de grafiek overeenstemt met een gemiddelde waarde van 10 °C.(Geelen et al., 2003)



Figuur 20: Invloed van de luchttemperatuur en zoninstraling op de bodemtemperatuur (Geelen et al., 2003)

Robeyn en Hoes voerden enkele metingen uit in België ter bepaling van de thermische geleidbaarheid van geologische formaties. Hierbij werd er ook een temperatuurmeting uitgevoerd in functie van diepte. In Aalter werd deze meting in november eveneens uitgevoerd met onderstaand resultaat.(Robeyn & Hoes, 2011)



Figuur 21: Bodemtemperatuur in Aalter (Robeyn & Hoes, 2011)

Onderzoek

Het onderzoek is gebaseerd op een reeds uitgewerkt ontwerp van een kantoorgebouw. In dit ontwerp zijn er reeds verschillende technieken opgenomen, maar de dimensionering en het sturingssysteem ervan moeten nog ontworpen worden. Het doel van dit onderzoek is om aan de hand van een softwarepakket, de verschillende technieken te dimensioneren. Het dimensioneren gebeurt op basis van de resultaten van de simulatie, waaruit een energieleanalyse wordt gemaakt met als doel het volledige sturingssysteem te optimaliseren.

Het ontwerp en de simulatie gebeurd in het softwarepakket TRNSYS. Dit pakket bestaat uit twee hoofdprogramma's, namelijk TRNBuild en Simulation Studio. In TRNBuild worden de fysische en de bouwfysische parameters van het gebouw ingegeven. Hierbij wordt het origineel ontwerp van het kantoorgebouw omgevormd naar zones waaraan verschillende parameters gekoppeld zijn. Eenmaal het volledig ontwerp omgevormd is naar een TRNBuild bestand, wordt dit gekoppeld aan de Simulation Studio.

In Simulation Studio wordt de volledige sturing van de technieken gecreëerd en gesimuleerd. Er wordt gestart met een template waarin er al verscheidene componenten aanwezig zijn. Aan één van deze componenten wordt het TRNBuild bestand gekoppeld. Hierdoor kunnen verschillende variabele parameters uit Simulation Studio gekoppeld worden aan de fysische en bouwfysische gegevens van het kantoorgebouw. Door het invoegen van verschillende *types* worden de verschillende technieken geconstrueerd in dit softwarepakket.

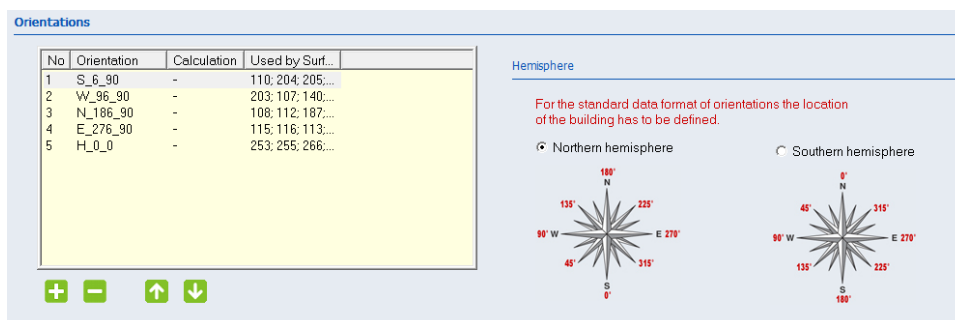
Tijdens het ontwerp van het sturingssysteem wordt er rekening gehouden met de verschillende parameters en normen die besproken worden in de literatuurstudie. Telkens er één systeem volledig ontworpen is in Simulation Studio, worden er enkele parameters gecontroleerd. Indien de controle een gunstig resultaat heeft, kan er eventueel een optimalisatie plaatsvinden. Uiteindelijk kan het energieverbruik bepaald worden en conclusies getrokken worden uit deze studie.

1. TRNBuild

In TRNBuild wordt het ontwerp van het kantoorgebouw vertaald in parameters door het definiëren van zones en scheidingsconstructies. In iedere zone kunnen input- en outputparameters gegenereerd worden om daarna verder te gebruiken in de berekeningen van Simulation Studio. Hierna worden alle stappen beschreven aan de hand van een voorbeeld. Een volledige lijst met de input- en outputparameters en de bijhorende beschrijving, wordt weergegeven in respectievelijk bijlage 1 en 2.

1.1. Oriëntering

Om een relevante voorstelling te krijgen van de bezonning op het kantoorgebouw, moeten alle buitenoppervlaktes correct georiënteerd worden. Het gebouw bevindt zich in het noordelijk halfrond en de azimuth, de hoek tussen het geografisch zuiden en de loodrechte op de zuidelijke gevel, bedraagt 6° . Aan de hand van deze hoek en de hellingshoek ten opzichte van de horizontale worden alle gevelvlakken gedefinieerd. In noordelijke richting bijvoorbeeld is de hoek met de azimuth 186° en de muur staat loodrecht op het horizontaal vlak, dit komt dus overeen met een hoek van 90° . De naamgeving wordt dan N_186_90.



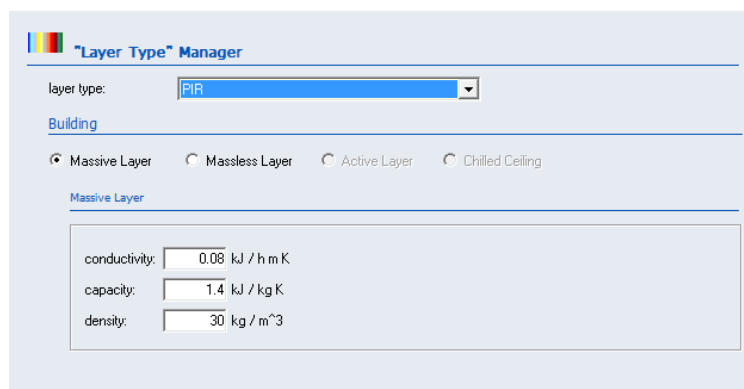
Figuur 22: Bepaling van de oriëntering

Bij de instellingen van elke oriëntatie kan aangegeven worden waar de stralingsgegevens berekend moeten worden. De eerste optie is intern en dit wil zeggen dat TRNBuild deze gegevens zal berekenen en doorsturen naar Simulation Studio. De tweede optie is extern door een andere component. Dit wil zeggen dat deze gegevens zullen berekend worden in Simulation Studio door een aparte component. In dit model is er gekozen voor extern zodat alle parameters aanpasbaar zijn in Simulation Studio.

1.2. Zonering

1.2.1. Layer type manager

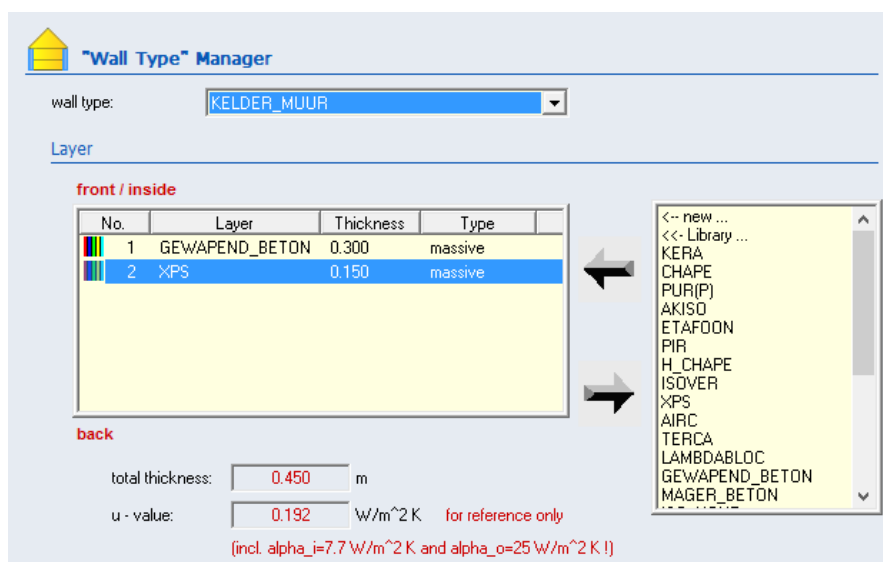
De zonering van het gebouw gebeurt in verschillende stappen. De eerste stap is de geometrische en fysische eigenschappen van het gebouw invoegen in TRNBuild. Alle materialen die gebruikt worden in de scheidingsconstructies worden gedefinieerd in de *layer type manager*. Om een *layer* aan te maken moet de thermische conductiviteit, de capaciteit en de massadichtheid van het materiaal gekend zijn. In volgende figuur worden deze waarden weergegeven van PIR isolatie.



Figuur 23: Definiëring van de layer type PIR

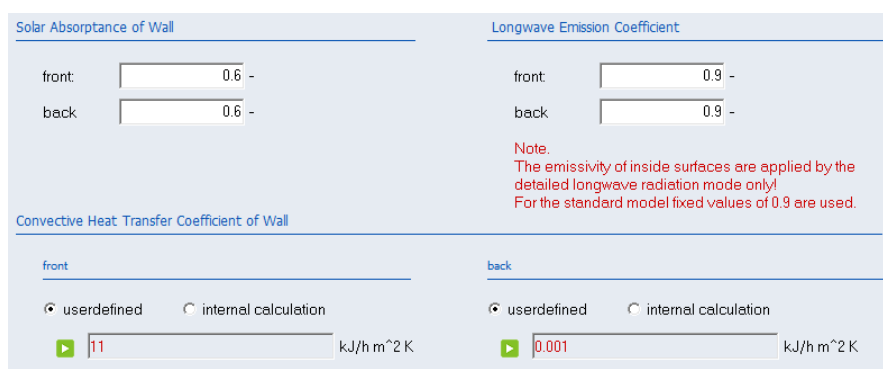
1.2.2. Wall type manager

Eenmaal alle materialen zijn ingegeven als *layer types*, kunnen er *wall types* gecreëerd worden in de *wall type manager*. Hierin wordt de opbouw van de verschillende muren en vloeren gedefinieerd. Een *wall type* is opgebouwd uit verschillende *layer types* met elk een toegewezen dikte. Aan de hand van de materiaaleigenschappen, kan het simulatieprogramma de warmtedoorgangscoefficiënt van de muur berekenen. In volgende figuur wordt de keldermuur gedefinieerd met als muuropbouw XPS isolatie en gewapend beton. Dit levert een warmtedoorgangscoefficiënt op van $0,192 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Figuur 24: Definiëring van de wall type KELDER_MUUR

In de *wall type manager* worden nog 3 extra parameters gedefinieerd. De eerste twee zijn de *solar absorptance of wall* en de *longwave emission coefficient*. Dit zijn respectievelijk de zonneabsorptie van de muur en de warmteabsorptie van de muur. De standaardwaarden die TRNBuild opgeeft, mogen behouden worden vermits het gaat over een standaardmodel. De laatste parameter slaat op de warmteoverdrachtcoëfficiënt van de muur voor convectie. Deze is gelijk aan $11 \text{ kJ/hm}^2\text{K}$ voor de zijde van de muur grenzend aan de binnenomgeving, $64 \text{ kJ/hm}^2\text{K}$ voor de zijde van de muur grenzend aan de buitenlucht en $0 \text{ kJ/hm}^2\text{K}$ voor de zijde van de muur grenzend aan de grond. Deze laatste waarde moet ingegeven worden als $0,001 \text{ kJ/hm}^2\text{K}$ omdat er door nulwaarden foutmeldingen kunnen optreden tijdens het simuleren in Simulation Studio.



Figuur 25: Voorbeeld van ingegeven parameters voor de wall type KELDER_MUUR

1.2.3. Window type manager

Naast de muren moeten ook de ramen gedefinieerd worden. Dit gebeurt in de *window type manager*. Uit de bibliotheek wordt een standaard raam gekozen die frequent toegepast wordt in gebouwen. De belangrijkste parameters van dit raam zijn een zontoetredingsfactor (g-waarde) van 55,8% en een warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde) van 0,92 W/m²K. Achteraf kan dit type nog aangepast worden wanneer er dient geoptimaliseerd te worden na een simulatie. De overige gegevens van het raam, die automatisch gegenereerd worden uit de bibliotheek, worden weergegeven in onderstaande figuur.

The screenshot displays the 'Window Type' Manager interface with the following sections and values:

- window type:** WINDOW001
- Glazing**
 - ID number: 6208 (WinID: Pool Lib)
 - slope of window: 90 degree
 - For 1 glazing module: width: 0.77 m, height: 1.08 m
 - u - value: 0.92 W/m² K
 - g - value: 0.558 %/100 (values acc. to glazing library (for reference only))
 - ID spacer: 1 Aluminum - ASHREA Metallic
- Frame**
 - area frame/window: 0.15 % / 100
 - solar absorptance: 0.6 -
 - c - value (1 / R): 8.17 kJ/h m² K (without conv. + rad. heat transfer coefficients!)
 - emissivity: 0.9 -
- Optional Properties of Shading Devices**
 - Additional Thermal Resistance**
 - internal device: 0 h m² K/kJ
 - external device: 0 h m² K/kJ
 - Radiation depending shading control (internal model)**
 - Close if total radiation on window >: 648 kJ/h m²
 - Open if total radiation on window <: 576 kJ/h m²
 - Reflection Coefficient of Internal Device**
 - towards window: 0.5 % / 100
 - towards zone: 0.5 % / 100
 - Emissivity of Internal Device towards zone**
 - 0.9 -
 - Fraction of abs. Solar Radiation to Zone Air Node (CCISHADE)**
 - 0.5 % / 100
- Convective Heat Transfer Coefficient of Window (glazing + frame)**
 - Front (inside)**
 - userdefined: 11 kJ/h m² K
 - internal calculation: (unchecked)
 - Back (outside)**
 - userdefined: 64 kJ/h m² K
 - internal calculation: (unchecked)

Figuur 26: Eigenschappen van het standaardraam

1.2.4. Definiëring zones

Vervolgens wordt het gebouw opgesplitst in zones. Deze zones dienen zoveel mogelijk in overeenstemming te zijn met de eigenlijke architectuurplannen. Indien een comforttemperatuur moet berekend worden, moeten de desbetreffende zones een convexe vorm hebben. Verder kan de accuraatheid van de simulatie verbeterd worden door de zones te laten overeenstemmen met de ventilatiezones in het gebouw. Dit zijn de twee voorwaarden waarmee rekening dient gehouden te worden bij de indeling van de zones.

De naamgeving gebeurt op basis van een grid. Aan de horizontale assen van het grid wordt een cijfer toegekend en aan de verticale assen wordt een letter toegekend. De naam van een zone is opgebouwd uit 3 combinaties van een letter en een cijfer, gescheiden door een liggend streepje. De eerste combinatie is de aanduiding van het verdiep. V0 staat voor het kelderniveau, V1 voor het gelijkvloers, V2 voor de eerste verdieping en V3 voor de technische ruimte op het dak. De tweede en derde combinatie zijn telkens de coördinaten van de linkeronderhoek en de rechterbovenhoek van de zone op het grondplan op basis van het grid. Aan de hand van deze naamgeving is te achterhalen waar een bepaalde zone zich bevindt. Deze namen worden weergegeven in bijlage 3 en 4.

Een zone wordt in TRNBuild gedefinieerd door het koppelen van *wall types* aan de zone en het volume van de zone in te geven. TRNBuild berekent aan de hand van dit volume de warmtecapaciteit uit van de ruimte. Per gekoppelde *wall type*, kunnen 2 eigenschappen aangegeven worden. De eerste eigenschap is *geosurf*. De waarde van deze parameter vertegenwoordigt de fractie van de totale binnentredende directe zonnestraling dat dit oppervlak raakt. Deze waarde moet tussen 0 en 1 liggen en de som van alle parameters binnen een zone mag 1 niet overschrijden. De standaardwaarde is 0 en dit wil zeggen dat de directe straling verdeeld wordt door het gewogen gemiddelde te nemen van alle oppervlaktes. Er is geen gegronde reden om van de standaardwaarde af te wijken, dus wordt dit in het model behouden. De tweede eigenschap is *wall gain*. Met deze parameter kan een extra energiestroom aan het binnenoppervlak van de wand worden gedefinieerd. Ook hier is er geen reden tot het toevoegen van een extra energiestroom, dus wordt de standaardwaarde van 0 behouden.

Airnodes

V1_A0_E5

V1_A0_E5

+ - ↺ number: 1

Walls

Surf	Type	Area	Category
Additional Windows			
107	BUITENMUUR_SNEL	19.50	EXTERNAL W_96_90
109	KELDER_GELIJKVLOERS	64.78	ADJACENT V0_A0_B6
119	VIRT_MUUR	12.44	ADJACENT V1_A5_H6
120	BINNEN_SNEL	7.07	ADJACENT V1_A5_H6
134	BINNEN_SNEL	30.24	ADJACENT V1_B2_C5
144	VIRT_MUUR	13.66	ADJACENT V1_B1_G2
146	BUITENMUUR_SNEL	3.55	EXTERNAL S_6_90
250	GELIJKVLOERS VERDIEP	20.64	ADJACENT V2_A4_C7

+ -

wall type: BUITENMUUR_SNEL <- new ...

area: 19.5048 m² incl. windows

category: EXTERNAL

geosurf: 0 107

wall gain: 0 kJ/h

Figuur 27: Definiëring van de zone V1_A0_E5

Tijdens het invoeren van de wall types moeten de oppervlakte en de grenscondities ingevoegd worden. Er zijn vier soorten grenscondities met elk hun eigen in te geven parameters.

➤ *Internal wall*

Dit is een muur die zich binnenin een zone bevindt en deze verhoogt enkel de thermische massa van de ruimte. Verder moeten er geen extra parameters ingevuld worden.

➤ *External wall*

Dit is een muur die grenst aan de buitenomgeving. Om een correcte weergave te krijgen van de bezonning moet de muur correct georiënteerd worden. Aan de hand van de eerder gedefinieerde parameters in hoofdstuk 1.1, wordt de muur georiënteerd naar de windrichting waar de loodrechte as op het gevelvlak mee overeenkomt. Ook moet aangegeven worden wat de *view factor to sky* is. Dit is de fractie van de hemelhemisfeer dat gezien wordt door het muuroppervlak. Voor verticale oppervlaktes is deze waarde dus 0,5 en voor horizontale oppervlaktes 1.

Figuur 28: Aan te vullen parameters bij *external wall*

➤ *Boundary*

Deze grenscondities worden gebruikt voor muren waarvan de buitencondities gekend zijn en waarbij geen bezonning optreedt. Met *coupling air flow* kan de toevoer van lucht gedefinieerd worden met de temperatuur van de *boundary conditions*. De relatieve vochtigheid van deze lucht kan ingegeven worden met *coupling relative humidity*. Beide parameters worden niet gebruikt (waarde 0), omdat het volledige ventilatiesysteem wordt ontworpen in Simulation Studio. De temperatuur van het grondpakket wordt gedefinieerd met een input TGROUND.

Figuur 29: Aan te vullen parameters bij *boundary*

➤ *Adjacent wall*

Dit is een muur die zich tussen twee zones bevindt. Hierbij moet de aangrenzende zone aangeduid worden. Ook moet aangegeven worden welke zijde, *front of back*, van de muur grenst aan de zone. Er kan ook hier een doorstroom van lucht gedefinieerd worden met *coupling air flow*, maar hier is de waarde eveneens nul met dezelfde reden als bij *boundary*.

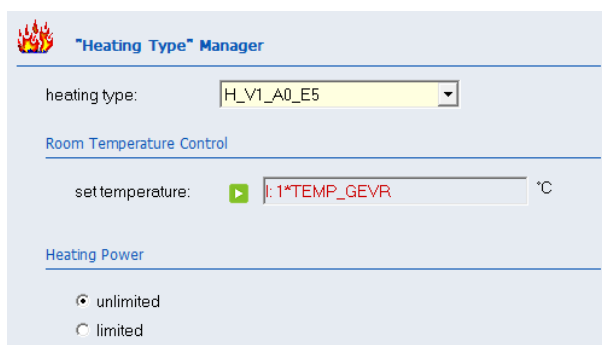
Figuur 30: Aan te vullen parameters bij *adjacent wall*

1.3. Technieken

Om de technieken met het kantoorgebouw in TRNBuild te kunnen linken, moeten er per zone *heating types* en *ventilation types* aangemaakt worden.

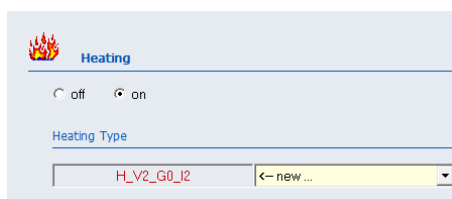
1.3.1. Heating types

Om een verwarming te kunnen dimensioneren moet het nodige verwarmingsvermogen of de *heating power* per zone gekend zijn. Dit wordt bekomen door een *heating type* in te voeren per zone. De naamgeving van de *types* is 'H_', gevolgd door de naam van de zone. Er wordt een *set temperature* opgegeven door middel van de inputparameter TEMP_GEV, waardoor TRNBuild zal berekenen hoeveel verwarmingsvermogen er nodig is. De *heating power* kan ingesteld worden als *unlimited* of *limited*. *Unlimited* of onbegrensd wil zeggen dat de waarde van het verwarmingsvermogen geen grenswaarde heeft om te verwarmen tot de *set temperature*. *Limited* of begrensd wil zeggen dat er een grenswaarde is voor het verwarmingsvermogen zodat er niet altijd kan verwarmd worden tot de *set temperature*. De verwarmingsvraag wordt gegenereerd door de outputparameter QHEAT en dit is het vermogen dat aan de zone moet toegevoegd worden om de *set temperature* te garanderen.



Figuur 31: Definieren van een *heating type*

Nu moet in iedere zone de juiste *heating type* gekoppeld worden. Dit gebeurt door in de zone voor *heating* te kiezen en deze in te schakelen. Hierna kan de juiste *type* aangeduid worden.

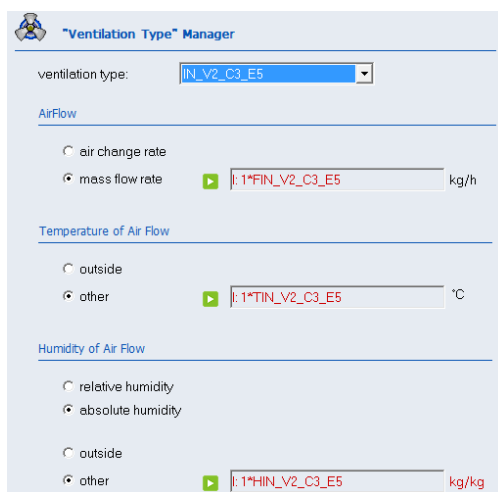


Figuur 32: Koppelen van *heating type* aan de zone

1.3.2. Ventilation types

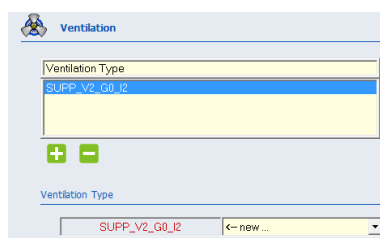
Om een ventilatiesysteem te kunnen koppelen aan het model van het kantoorgebouw in TRNBuild, moeten *ventilation types* aangemaakt worden. Deze *types* voeren lucht aan in de zone. Er wordt verondersteld dat het volume van de zone constant blijft en dat dezelfde hoeveelheid lucht wordt afgevoerd. Om de eigenschappen van de afgevoerde lucht te bepalen, wordt er per *timestep* een gewogen gemiddelde genomen van de toegevoerde lucht en de lucht die al aanwezig was in de zone. Vooraleer deze berekening wordt gemaakt, wordt het volume van de zone verkleind met het volume dat door de *ventilation type* wordt toegevoegd. Op deze manier blijft per *timestep* het volume van de zone constant.

Bij *ventilation types* wordt er een onderscheid gemaakt tussen doorvoer en toevoer, maar de parameters voor beide categorieën zijn analoog. Het verschil wordt aangegeven in de naamgeving van de *ventilation types*. Indien de naam begint met 'IN_' wordt de desbetreffende *ventilation type* gebruikt om doorvoer te realiseren. De andere namen beginnen met 'SUPP_' en realiseren de toevoer in de desbetreffende ruimtes. Analooq aan de *heating types* hebben de *ventilation types* inputparameters nodig om correct te functioneren. Per *ventilation type* zijn er drie parameters nodig: het toevoerdebiet, de temperatuur van de toegevoerde lucht en de absolute vochtigheid van de toegevoerde lucht. De naam van deze inputparameters worden gevormd door respectievelijk 'F', 'T' en 'H' voor de naam van de bijhorende *ventilation type* te plaatsen. In bijlage 3 en 4 worden de luchtstromen verduidelijkt met behulp van plannen en de parameters van de *ventilation types* worden weergegeven in bijlage 1.



Figuur 33: Definiëring van een doorvoer *ventilation type*

Ook hier moet in iedere zone de juiste *ventilation type* gekoppeld worden. Dit gebeurt door in de zone voor *ventilation* te kiezen en hierbij de juiste types toe te voegen.



Figuur 34: Koppelen van *ventilation type* aan de zone

1.4. Resterende type managers

Niet alle *type managers* uit TRNBuild worden gebruikt in deze studie. Dit heeft voor elke *type* zijn eigen reden. De eerste is de *infiltration type managers*. Deze kan gebruikt worden om het infiltratiedebiet van lucht te definiëren. Het wordt in deze studie niet toegepast omdat het infiltratiedebiet te verwaarlozen is ten opzichte van het ventilatiedebiet door de hoge luchtdichtheidsgraad van het gebouw.

Met de *cooling type manager* kan er koeling gedefinieerd worden in het gebouw. Dit kan hier niet toegepast worden omdat er luchtkoeling wordt gebruikt. De gekoelde lucht wordt in de zone gebracht met behulp van een *ventilation type* waardoor er geen *cooling type* nodig is.

De derde is de *gain type manager* waarmee interne warmtewinsten kunnen ingegeven worden. Met deze *type* kunnen alle warmtewinsten ingegeven worden, inclusief die van personen, computers en verlichting. Maar deze worden niet bepaald met deze parameter, maar met de warmtewinsten binnen een zone (zie volgend hoofdstuk). In deze studie is dit type niet gebruikt, omdat vooraf niet geweten is welke elektronische apparaten, met uitzondering van computers en verlichting, er allemaal in het gebouw gebruikt zullen worden.

De laatste is de *comfort type manager*. Hiermee kunnen er *types* aangemaakt worden per zone om het comfort te bepalen en kan onder andere het percentage van ontevreden werknemers bekomen worden. Omdat het comfort niet bepaald moest worden in het kantoorgebouw en door het feit dat er in Simulation Studio wel rekening wordt gehouden met de grenzen van de ruimtetemperatuur en de relatieve vochtigheid, wordt de *comfort type manager* niet toegepast.

1.5. Parameters binnen een zone

Naast het koppelen van de *heating types* en de *ventilation types* binnen een zone, zijn er nog enkele parameters die moeten ingevoerd worden om tot een correcte simulatie te komen. *Infiltration types*, *cooling types* en *comfort types* worden niet gekoppeld aan een zone. De reden hiervoor is terug te vinden in vorige paragraaf.

1.5.1. Gains

Internal Gains simuleert de warmte die in de zones wordt toegevoegd door het al dan niet aanwezig zijn van personen en/of elektronische apparaten. Deze toevoeging van warmte wordt gedefinieerd aan de hand van de norm NBN EN ISO 7730 die beschreven is in hoofdstuk 3.5 van de literatuurstudie. Door het definiëren van een input wordt het aantal aanwezige personen in de zone gekoppeld aan de waarden van de norm. De elektronische apparaten zijn ofwel computers of verlichting. Voor computers worden standaardwaarden opgegeven door TRNBuild die afhankelijk zijn van het soort computer. Hier wordt aangenomen dat het gaat om een computer met kleurenscherm van 230W. Door de aanwezigheid van de werknemers in de zones te koppelen aan een input, kan bepaald worden hoeveel computers ingeschakeld zijn. De verlichting zijn over het volledige kantoorgebouw ledverlichting. De warmteopwekking hiervan is verwaarloosbaar, zie hoofdstuk 2.6 van de literatuurstudie, dus worden ze niet in rekening gebracht als interne warmtewinsten.

Als laatste kunnen ook andere warmtewinsten ingevoegd worden in de zone. Dit zijn vooral andere elektronische apparaten. Omdat er op voorhand in het ontwerp van het kantoorgebouw geen andere apparaten opgegeven werden, worden er ook geen extra warmtewinsten toegevoegd.

Persons

☐ off ☒ ISO 7730

☒ on ☐ VDI 2078

scale:

Computer

☐ off ☒ 230 W PC with colour monitor

scale

Artificial Lighting

☒ off ☐ on

Other Gains

Type	Scale	Geo Position

Figuur 35: Bepaling van de interne winsten in een zone

1.5.2. Initial values

Met de *initial values* kunnen de aangenomen startwaarden van de zonetemperatuur en de relatieve vochtigheid in de zone ingesteld worden. Deze waarden zijn vooral belangrijk bij de start van de simulatie in Simulation Studio aangezien het programma zijn berekening begint met deze waarden. De zonetemperatuur wordt in elke zone op 20°C ingesteld en de relatieve vochtigheid op 50%.

Initial Values

initial zone temp.:

initial rel. humidity:

Figuur 36: Startwaarden zonetemperatuur en relatieve vochtigheid in een zone

1.5.3. Humidity models

Om TRNSYS te laten rekenen met luchtvochtigheid, moet er aangegeven worden met welk model het programma moet rekenen. In dit project is het voldoende om te kiezen voor het eenvoudig model, namelijk het *simple humidity model*.

2. Simulation studio

Simulation Studio is het onderdeel van TRNSys dat de eigenlijke sturing simuleert. Dit programma legt de links tussen de verschillende parameters, alsook met de verschillende databanken. Deze linken symboliseren het doorgeven van gegevens, dit kan zowel een continu als een discreet signaal zijn. Met behulp van deze signalen kan een simulatie gemaakt worden van het sturingssysteem. De simulatie gebeurt op basis van een *timestep* berekening waarbij de eigenschappen worden overgedragen van één *timestep* naar de volgende.

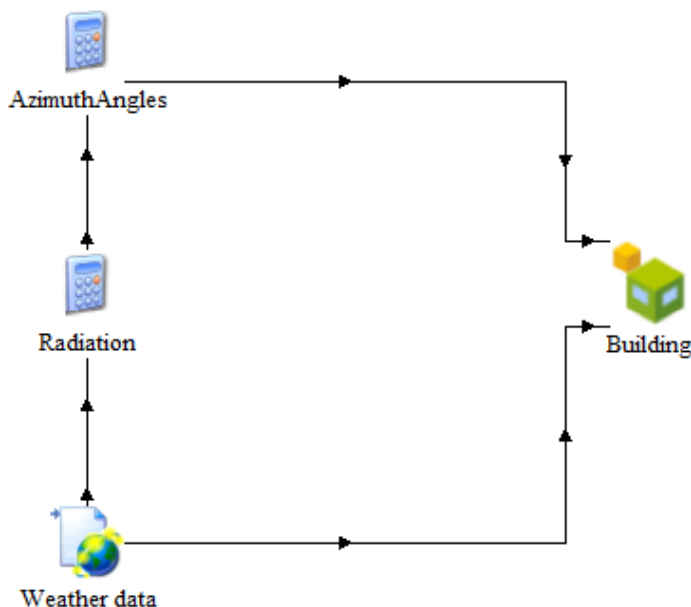
Het tijdstip waarop de simulatie start en stopt kan aangepast worden. Het verschil tussen beide is bijgevolg de periode waarover de simulatie loopt. Dit kan bijvoorbeeld 168 uren zijn voor een week of 8760 uren voor een jaar. Doordat zowel de start- en stoptijd veranderlijk kan worden ingesteld kan er ook een willekeurige week gesimuleerd worden. Ook de *timestep* kan ingesteld worden, voor het simuleren van luchtstromen is een *timestep* van één uur voldoende. Voor vloeistoffen is een *timestep* van één uur onvoldoende en wordt er een *timestep* van zes minuten aangehouden. Een kleinere *timestep* verhoogt de nauwkeurigheid van de berekeningen maar vertraagt de simulatie omdat er meer berekeningen moeten uitgevoerd worden.

De output van het simulatieprogramma wordt gegenereerd door *printers* en *online plotters*. Een *online plotter* genereert een grafiek met op de x-as de tijd van de simulatie. De waarden die op de y-as afgebeeld worden, kunnen vrij gekozen worden. Praktisch worden deze bepaald door de links die gelegd worden. Elke output van elk *type* kan gebruikt worden als input van de plotter. Een printer werkt analoog aan een plotter maar genereert een tabel in plaats van een grafiek. Een printer is bijgevolg nauwkeuriger terwijl een plotter eerder een algemeen beeld geeft waardoor patronen gemakkelijker te herkennen zijn.

In de volgende hoofdstukken wordt de sturing van de verschillende systemen beschreven. Het eerste systeem is het ventilatiesysteem, gevolgd door het warmteopwekking systeem, de zonnewering, de zonnepanelen en tot slot de verlichting. Elk systeem is opgebouwd uit verschillende *types*. Telkens een nieuwe *type* aan bod komt, worden de parameters weergegeven voor deze component en worden de verschillende links met andere reeds besproken *types* vermeld. Door middel van *calculators* worden verschillende parameters berekend of verwerkt om een optimale sturing van het systeem te verkrijgen. De bijhorende formules worden vermeld bij elk te berekenen parameter. Op het einde van elk hoofdstuk wordt het ontworpen sturingssysteem getest door middel van een simulatie. Indien de resultaten ongunstig zijn, wordt het systeem aangepast en geoptimaliseerd en opnieuw gesimuleerd.

2.1. Template

De uitwerking van de volledige sturing begint bij het genereren van een template in Simulation Studio. Hierin zijn twee *types* gedefinieerd en onderling verbonden met elkaar mits enkele toegevoegde *calculators*.



Figuur 37: Weergave template in Simulation Studio met links

2.1.1. Types

De eerste *type* is de *Multi-Zone Building* (type 56). Bij de eigenschappen van deze *type* wordt het TRNBuild bestand gekoppeld aan de Simulation Studio omgeving. Hierdoor worden de inputs en outputs, die gedefinieerd werden in TRNBuild, zichtbaar. Een volledig overzicht van deze parameters is terug te vinden in bijlage 1 en 2. Voor de parameter TGROUND, die de grondtemperatuur voorstelt, wordt een constante waarde van 10°C ingesteld. Deze temperatuur wordt afgeleid uit twee onderzoeken die beschreven staan in hoofdstuk 3.6 van de literatuurstudie. Deze onderzoeken beschrijven de grondtemperatuur in functie van de diepte. De tweede *type* is de *Weather data* (type 15), die de databank vormt van alle weersinvloeden. Er wordt een externe file geselecteerd die de weergegevens bevat van de omgeving van het kantoorgebouw. Mits het kantoorgebouw in Oostende wordt gebouwd, is er gekozen om de databank van Oostende te gebruiken. De belangrijkste parameters en de corresponderende waarde zijn terug te vinden in volgende tabel.

Weather data (type 15)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Ground reflectance – no snow	0.2	-
Ground reflectance – snow	0.7	-
Number of surfaces	6	-
Tracking mode 1	1	-
Slope of surface 1	30	Degrees
Azimuth of surface 1	6	Degrees
<i>Idem voor resterende vlakken met andere waarden</i>		

Output		
Naam	Waarde	Eenheid
Dry bulb temperature	<i>Variabel</i>	C
Wet bulb temperature	<i>Variabel</i>	C
Dew point temperature	<i>Variabel</i>	C
Effective sky temperature	<i>Variabel</i>	C
Percent relative humidity	<i>Variabel</i>	%
Total sky cover	<i>Variabel</i>	%
Solar zenith angle	<i>Variabel</i>	Degrees
Solar azimuth angle	<i>Variabel</i>	Degrees
Total horizontal radiation	<i>Variabel</i>	kJ/h.m ²
Horizontal beam radiation	<i>Variabel</i>	kJ/h.m ²
Total diffuse radiation on the horizontal	<i>Variabel</i>	kJ/h.m ²
Total tilted surface radiation on surface <i>i</i>	<i>Variabel</i>	kJ/h.m ²
Beam radiation for surface <i>i</i>	<i>Variabel</i>	kJ/h.m ²
Angle of incidence for surface <i>i</i>	<i>Variabel</i>	Degrees

Tabel 7: Parameters van de type Weather Data

2.1.2. Links tussen parameters

Om de invloed van de weerparameters op het gebouw te laten gelden, moet er een connectie worden ingevoerd tussen de verschillende *types* zoals weergegeven in figuur 37. Door deze connectie te leggen, kunnen de outputparameters van de ene *type* gekoppeld worden met de inputparameters van de andere. Hieronder is er een overzicht van de gelinkte parameters tussen de *Weather data* en de *Multi-Zone Building*.

Output Weather data	Input Multi-zone Building
Dry bulb temperature	TAMB
Percent relative humidity	RELHUMAMB
Effective sky temperature	TSKY
Solar zenith angle	AZEN
Total horizontal radiation	IT_H_0_0
Horizontal beam radiation	IB_H_0_0
Angle of incidence for horizontal	AI_H_0_0
Total tilted surface radiation for surface 2	IT_S_6_90
Beam radiation for surface-2	IB_S_6_90
Angle of incidence for surface-2	AI_S_6_90
<i>Idem voor resterende vlakken</i>	

Tabel 8: Links tussen Weather Data en Multi-zone Building

Daarnaast zijn er nog twee *calculators*. Deze zorgen er enkel voor dat de beweging van de zon ten opzichte van het gebouw correct wordt ingegeven in het programma. Dit gebeurt met de azimuth en de variabele positionering van de zon. De *Weather data* en de twee *calculators* worden samen in de macro 'Weer' ondergebracht om het geheel overzichtelijk te houden.

2.2. Ventilatie

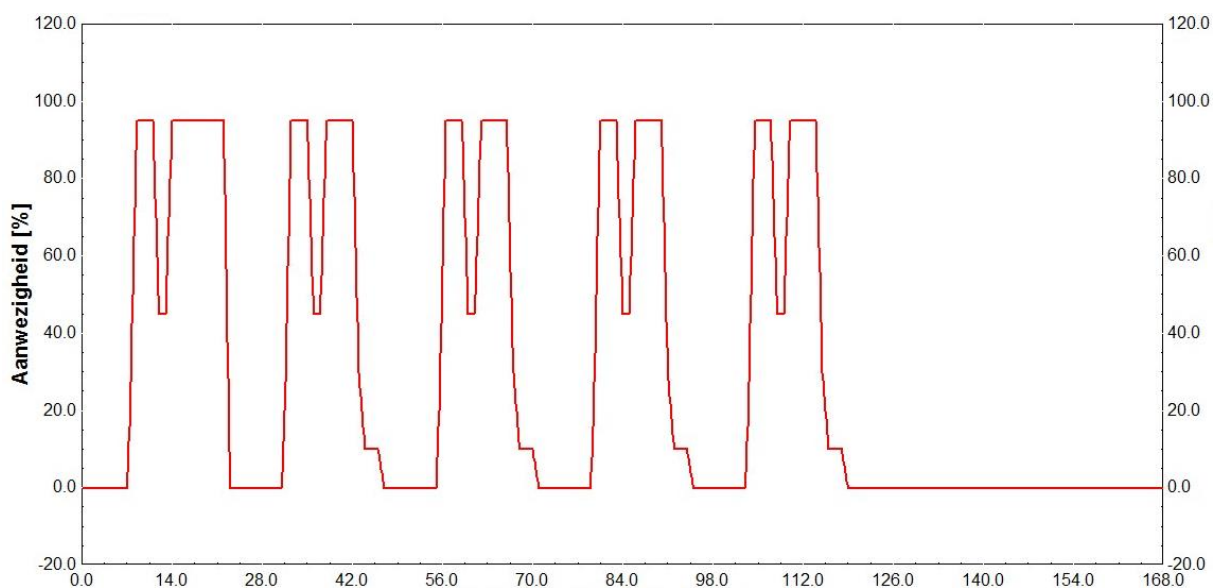
Het in te geven ventilatiesysteem moet een vraaggestuurd D systeem zijn met warmtewisselaar, voorverwarming en voorkoeling. De algemene luchtstroom in het gebouw begint bij de aanzuiging van de buitenlucht. De verse buitenlucht wordt eerst door een warmtewisselaar met bypass gestuurd. Hierna gaat de lucht door een frequentiegestuurde ventilator. Vervolgens wordt de lucht door de voorkoeling en voorverwarming geblazen. Vooraleer de lucht in de ruimtes wordt geblazen, moet ze nog verdeeld worden door gestuurde kleppen.

De afvoerlucht gaat via de afvoerkanalen, de warmtewisselaar en een frequentiegestuurde ventilator naar de buitenomgeving. Al deze stappen worden omgevormd naar *types* en connecties tussen deze *types*. Eerst wordt de bepaling van de verscheidene sturingsparameters besproken en vervolgens worden de verschillende *types* besproken.

2.2.1. Sturing op bezetting

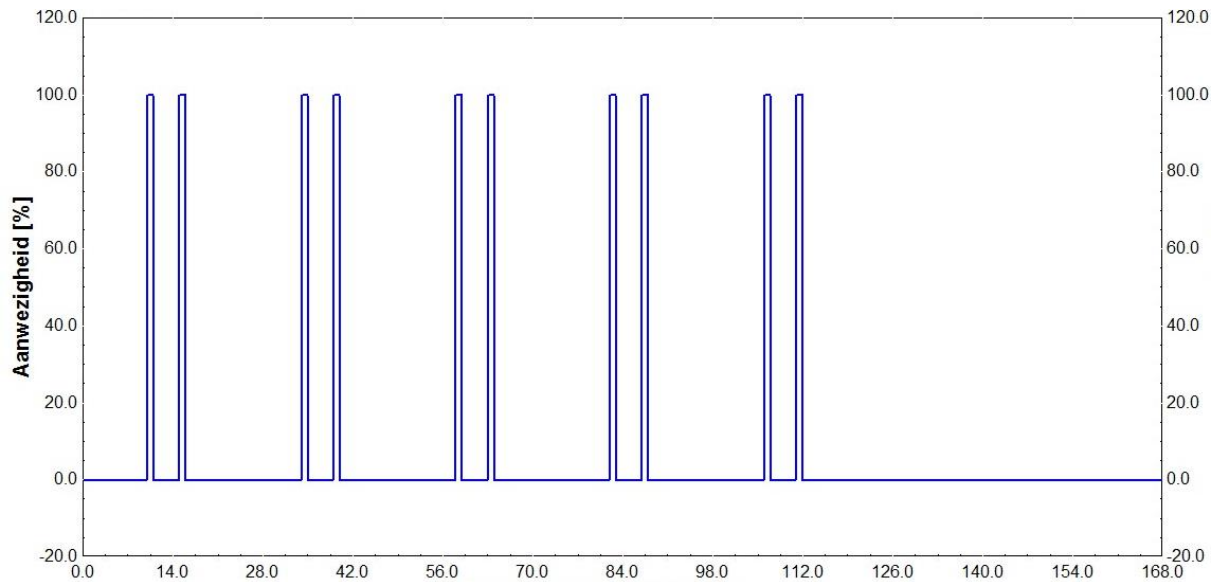
De effectieve sturing van het ventilatiesysteem gebeurt op basis van het aantal personen dat zich in een ruimte bevinden. Deze aanwezigheid wordt hier gesimuleerd aan de hand van schema's zoals besproken in hoofdstuk 3.1 van de literatuurstudie. In werkelijkheid kan dit omgevormd worden naar CO₂-sensoren die bepalen hoeveel personen er aanwezig zijn in de ruimte. De toegepaste schema's geven een percentuele bezetting van een zone weer en zijn afhankelijk van de bestemming van de ruimte. Hierdoor zijn er in totaal vijf verschillende schema's toegepast. Deze worden afgebeeld op grafieken van een week om een duidelijke weergave te verkrijgen van de schema's.

Een eerste schema wordt gebruikt voor de alle burelen. Het verloop van de grafieken zijn telkens hetzelfde met uitzondering van maandagavond. Dit komt door het feit dat er op maandagavond langere dienstverlening is. De zones die gestuurd worden op basis van dit schema zijn: V1_A5_H6, V1_A0_E5, V1_G2_H5, V1_H0_I6, V2_A4_C7, V2_A0_B4 en V2_G0_I2.



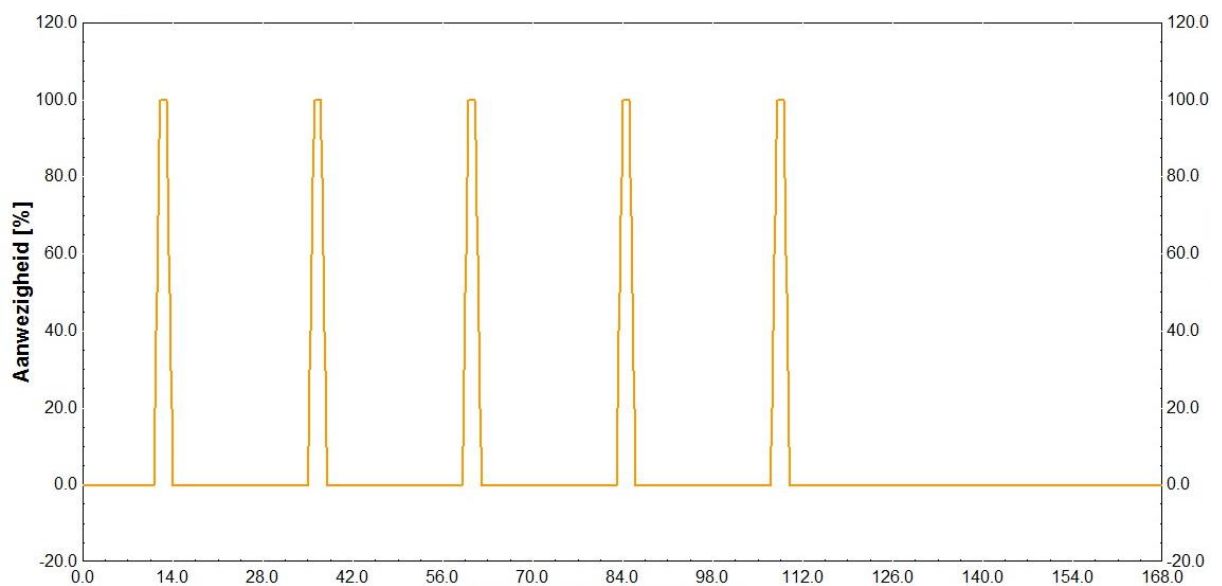
Figuur 38: Aanwezigheidsschema voor de burelen

Het tweede schema geeft de aanwezigheid aan in de keuken. In het gebouw is er maar één kleine keuken en het schema van deze ruimte heeft enkel een piek tijdens pauzemomenten. Deze momenten vallen om elf uur en om half drie. Doordat deze pauzes kort zijn en deze ruimte klein is, is het te verwachten dat de keuken geen uitgesproken invloed zal hebben op de energieprestaties van het gebouw. Desondanks wordt het ingegeven om tot een volledig geheel te komen. De zone die overeenstemt met de keuken is V1_C4_E5.



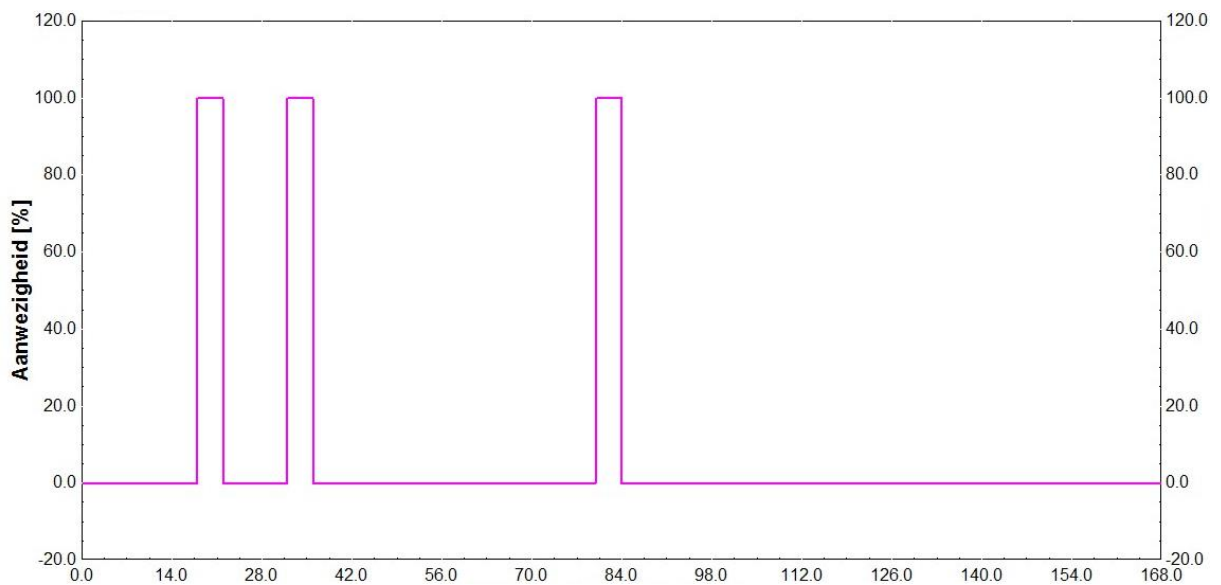
Figuur 39: Aanwezigheidsschema voor de keuken

Het derde schema dat besproken wordt geeft de aanwezigheid weer in de personeelsruimte. Deze ruimte wordt enkel gebruikt tijdens de lunchpauze die plaatsvindt tussen twaalf en één uur. In tegenstelling tot het vorig schema zijn deze pieken wel belangrijk, doordat er meer personen terzelfdertijd aanwezig zullen zijn in deze ruimte. De zone die overeenstemt met de personeelsruimte is V2_C6_G7.



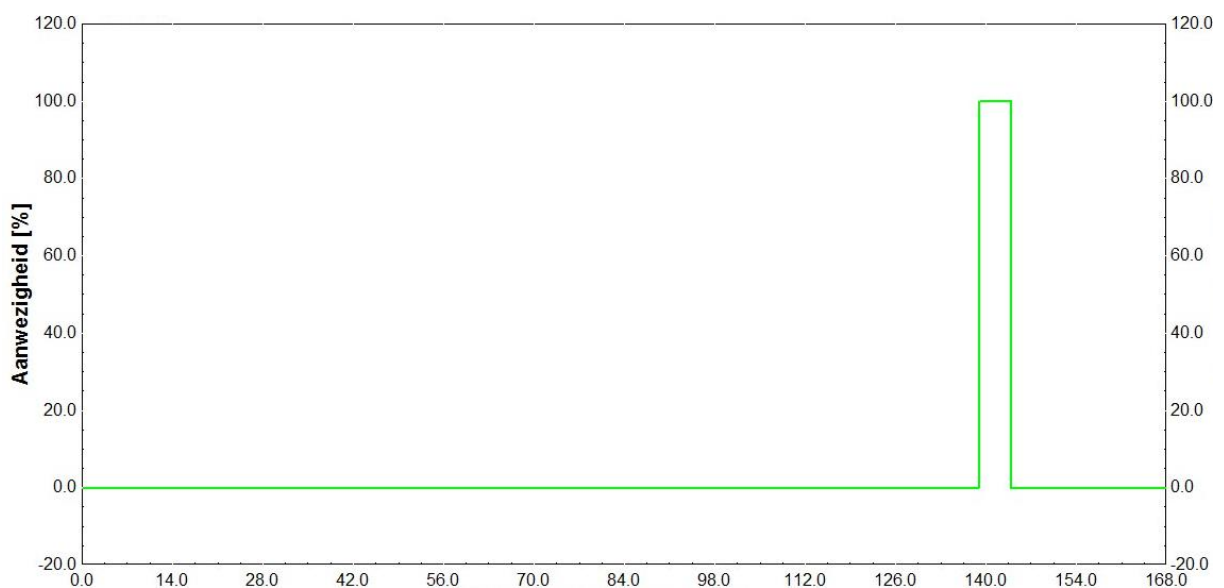
Figuur 40: Aanwezigheidsschema voor de personeelsruimte

Het vierde schema is het laatste dat wekelijks herhaald wordt en stelt de aanwezigheid voor in de vergaderzaal. Er is besloten om op maandagnamiddag, dinsdagvoormiddag en donderdagmiddag een vergadering in te richten. De raad van bestuur op zaterdagvoormiddag is niet opgenomen in dit schema, omdat dit maar 4 à 5 keer per jaar ingericht wordt en dus niet wekelijks plaatsvindt. De zone die overeenstemt met de vergaderzaal is V1_G0_H2.



Figuur 41: Aanwezigheidsschema voor de vergaderzaal

Het laatste schema is een uitzondering omdat dit het maar twee keer per jaar wordt toegepast. Dit schema geeft een evenement weer die georganiseerd wordt in de conferentieruimte van het gebouw. Om met een *worst case* scenario rekening te houden, wordt dit schema toegepast in de warmste en koudste week van het jaar. De zone die overeenkomt met de conferentieruimte van het gebouw is V2_G2_I7.



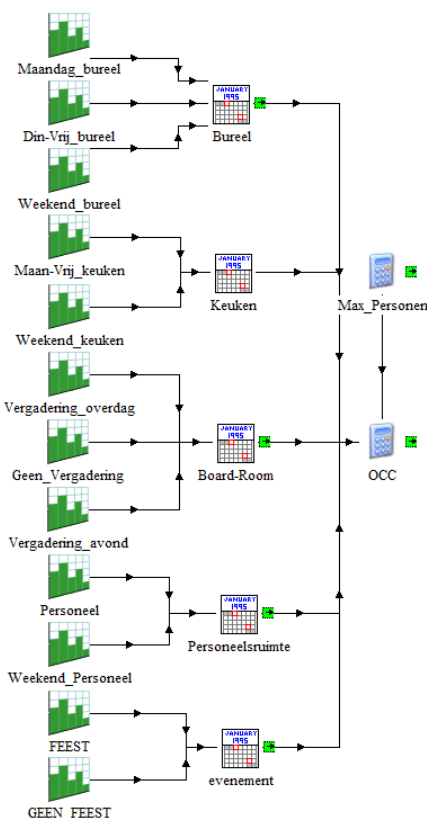
Figuur 42: Aanwezigheidsschema voor evenement

De besproken schema's geven een procentuele aanwezigheid in de verschillende zones. Om tot de effectieve bezetting in een ruimte te komen, moet er vermenigvuldigd worden met het maximum aantal personen in de respectievelijke zone.

Zone	Maximum bezetting	Zone	Maximum bezetting
V1_A5_H6	7	V2_A0_B4	6
V1_A0_E5	10	V2_G0_I2	7
V1_G2_H5	2	V1_G0_H2	14
V1_H0_I6	3	V2_C6_G7	20
V2_A4_C7	3	V2_G2_I7	50

Tabel 9: De maximum bezetting in een bepaalde zone

In Simulation Studio vertaalt dit geheel zich in twee verschillende *types* en twee *calculators*. Uiterst links op figuur 43 is de *type Time Dependent Forcing Function* (type 14) terug te vinden. Hierin worden de schema's, die hiervoor beschreven werden, ingegeven per 24 uur. Om bijvoorbeeld het eerste schema in te geven zijn er drie *types* nodig. Eén voor de maandag waar er langer gewerkt wordt, één voor dinsdag tot vrijdag waarbij het schema overal hetzelfde is en één voor het weekend, waar er niemand aanwezig is. Een tweede *type* is de *Load Profile Sequencer – Unique Days of the Week* (type 41). Deze *type* maakt het mogelijk om de verschillende schema's te koppelen aan de verschillende dagen van de week. De *calculator* 'Max_Personen' bevat de gegevens die beschreven staan in tabel 9. Uiteindelijk berekent de *calculator* 'OCC' de effectieve bezetting door de procentuele aanwezigheid uit de schema's, te vermenigvuldigen met de maximum bezetting in een zone uit de calculator 'Max_Personen'. Dit geheel wordt in de macro 'occupation' ondergebracht in Simulation Studio.



Figuur 43: Weergave van de schema's in Simulation Studio

2.2.2. Bepaling aanvoer-, doorvoer- en afvoerdebieten

De luchtkwaliteit in het kantoorgebouw moet een aanvaardbare tot middelmatige luchtkwaliteit hebben. In hoofdstuk 3.2 van de literatuurstudie komt dit overeen met de klasse IDA3 en IDA2. Bijgevolg wordt het toevoerdebiet $36 \text{ m}^3/\text{h}$ per persoon aangenomen. Er wordt enkel aanvoer van verse lucht voorzien in de kantoorruimtes en de inkomhal. De aanvoer, doorvoer en afvoer van luchtstromen door de ruimtes wordt weergegeven in bijlage 3 en 4.

Met het toevoerdebiet en de gegevens uit vorige paragraaf, kan het gevraagde aanvoerdebiet aan verse lucht in elke zone eenvoudig bepaald worden. Hierbij wordt er rekening gehouden met het feit dat wanneer er niemand aanwezig is in de desbetreffende ruimte, het aanvoerdebiet terugvalt op 15% van het totale aanvoerdebiet van de zone. Door het maximum te nemen van de ogenblikkelijke aanwezigheid en 15% van de maximale aanwezigheid, wordt dit minimum van 15% gewaarborgd. Het aanvoerdebiet wordt omgerekend naar kg/h omdat Simulation Studio deze eenheid hanteert om debieten te berekenen.

$$\text{Min_Flow}_i = \max(\text{occ}_i, \text{Max}_i * 0,15) * 36 \text{ m}^3/\text{h.persoon} * 1,204 \text{ kg}/\text{m}^3 \quad (9)$$

Met: -Min_Flow_i: Het gevraagde massadebiet lucht in zone i [kg/h];
-Occ_i: De ogenblikkelijke bezetting in zone i [personen];
-Max_i: De maximale bezetting in de zone [personen];
-De soortelijke massa van lucht = $1,204 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Het aanvoerdebiet in de hal kan niet gebaseerd worden op de aanwezigheid van personen, want deze personen passeren enkel door deze ruimte, maar voeren hier geen langdurige taken uit. De methode om het totaal aanvoerdebiet te bepalen is gebaseerd op de oppervlakte van de inkomhal en de basiswerkrimte per persoon volgens de richtlijn NEN 1824 (2010).

$$\text{Aanvoerdebiet}_{\text{hal}} = \frac{41,4 \text{ m}^2 * 36 \text{ m}^3/\text{h.persoon}}{4 \text{ m}^2/\text{persoon}} = 373 \text{ m}^3/\text{h} \quad (10)$$

Met: -De vloeroppervlakte van de inkomhal = $41,4 \text{ m}^2$;
-Het toevoerdebiet volgende de norm = $36 \text{ m}^3/\text{h.persoon}$;
-De basiswerkrimte per persoon = 4 m^2 .

Dit debiet wordt aangevoerd in de inkomhal van zodra er minstens één persoon aanwezig is in het volledige kantoorgebouw. Wanneer er niemand aanwezig is in het kantoorgebouw, valt het aanvoerdebiet terug op 15% van het totaal.

$$\text{Min_Flow}_i = (\text{aanwezigheid} * 0,85 + 0,15) * 373 \text{ m}^3/\text{h} * 1,204 \text{ kg}/\text{m}^3 \quad (11)$$

Met: -Min_Flow_i: Het afvoerdebiet in de zone [kg/h];
-Aanwezigheid: Is er iemand aanwezig in het gebouw? [1/0];
-De soortelijke massa van lucht = $1,204 \text{ kg}/\text{m}^3$.

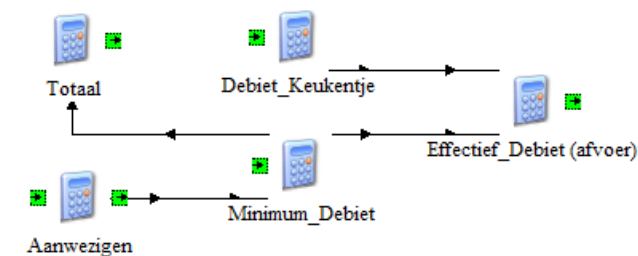
In de resterende ruimtes van het kantoorgebouw, zoals de keuken en de sanitaire blokken, wordt er geventileerd door de vers aangevoerde lucht in de kantoorruimtes via andere zones door en af te voeren in de vochtige lokalen. In het ontwerp van het kantoorgebouw zijn vier doorstroomketens gemodelleerd. Eén naar de keuken, twee die de afvoer realiseert uit de personeelsruimte en tot slot één per verdieping die de doorstroom verzorgt van de hal naar de toiletten. Dit heeft als gevolg dat het afvoerdebiet in sommige kantoorruimtes wordt opgesplitst in een afvoer- en een doorvoerdebiet. Hierbij wordt de helft van het debiet afgevoerd en de andere helft doorgevoerd.

Een uitzondering op deze aanname, is de keuken. Doordat dit een kleine ruimte is en deze ook helemaal ingesloten is, wordt ervoor gekozen om de ventilatienorm toe te passen voor residentiële gebouwen. Deze zegt dat het minimum afvoerdebiet voor gesloten keukens, met een vloeroppervlakte kleiner dan 20 m², 50 m³/h moet bedragen. Analooq aan vorige formules wordt het afvoerdebiet voor de keuken bepaald met volgende formule.

$$Exflow_3 = (Aanwezigheid * 0,85 + 0,15) * 50 \text{ m}^3/\text{h} * 1,204 \text{ kg}/\text{m}^3 \quad (12)$$

Met: -Exflow_3: Het afvoerdebiet in zone 3, de keuken [kg/h];
 -Aanwezigheid: Is er iemand aanwezig in de ruimte? [1/0];
 -De soortelijke massa van lucht = 1,204 kg/m³.

De beschreven berekeningen worden ingevoerd in het programma met behulp van *calculators*. In de *calculator* “Aanwezigen” wordt het totaal aanwezige personen berekend, in de *calculator* “Minimum_Debiet” worden de aanvoerdebieten berekend, in *calculator* de “Effectief_Debiet” worden de afvoerdebieten bepaald en in de *calculator* “Debiet_Keukentje” wordt het debiet van de keuken berekend. In de *calculator* “Totaal” wordt het totaal aanvoerdebiet berekend. Dit is de som van de aanvoerdebieten per zone. Om het overzicht te bewaren worden deze samen gebundeld in een macro “Controle centrum”.



Figuur 44: Weergave van de *calculators* in Simulation Studio

2.2.3. Componenten systeem D

De verschillende componenten van het ventilatiesysteem D worden door verschillende *types* ingevoerd in Simulation Studio. Hieronder worden alle toegepaste *types* besproken met de gebruikte parameters, inputs en outputs. Eveneens worden de links besproken met de al reeds besproken *types*.

➤ Toevoer ventilator

De toevoer ventilator, die voor het toevoerdebiet zorgt, wordt ingevoerd door de *type Variable Speed Fan* (type 744). Een belangrijke eigenschap van deze ventilator is dat het debiet variabel kan geregeld worden wanneer er minder vraag is naar verse lucht in het kantoorgebouw. Een gevolg hiervan is dat wanneer de ventilator minder debiet moet leveren, het ook minder energie verbruikt.

Om een correcte simulatie te krijgen moeten de parameters van deze *type* correct ingevuld worden. Een eerste parameter is het totaal leverbaar debiet van de ventilator. Dit moet hoger zijn dan het maximum te leveren debiet aan het gebouw. Dit wordt bekomen door de som te nemen van alle aanvoerdebieten uit vorig hoofdstuk, wanneer het kantoorgebouw een maximum bezetting heeft. Dit komt neer op 3338 m³/h of 4019 kg/h. Uit een technische fiche van axiaal ventilatoren in bijlage 5, wordt het leverbaar debiet bepaalt en het verbruik van de ventilator.

Variable Speed Fan_Toevoer (type 744)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Humidity mode	2	-
Rated flow rate	4455	kg/h
Rated power	0,37	kW
Input		
Inlet air temperature	Variabel	C
Not used (w) (Air humidity ratio)	Variabel	-
Inlet air %RH	Variabel	%
Air flow rate	Variabel	kg/h
Output		
Outlet air temperature	Variabel	C
Outlet humidity ratio	Variabel	-
Outlet air pressure	Variabel	atm
Power consumption	Variabel	kJ/h

Tabel 10: Parameters van de *type Variable Speed Fan*

De gegevens voor de input “*Air flow rate*” komen uit de *calculator* “Totaal” uit het controle centrum. Zoals eerder vermeld, is dit de som van het nodige aanvoerdebiet in elke zone. Deze parameter zorgt ervoor dat de ventilator, op momenten waar er minder bezetting is in het gebouw, minder debiet zal leveren en dus ook minder energie zal verbruiken. De links van de outputs met andere types komen in de volgende paragrafen aan bod.

➤ Diverter

Om de toevoerlucht uit de ventilator te verdelen onder de verschillende zones, zullen er op elke aanvoerbuis gestuurde kleppen moeten geïnstalleerd worden. In het simulatieprogramma wordt de werking van deze kleppen gegenereerd met behulp van de *type Air Diverting Valve* (type 646). Dit werkt op basis van fracties van luchtdebieten. Om de fracties of het relatieve debiet te bepalen zal het aanvoerdebiet per zone moeten gedeeld worden door het totale aanvoerdebiet.

$$Rel_Flow_i = \frac{Min_Flow_i}{TotFlow} \quad (13)$$

Met: -Rel_Flow_i: Het relatieve debiet in zone i [-];
 -Min_Flow_i: Het aanvoerdebiet in zone i [kg/h];
 -TotFlow: Het totale aanvoerdebiet van het gebouw [kg/h].

Deze waarden worden in de *calculator* “Relatief_Debiet” berekend en toegevoegd in de macro “Controle Centrum”. Vervolgens kunnen de verschillende parameters aangevuld of gekoppeld worden.

Air Diverting Valve (type 646)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Humidity mode	2	-
Number of outlet ports	12	-
Input		
Inlet air temperature	Variabel	C
Inlet air %RH	Variabel	%
Inlet air flow rate	Variabel	kg/h
Fraction of flow to outlet-i	Variabel	-
Output		
Outlet air temperature-i	Variabel	C
Outlet air humidity ratio-i	Variabel	-
Flow rate at outlet-i	Variabel	kg/h

Tabel 11: Parameters van de *type Air Diverting Valve*

De gegevens voor de input ‘Inlet air flow rate’ komen, net zoals bij de ventilator, uit de *calculator* “Totaal” van het controle centrum. De berekende fracties van de debieten met formule 13, worden per zone gekoppeld aan de inputparameter ‘Fraction of flow to outlet-i’. Hierbij staat de letter i voor het zonenummer dat terug te vinden is op de plannen in bijlage 3 en 4. Voor elke zone worden drie outputgegevens van deze *type* gekoppeld aan drie inputparameters van de *ventilation type* uit TRNBUILD van diezelfde zone. Verder moet de outputparameters van de *Multi-zone Building* voor sommige zones teruggekoppeld worden naar de inputparameters.

Output Air Diverting Valve	Input Multi-zone Building
Outlet air temperature-i	TSUPP Vx xx xx
Outlet humidity ratio-i	HSUPP Vx xx xx
Flow rate at outlet-i	FSUPP Vx xx xx
Output Multi-zone Building	Input Multi-zone Building
TAIR Vx xx xx	TIN Vx xx xx
ABSHUM Vx xx xx	HIN Vx xx xx
Output calculator Effectief Debiet	Input Multi-zone Building
Doorvoer	FIN Vx xx xx

Tabel 12: Links tussen *Air Diverting Valve* en *Multi-zone Building*

➤ Mixer

De afvoerlucht uit de verschillende zones komen terug samen alvorens ze naar buitenomgeving worden afgevoerd. Om dit te kunnen verwezenlijken in Simulation Studio, moet een *type* worden ingevoerd die de luchtstromen en de eigenschappen ervan samenvoegt. Dit gebeurt met de *mixer* (type 448) met volgende parameters.

Air Mixing Valve (type 448)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Humidity mode	2	-
Number of inlet ports	12	-
Input		
Inlet air temperature-i	<i>Variabel</i>	C
Not used (w)-i (Air humidity ratio)	<i>Variabel</i>	-
Inlet air %RH-i	<i>Variabel</i>	%
Inlet air flow rate-i	<i>Variabel</i>	kg/h
Output		
Outlet air temperature	<i>Variabel</i>	C
Outlet air humidity ratio	<i>Variabel</i>	-
Outlet air relative humidity	<i>Variabel</i>	%

Tabel 13: Parameters van de type Air Mixing Valve

De afvoerdebieten van de verschillende luchtstromen worden niet automatisch gegenereerd door TRNBuild. Daardoor werden de afvoerdebieten reeds berekend in hoofdstuk 2.2.2. Per zone werd een afvoerdebiet bepaald, die hier wordt gekoppeld aan de inputparameter “*Inlet flow rate*” met het overeenstemmende nummer. De eigenschappen van elke luchtstroom komt uit de *type* “*Multizone Building*”.

Output Multi-zone Building	Input Air Mixing Valve
TAIR_Vx_xx_xx	Inlet air temperature-i
ABSHUM_Vx_xx_xx	Not used (w)-i (Air humidity ratio)
RELHUM_Vx_xx_xx	Inlet air %RH-i
Output calculator Effectief debiet	Input Air Mixing Valve
ExFlow_i	Inlet flowrate at port-i

Tabel 14: Links tussen Multi-zone Building en Air Mixing Valve

➤ Warmtewisselaar

Een belangrijke component in dit ventilatiesysteem is de warmtewisselaar. Een volwaardige warmtewisselaar kan in Simulation Studio bekomen worden door het invoegen van de type “*Sensible Air to Air Heat Recovery*” (type 760). Dit stelt de werking voor van warmterecuperatie door middel van een warmtewiel. Het principe van dit soort warmtewisselaar is terug te vinden in hoofdstuk 2.1.2 van de literatuurstudie. De volgende parameters zijn noodzakelijk om de werking correct te simuleren.

Sensible Air to Air Heat Recovery (type 760)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Humidity mode	2	-
Rated power	0,186417	kW
Input		
Exhaust air temperature	Variabel	C
Not used (w)-i (Air humidity ratio)	Variabel	-
Exhaust air %RH	Variabel	%
Exhaust air flow rate	Variabel	kg/h
Fresh air temperature	Variabel	C
Fresh air %RH	Variabel	%
Fresh air flow rate	Variabel	kg/h
Sensible effectiveness	0,75	-
On/Off Control Signal	1 of 0	-
Output		
Exhaust air temperature	Variabel	C
Exhaust air humidity ratio	Variabel	-
Exhaust air %RH	Variabel	%
Fresh air temperature	Variabel	C
Fresh air humidity ratio	Variabel	-
Fresh air %RH	Variabel	%
Power	Variabel	kJ/h

Tabel 15: Parameters van de type *Sensible Air to Air Heat Recovery*

Met de inputparameter “*On/Off Control Signal*” kan aangegeven worden of de warmtewisselaar in- of uitgeschakeld is. Deze sturing is afhankelijk van verscheidene temperaturen van binnen en buiten het gebouw. Eerst wordt er bepaald wat de temperatuur is van de lucht die uit de warmtewisselaar komt en naar de ruimtes vloeit. Wanneer de warmtewisselaar uit staat, wordt de lucht gebypassed en is deze temperatuur gelijk aan de buitenluchttemperatuur. Als de warmtewisselaar aan staat, is deze temperatuur gelijk aan de buitenlucht, opgeteld bij het temperatuurverschil van de afvoerlucht en de buitenluchttemperatuur rekening houdend met het rendement.

$$T_{uit} = T_{buiten} \quad T_{aan} = T_{buiten} + \eta * (T_{afvoer} - T_{buiten}) \quad (14)$$

Met: $-T_{uit}$: Temperatuur aanvoerlucht met warmtewisselaar uit [°C];
 $-T_{buiten}$: Buitenluchttemperatuur [°C];
 $-T_{afvoer}$: Temperatuur van de afvoerlucht uit de zones [°C];
 $-\eta$: Het rendement van de warmtewisselaar;
 $-T_{aan}$: Temperatuur aanvoerlucht met warmtewisselaar aan [°C].

Op basis van deze twee temperaturen en de gevraagde temperatuur in het kantoorgebouw kan de warmtewisselaar gestuurd worden. Er wordt verwacht dat de warmtewisselaar aanschakelt als T_{aan} dicht bij de gevraagde temperatuur ligt dan T_{uit} . De sturing van de warmtewisselaar gebeurt met volgende formule en wordt berekend in de *calculator* ‘warmtewisselaar_1’.

$$Aan = gt \left(\max(T_{gevr} - T_{uit}, T_{uit} - T_{gevr}), \max(T_{aan} - T_{gevr}, T_{gevr} - T_{aan}) \right) \quad (15)$$

Met: $-T_{uit}$: Temperatuur van de aanvoerlucht wanneer de
warmtewisselaar uitgeschakeld is [°C];
 $-T_{aan}$: Temperatuur van de aanvoerlucht wanneer de
warmtewisselaar ingeschakeld is [°C];
 $-T_{gevr}$: De gevraagde binnentemperatuur [°C].

Om een correcte simulatie te verkrijgen moeten de inputgegevens voor de verse lucht uit de weergegevens komen. De inputgegevens van de afvoerlucht komen uit de *mixer*. Het massadebiet van de beide luchtstromen zijn hetzelfde en de gegevens voor deze parameter komen beide uit de *calculator* “Totaal” van het controle centrum.

Output Weather Data	Input Sensible Air to Air Heat Recovery
Dry bulb temperature	Fresh air temperature
Percent relative humidity	Fresh air %RH
Output Mixer	Input Sensible Air to Air Heat Recovery
Outlet air temperature	Exhaust air temperature
Outlet air humidity ratio	Not used (w)-i (Air humidity ratio)
Outlet air relative humidity	Exhaust air %RH
Calculator Totaal	Input Sensible Air to Air Heat Recovery
TotFlow	Fresh air flow rate
TotFlow	Exhaust air flow rate

Tabel 16: Links met Sensible Air to Air Heat Recovery

De outputgegevens van de verse aanvoerlucht die uit de warmtewisselaar komen, worden gekoppeld aan de *Diverter*. De drie outputparameters voor de afvoerlucht worden in volgende paragraaf gekoppeld aan de afvoerventilator.

Output Sensible Air to Air Heat Recovery	Input Diverter
Fresh air temperature	Inlet air temperature
Fresh air humidity ratio	Inlet air %RH
Fresh air %RH	Inlet air flow rate

Tabel 17: Links tussen Sensible Air to Air Heat Recovery en Diverter

➤ Afvoer ventilator

Het afvoerdebiet wordt gecreëerd door een ventilator. Deze is van dezelfde soort als de aanvoerventilator, namelijk de *Variable Speed Fan* (type 744). Ook het maximum leverbaar debiet als het vermogen blijven hetzelfde aangezien er in totaal evenveel lucht wordt aangevoerd als afgevoerd.

Variable Speed Fan_Afvoer (type 744)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Humidity mode	2	-
Rated flow rate	4455	kg/h
Rated power	0,37	kW
Input		
Inlet air temperature	<i>Variabel</i>	C
Not used (w) (Air humidity ratio)	<i>Variabel</i>	-
Inlet air %RH	<i>Variabel</i>	%
Air flow rate	<i>Variabel</i>	kg/h
Output		
Outlet air temperature	<i>Variabel</i>	C
Outlet humidity ratio	<i>Variabel</i>	-
Outlet air pressure	<i>Variabel</i>	atm
Power consumption	<i>Variabel</i>	kJ/h

Tabel 18: Parameters van de type *Variable Speed Fan*

De gegevens voor de input “*Air flow rate*” komen uit de *calculator* “Totaal” van het Controle Centrum. De overige inputs komen uit de hiervoor besproken type “*Sensible Air to Air Heat Recovery*”.

Output Sensible Air to Air Heat Recovery	Input Variable Speed fan_Afvoer
Exhaust air temperature	Inlet air temperature
Exhaust air humidity ratio	Not used (w) (Air humidity ratio)
Exhaust air %RH	Inlet air %RH

Tabel 19: Links tussen *Sensible Air to Air Heat Recovery* en *Variable Speed Fan*

2.2.4. Nachtventilatie

Het begrip nachtventilatie is het intensief ventileren van de binnenruimte gedurende de nacht. Dit om de ruimtes, vooral tijdens de zomernachten, sneller af te koelen. In het model is dit omgevormd tot het opdrijven van het toevoerdebiet van een bepaalde zone tot zijn maximum wanneer aan bepaalde voorwaarden voldaan wordt. Deze voorwaarden worden in verschillende stappen opgebouwd. De eerste stap is bepalen tussen welke tijdstippen het nacht is. Tijdstippen na 20h 's avonds en voor 6h30 's morgens worden als nacht beschouwd. Dit kan bepaald worden met een *calculator* die een logische waarde 1 genereert wanneer het nacht is en een logische waarde 0 genereert wanneer het dag is. Deze *calculator* wordt in de macro “*weather data*” ondergebracht en bepaalt de logische waarden als volgt.

$$Nacht = gt \left((gt(6.5, uur) + gt(uur, 20)), 0.5 \right) \quad (16)$$

Met: -uur: Het effectieve tijdstip bekomen uit de *weather data* [h].

Met onder andere deze parameter wordt de sturing opgesteld voor de nachtventilatie. Dit wordt geregeld via een hysteresislus om te vermijden dat de ventilatoren te vaak korte perioden naar het hoogste aanvoerdebiet moeten overschakelen. Een hysteresislus wordt ingevoegd door de type *ON/OFF Differential Controller* (type 2) en wordt gebruikt om een verschil toe te laten tussen de temperatuur waarbij een toestel aan- en uitschakelt.

ON/OFF Differential Controller (type 2)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
No. of oscillations	5	-
High limit cut-out	100.0	C
Input		
Upper input temperature Th	Variabel	C
Lower input temperature Tl	Variabel	C
Input control function	1 of 0	-
Upper dead band dT	Variabel	C
Lower dead band dT	Variabel	C
Output		
Naam	Waarde	Eenheid
Output control function	Variabel	-

Tabel 20: Parameters van de type *ON/OFF Differential Controller*

In volgende tabel worden de verschillende links met deze *type* weergegeven. Daarna worden alle keuzes en de werking van het geheel uitgelegd.

Output Multizone building	Input ON/OFF Differential Controller
TAIR_Vx_xx_xx	Upper input temperature Th
Calculator gevraagde T	Input ON/OFF Differential Controller
T_Gevr	Lower input temperature Tl
Bovengrens	Upper dead band dT
Ondergrens	Lower dead band dT
Output ON/OFF Differential Controller	Input ON/OFF Differential Controller
Output control function	Input control function

Tabel 21: Links met *ON/OFF Differential Controller*

Van zodra het verschil tussen de *upper en lower input temperature* groter wordt dan de *upper dead band*, zal het controlesignaal *output control function* 1 zijn. Indien het verschil terugvalt onder de *lower dead band*, zal het controlesignaal nul zijn. In de andere gevallen zal het controlesignaal van de vorige *timestep* behouden worden. Hierdoor is er een terugkoppeling nodig van de outputparameter *output control function* naar de inputparameter *input control function*. De waarden van de *upper and lower dead band* worden met de volgende formules bepaald en zijn afhankelijk van de parameter “Nacht”.

$$\text{Bovengrens} = 4 - \text{Nacht} * 2 \quad (17)$$

$$\text{Ondergrens} = 2 - \text{Nacht} * 1$$

Met: -Bovengrens: Upper dead band [C];
 -Ondergrens: Lower dead band [C];
 -Nacht: Is het nacht (=1) of niet (=0).

In de periode tussen 20h 's avonds en 6h30 's morgens, zal de parameter “Nacht” gelijk zijn aan 1. Hierdoor wordt de bovengrens 2 graden en ondergrens 1 graad temperatuurverschil. Dit wil zeggen dat wanneer het verschil van de temperatuur in een ruimte en de gevraagde temperatuur hoger is dan 2 graden, de nachtventilatie zal inschakelen. Van zodra de ruimtetemperatuur 1 graad boven de gevraagde temperatuur is gezakt, schakelt de nachtventilatie terug uit. Als de parameter “Nacht” gelijk is aan 0, periode tussen 6h30 's morgens en 20h 's avonds, kan de nachtventilatie ook inschakelen. Dit wordt dan geen nachtventilatie meer genoemd, maar koeling. Hierbij gelden strengere regels vooraleer het systeem inschakelt. Er moet een temperatuurverschil zijn van 4 graden voor het systeem inschakelt en het schakelt terug uit wanneer de temperatuur 2 graden boven de gevraagde temperatuur zakt.

Om ervoor te zorgen dat het aanvoerdebiet wordt opgedreven tot zijn maximum, moeten de formules 9 en 11 uit hoofdstuk 2.2.2 aangepast worden. De parameter “*Koel_i*”, die gelinkt is met de parameter *Output control function*, zorgt ervoor dat het aanvoerdebiet wordt opgedreven tot het maximum in de zone wanneer de nachtventilatie of koeling wordt ingeschakeld. Voor het aanvoerdebiet van de kantoorruimtes wordt volgende formule gebruikt.

$$\text{Min_Flow_i} = \max(\text{occ_i}, \text{Max_i} * (0,15 + 0,85 * \text{Koel_i}) * 36 \frac{\text{m}^3}{\text{h.persoon}} * 1,204 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \quad (18)$$

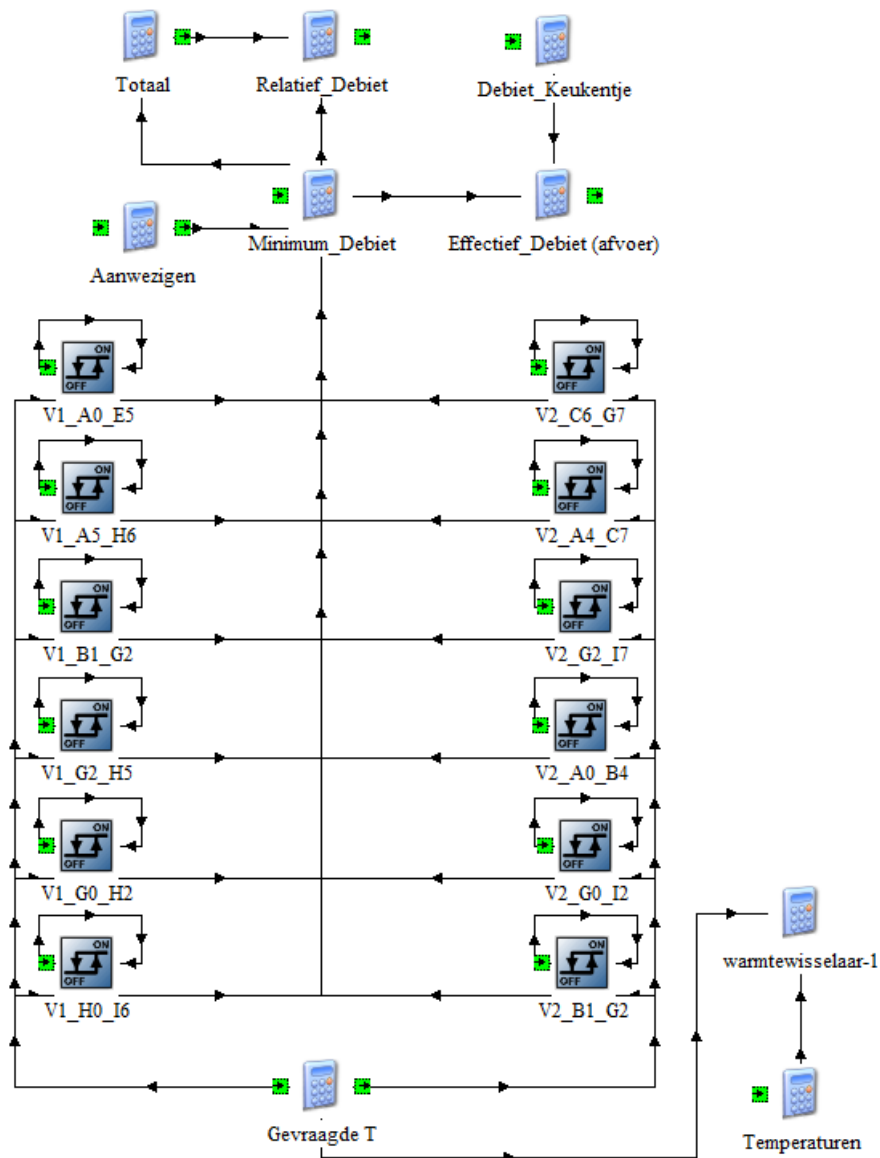
Met: -Min_Flow_i: Het gevraagde massadebiet lucht in zone i[kg/h];
 -Occ_i: De ogenblikkelijke bezetting in zone i [personen];
 -Max_i: De maximale bezetting in de zone [personen];
 -Koel_i: Nachtventilatie/koeling aan (=1) of uit (=0) per zone;
 -De soortelijke massa van lucht = 1,204 kg/m³.

Voor de verschillende hallen in het gebouw wordt een andere formule gebruikt, omdat er hier niet gestuurd wordt op aanwezigheid. Het debiet wordt bekomen door de vloeroppervlakte in rekening te brengen en het debiet stijgt naar het maximum, wanneer de nachtventilatie of koeling in werking treedt.

$$Min_Flow_i = (max(0.85 * Koel_i, aanwezigheid * 0.85) + 0.15) * 373 \frac{m^3}{h} * 1,204 \frac{kg}{m^3} \quad (19)$$

- Met:
- Min_Flow_i: Het afvoerdebiet in de zone [kg/h];
 - Aanwezigheid: Is er iemand aanwezig in het gebouw? [1/0];
 - Koel_i: Nachtventilatie/koeling aan (=1) of uit (=0) per zone;
 - De soortelijke massa van lucht = 1,204 kg/m³.

Deze *type* en de verschillende linken met de andere componenten worden toegevoegd aan de macro “Controle Center”. Dit ziet er voorlopig als volgt uit.



Figuur 45: Weergave ‘Controle Centrum’ in Simulation Studio

2.2.5. Voorverwarming

Wanneer er verse lucht wordt aangevoerd, wordt deze deels voorverwarmd in de warmtewisselaar van het ventilatiesysteem door de afvoerlucht uit de ruimtes. Indien de temperatuur hierna nog steeds te laag is, wordt de lucht extra opgewarmd door de voorverwarming. Verder heeft de voorverwarming een bijkomende functie buiten het opwarmen van de lucht tot een aanvaardbaar niveau. Deze tweede functie bestaat erin de vloerverwarming te ontlasten in de tussenseizoenen. Doordat de vloerverwarming een traag warmteafgiftesysteem is, zal het energiezuiniger zijn om met luchtverwarming te werken in plaats van met vloerverwarming tijdens deze periodes. In dit model is dit effect minder groot, omdat de vertraging die de vloerverwarming ondergaat niet opgenomen is in het model.

In het ontwerp van de technieken in het kantoorgebouw wordt er één verwarmingsbatterij voorzien per ventilatiekring. Deze component is een water-luchtwarmtewisselaar waarbij het water uit het warm buffervat van het warmteopwekking systeem komt. In het simulatieprogramma wordt er één verwarmingsbatterij voorzien in het hoofdventilatiekanaal in plaats van één per aanvoerkanaal van een zone. Indien er verwarmingsbatterijen worden voorzien in alle kringen, worden de warmtevragen opgeteld om het totaal verwarmingsvermogen te bepalen. Dit is mathematisch hetzelfde als het totaal verwarmingsvermogen leveren door één batterij in het hoofdventilatiekanaal.

In het simulatieprogramma worden twee dezelfde *types* ingevoegd om de voorverwarming te kunnen simuleren, namelijk de *type Auxiliary Heater* (type 6). Er moet tweemaal dezelfde *type* ingevoerd worden omdat de warmtecapaciteit van de lucht niet veranderlijk kan worden ingegeven, terwijl deze wel veranderlijk is. Daardoor wordt de luchtstroom gesplitst op basis van het absolute vochtgehalte. Dit resulteert in een droge luchtstroom en een stroom van waterdamp.

De opwarmcapaciteit van deze *type* wordt heel groot gekozen, zodat deze component de luchtstroom te allen tijde kan opwarmen tot de gevraagde temperatuur. Achteraf kan, aan de hand van het verbruik, het juiste apparaat gekozen worden. De toegepaste parameters van deze twee *type* zijn terug te vinden in volgende tabellen.

Auxiliary Heater_Air (type 6)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Maximum heating rate	10 ¹²	kJ/h
Specific heat of fluid	1.00	kJ/kg.K
Input		
Inlet fluid temperature	<i>Variabel</i>	C
Fluid mass flow rate	<i>Variabel</i>	kg/h
Control function	1	-
Set point temperature	<i>Variabel</i>	C
Output		
Outlet fluid temperature	<i>Variabel</i>	C
Outlet fluid flow rate	<i>Variabel</i>	kg/h
Required heating rate	<i>Variabel</i>	kg/h

Tabel 22: Parameters van de *type Auxiliary Heater_Air*

Auxiliary Heater_Water (type 6)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Maximum heating rate	10 ¹²	kJ/h
Specific heat of fluid	4.19	kJ/kg.K
Input		
Inlet fluid temperature	Variabel	C
Fluid mass flow rate	Variabel	kg/h
Control function	1	-
Set point temperature	Variabel	C
Output		
Outlet fluid temperature	Variabel	C
Outlet fluid flow rate	Variabel	kg/h
Required heating rate	Variabel	kg/h

Tabel 23: Parameters van de type Auxiliary Heater_Water

Doordat de warmtecapaciteit van de lucht niet veranderlijk kan ingegeven worden, terwijl deze wel veranderlijk is, wordt de luchtstroom gesplitst. Deze splitsing gebeurt op basis van het absolute vochtgehalte en resulteert in een droge luchtstroom en een stroom van waterdamp. De berekening van beide debieten wordt hieronder weergegeven.

$$Flow_Air = TotFlow * (1 - Abs_Hum) \quad (20)$$

$$Flow_Water = TotFlow * Abs_Hum$$

- Met:
- Flow_Air: Het massadebiet aan droge lucht[kg/h];
 - Flow_Water: Het massadebiet aan waterdamp[kg/h];
 - TotFlow: Het totaal massadebiet [kg/h];
 - Abs_Hum: Absoluut vochtgehalte [kg/kg].

De eigenschappen van de toevoerlucht in de verwarmingsbatterij komen uit de toevoerventilator. Verder wordt de *Set point temperature*, de temperatuur tot waar de luchtstroom opgewarmd wordt, een graad hoger gezet dan de gevraagde temperatuur. Dit om het vloerverwarmingssysteem te ontlasten in de tussenseizoenen. De nieuwe temperatuur wordt met de parameter T_Heat bepaald. Samen met de berekening van de debieten, wordt dit ondergebracht in de calculator "Control".

Calculator Control	Input Auxiliary Heater_Air
Flow_Air	Fluid mass flow rate
T_Heat	Set point temperature
Output Variable Speed Fan_Toevoer	Input Auxiliary Heater_Air
Outlet air temperature	Inlet fluid temperature-

Tabel 24: Links met Auxiliary Heater_Air

Calculator Control	Input Auxiliary Heater_Water
Flow_Water	Fluid mass flow rate
T_Heat	Set point temperature
Output Variable Speed Fan_Toevoer	Input Auxiliary Heater_Water
Outlet air temperature	Inlet fluid temperature-

Tabel 25: Links met Auxiliary Heater_Water

2.2.6. Voorkoeling

Het systeem van nachtventilatie en koeling, zorgt enkel voor een verhoging van het aanvoerdebiet. Er bestaat een mogelijkheid dat de aanvoerlucht te warm is en deze moet afgekoeld worden vooraleer de lucht in de ruimtes wordt ingeblazen. Dit om onder de bovengrens van 27°C te blijven zodat de grenswaarde van de comforttemperatuur bereikt wordt. Deze temperaturen zijn terug te vinden in hoofdstuk 3.3 van de literatuurstudie.

De koeling gebeurt door koelbatterijen te integreren in de aanvoerleidingen van het ventilatiesysteem. Met dezelfde reden als bij de voorverwarming, wordt er in het simulatieprogramma gekozen voor één koelbatterij in het hoofdventilatiekanaal, die zich net na de verwarmingsbatterij bevindt. Deze component is een water-luchtwarmtewisselaar, waar het water uit het koud buffervat komt. Deze wordt besproken in het hoofdstuk 2.3.2 van het warmteopwekking systeem. Ook hier moet de luchtstroom opgesplitst worden in een droge luchtstroom en stroom met waterdamp. Hiervoor wordt de *type Auxiliary Cooling Device* (type 92) tweemaal ingevoerd in Simulation Studio. De parameters zijn analoog aan deze van de voorverwarming.

Auxiliary Cooling Device_Air (type 92)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Maximum cooling rate	10 ¹²	kJ/h
Specific heat of fluid	1	kJ/kg.K
Input		
Inlet fluid temperature	<i>Variabel</i>	C
Fluid mass flow rate	<i>Variabel</i>	kg/h
Control function	1	-
Set point temperature	<i>Variabel</i>	C
Output		
Outlet fluid temperature	<i>Variabel</i>	C
Outlet fluid flow rate	<i>Variabel</i>	kg/h
Required cooling rate	<i>Variabel</i>	kg/h

Tabel 26: Parameters van de type Cooling Device_Air

Auxiliary Cooling Device_Water (type 92)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Maximum cooling rate	10 ¹²	kJ/h
Specific heat of fluid	4.19	kJ/kg.K
Input		
Inlet fluid temperature	<i>Variabel</i>	C
Fluid mass flow rate	<i>Variabel</i>	kg/h
Control function	1	-
Set point temperature	<i>Variabel</i>	C
Output		
Outlet fluid temperature	<i>Variabel</i>	C
Outlet fluid flow rate	<i>Variabel</i>	kg/h
Required cooling rate	<i>Variabel</i>	kg/h

Tabel 27: Parameters van de type Cooling Device_Water

De gegevens voor het debiet en de temperatuur van de aanvoerlucht in de voorkoeling, komen van de outputparameters van de voorverwarming. De *Set point temperature*, de temperatuur tot waar de luchtstroom afgekoeld wordt, wordt twee graden hoger gezet dan de gevraagde temperatuur. Dit zodat de voorverwarming niet aanslaat wanneer er teveel afgekoeld wordt. De nieuwe temperatuur wordt met de parameter T_Cool bepaald, die wordt berekend in de *calculator* “Control”.

Output Auxiliary Heater_Air	Input Auxiliary Cooling Device_Air
Outlet fluid temperature	Inlet fluid temperature
Outlet fluid flow rate	Fluid mass flow rate
Calculator Control	Input Auxiliary Cooling Device_Air
T_Cool	Set point temperature

Tabel 28: Links met *Cooling Device_Air*

Output Auxiliary Heater_Water	Input Auxiliary Cooling Device_Water
Outlet fluid temperature	Inlet fluid temperature
Outlet fluid flow rate	Fluid mass flow rate
Calculator Control	Input Auxiliary Cooling Device_Water
T_Cool	Set point temperature

Tabel 29: Links met *Cooling Device_Water*

De laatste ontbrekende parameters is de relatieve vochtigheid van de *diverter*. Doordat er gewerkt wordt met een gesplitste luchtstroom, moet de relatieve vochtigheid berekend worden door het invoegen van een nieuwe type met de naam “*Psychrometrics: Dry Bulb Temperature and Humidity Ratio Known*”. Deze type berekend de relatieve vochtigheid op basis van de luchttemperatuur en absolute luchtvochtigheid. De absolute luchtvochtigheid wordt uit het hoofdventilatiekanaal gehaald en de luchttemperatuur uit de stroom van waterdamp na de koelingsbatterij.

Psychrometrics: Dry Bulb Temperature and Humidity Ratio Known (type 33)		
Input		
Naam	Waarde	Eenheid
Dry bulb temperature	<i>Variabel</i>	C
Absolute humidity ratio	<i>Variabel</i>	-
Pressure	<i>Variabel</i>	atm
Output		
Percent relative humidity	<i>Variabel</i>	%

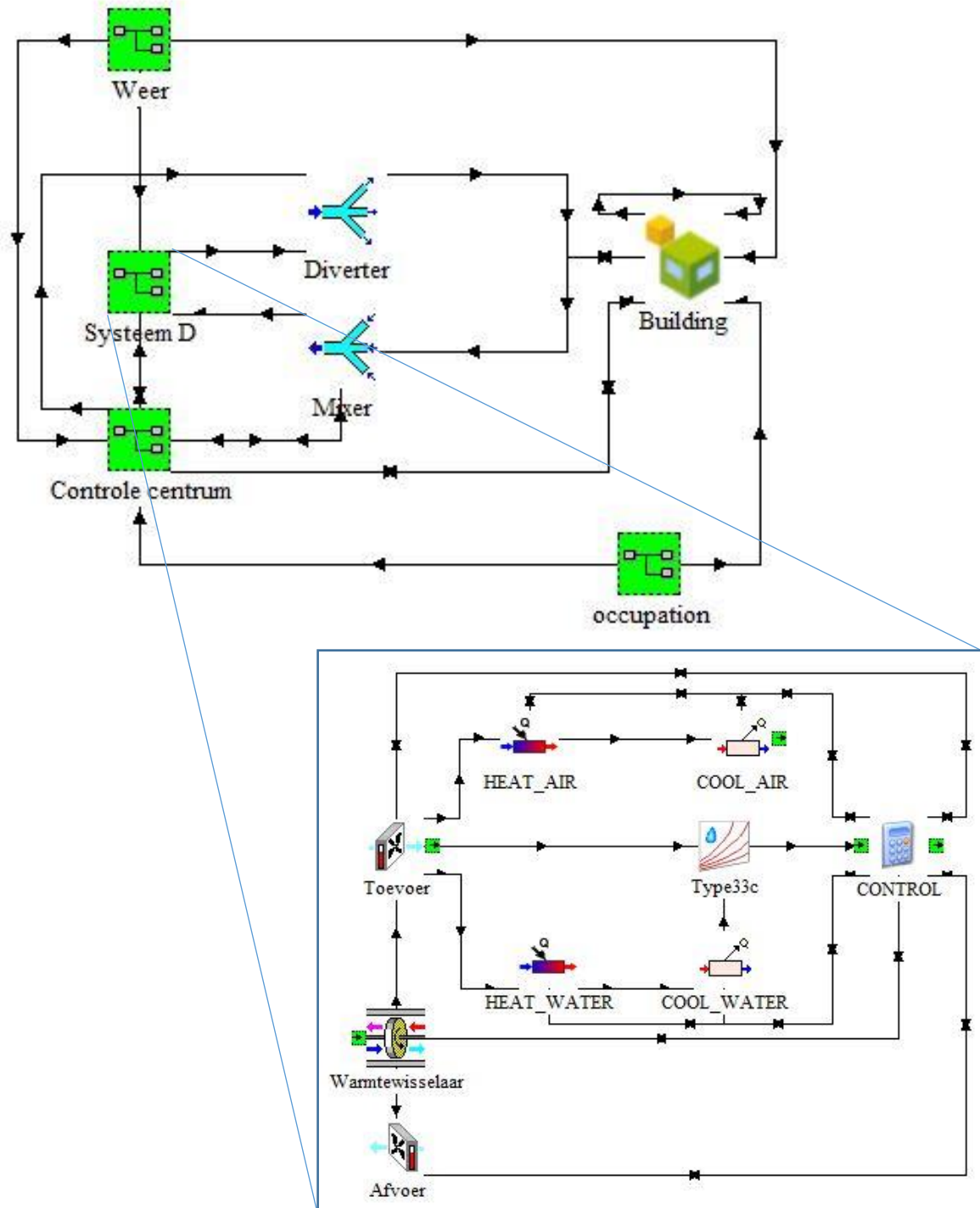
Tabel 30: Parameters van de type *Psychrometrics: Dry Bulb Temperature and Humidity Ratio Known*

De relatieve vochtigheid van deze *type* wordt gekoppeld aan de inputparameter van de *diverter*.

Output Variable Speed Fan_Toevoer	Input Psychrometrics: Dry Bulb Temperature and Humidity Ratio Know
Outlet humidity ratio	Absolute humidity ratio
Output Auxiliary Cooling Device_Water	Input Psychrometrics: Dry Bulb Temperature and Humidity Ratio Know
Outlet fluid temperature	Dry bulb temperature
Output Psychrometrics: Dry Bulb Temperature and Humidity Ratio Know	Input Diverter
Percent relative humidity	Inlet air %RH

Tabel 31: Links met *Psychrometrics: Dry Bulb Temperature and Humidity Ratio Known*

Door het invoegen van deze laatste component, is het ventilatiesysteem volledig ontworpen in Simulation Studio. Alvorens de werking wordt gecontroleerd in hoofdstuk 2.2.7, zijn de verschillende *types* en de linken ertussen weergegeven in volgende figuur.



Figuur 46: Weergave ventilatiesysteem D in Simulation studio

2.2.7. Controle en correctie

In dit hoofdstuk wordt gecontroleerd of het opgebouwde ventilatiesysteem overeenstemt met de vooropgestelde normen en eisen. Tijdens de eerste simulatie genereerde TRNSys een foutmelding dat de evenwichtstemperatuur niet kan berekend worden in bepaalde zones. Het probleem ligt bij de sturing van de warmtewisselaar. De parameter T_{aan} bepaalt het inschakelen van de warmtewisselaar en werd gedefinieerd met formule 14 uit hoofdstuk 2.2.3. Deze parameter is onder andere afhankelijk van de temperatuur van de afvoerlucht en deze temperatuur is terug afhankelijk van T_{aan} . Want de afvoertemperatuur zal verschillend zijn naargelang de warmtewisselaar in- of uitgeschakeld is. Hierdoor kan TRNSys geen evenwichtstemperatuur berekenen bij een *timestep*. De sturing moet aangepast worden om dit probleem op te lossen. Dit gebeurt door het invoegen van een hysteresislus, waarbij de gegevens van de vorige timestep gebruikt worden om de parameters te berekenen. Een hysteresislus wordt ingevoegd door de type *ON/OFF Differential Controller* (type 2).

ON/OFF Differential Controller (type 2)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
No. of oscillations	5	-
High limit cut-out	100.0	C
Input		
Upper input temperature T_h	<i>Variabel</i>	C
Lower input temperature T_l	<i>Variabel</i>	C
Input control function	1 of 0	-
Upper dead band dT	2	C
Lower dead band dT	0	C
Output		
Naam	Waarde	Eenheid
Output control function	<i>Variabel</i>	-

Tabel 32: Parameters van de type *ON/OFF Differential Controller*

Er zijn twee nieuwe parameters die bepaald moeten worden om een correcte sturing te verkrijgen van de warmtewisselaar. Deze zijn afhankelijk van de gevraagde temperatuur en de reeds gedefinieerde T_{aan} en T_{uit} .

$$T_{ref_aan} = \text{abs}(T_{aan} - T_{gevr}) \quad (21)$$

$$T_{ref_uit} = \text{abs}(T_{uit} - T_{gevr}) \quad (22)$$

- Met:
- T_{ref_aan} : Referentietemperatuur indien de warmtewisselaar ingeschakeld is [$^{\circ}\text{C}$];
 - T_{ref_uit} : Referentietemperatuur indien de warmtewisselaar uitgeschakeld is [$^{\circ}\text{C}$];
 - T_{uit} : Temperatuur van de aanvoerlucht wanneer de warmtewisselaar uitgeschakeld is [$^{\circ}\text{C}$];
 - T_{aan} : Temperatuur van de aanvoerlucht wanneer de warmtewisselaar ingeschakeld is [$^{\circ}\text{C}$];
 - T_{gevr} : De gevraagde binnentemperatuur [$^{\circ}\text{C}$].

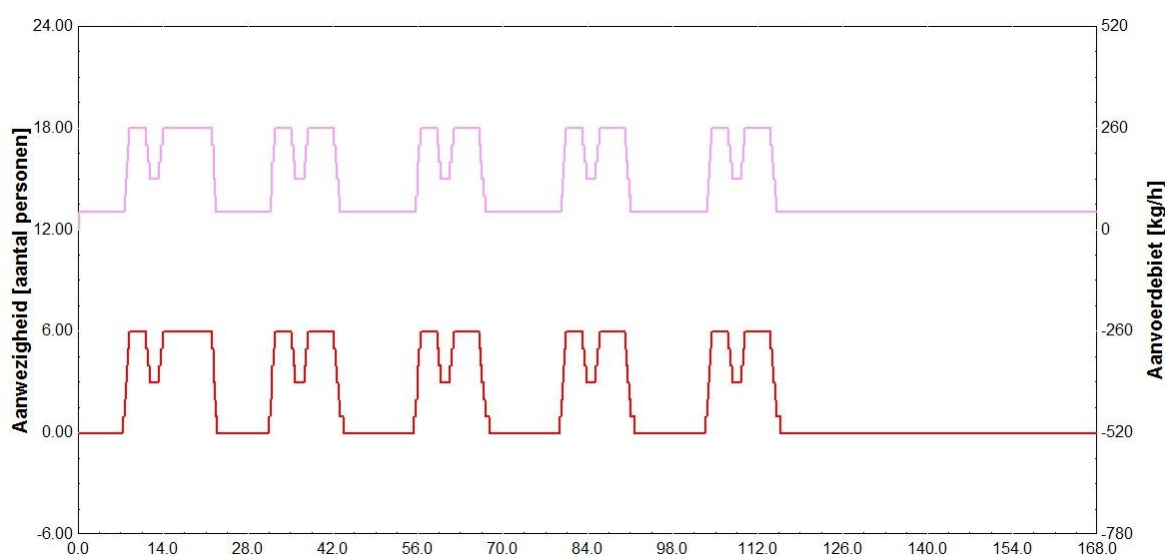
In volgende tabel worden de verschillende links met deze *type* weergegeven.

Ouput calculator Warmtewisselaar_1	Input ON/OFF Differential Controller
T_ref_aan	Upper input temperature Th
T_ref_uit	Lower input temperature Tl
Output ON/OFF Differential Controller	Input ON/OFF Differential Controller
Output control function	Input control function

Tabel 33: Links met *ON/OFF Differential Controller*

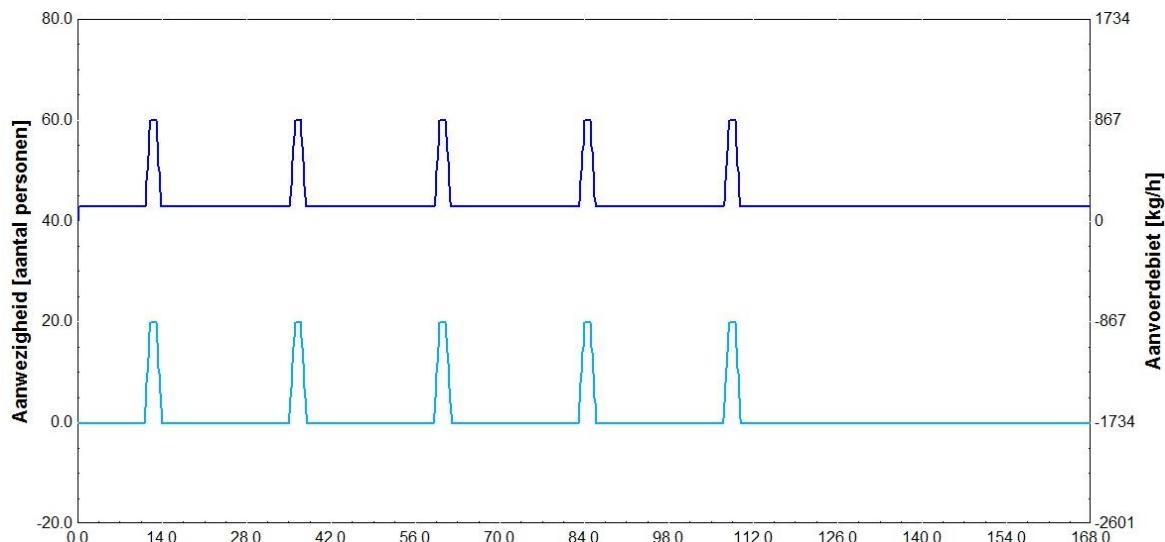
De warmtewisselaar schakelt in wanneer het verschil tussen T_ref_aan en T_ref_uit groter wordt dan de *upper dead band*. Het systeem schakelt terug uit wanneer het verschil tussen T_ref_aan en T_ref_uit kleiner wordt dan de *lower dead band*. Het probleem met de warmtewisselaar is hiermee opgelost en nu kan het ventilatiesysteem verder gecontroleerd worden. De verdere controle gebeurt op basis van enkele steekproeven afgebeeld per week omdat de volledige controle onoverzichtelijk is. Niet te min werd de controle wel volledig uitgevoerd om er zeker van te zijn dat het systeem correct werkt. Er wordt enkel een weergave gegeven van de verschillende debieten ten opzichte van de aanwezigheid van de zones en niet van de temperaturen. Dit komt omdat er nog teveel extreme temperaturen heersen in het kantoorgebouw door het ontbreken van een warmteopwekking systeem. Ook wordt de nachtventilatie en koeling uitgeschakeld, omdat het te vaak tot een verhoogd debiet zou leiden door de extreme temperaturen.

De eerste controle vindt plaats in de kantoorruimte V1_A5_H6. De rode grafiek stelt de aanwezigheid in de zone voor en de roze grafiek het aanvoerdebiet. Wetende dat de het debiet bepaald wordt door de ogenblikkelijke aanwezigheid te vermenigvuldigen met 36 m³/h.personen en de soortelijke massa van lucht, wordt het aanvoerdebiet 260,06 kg/h bij een bezetting van 6 personen. Dit komt overeen met volgende figuur, ook wanneer er een minder personen aanwezig zijn in de ruimte. Wanneer er niemand aanwezig is in de zone, moet het aanvoerdebiet terugvallen tot 15% van het maximale debiet. Dit wordt berekend door de maximale bezetting van 7 personen te vermenigvuldigen met 36 m³/h.personen en de soortelijke massa van lucht. Het resultaat is 45,55 kg/h en komt overeen met volgende figuur.



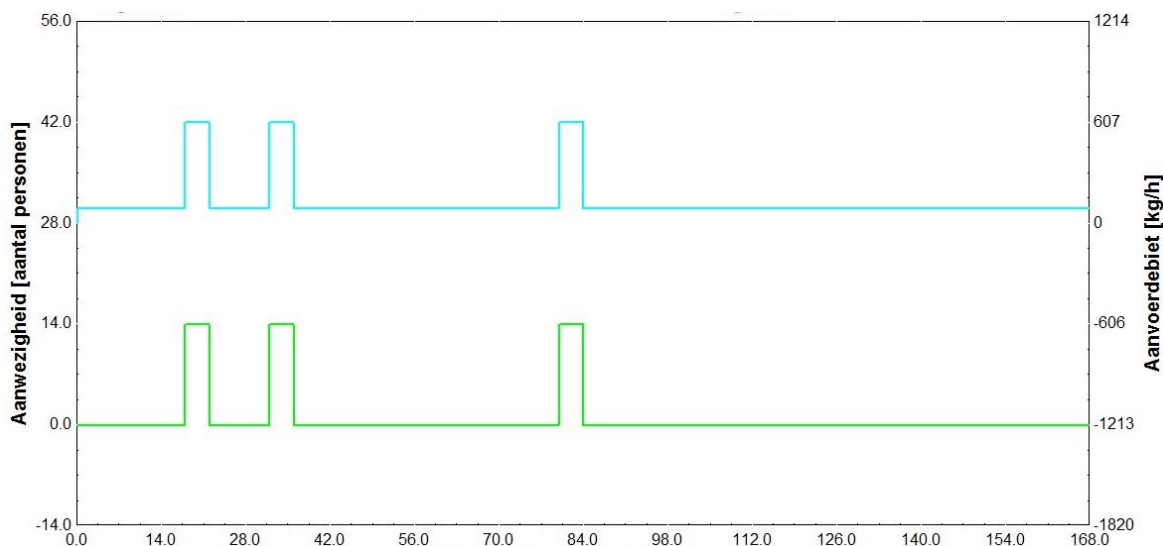
Figuur 47: Grafiek van het aanvoerdebiet en aanwezigheid in V1_A5_H6

Deze controle wordt herhaald voor de ruimtes met een andere bestemming. De zone V2_C6_G7 doet dienst als personeelsruimte. De lichtblauwe grafiek stelt de aanwezigheid voor in de zone en de donkerblauwe grafiek het aanvoerdebiet. De berekening verloopt gelijkaardig aan de voorgaande situatie, zodat het aanvoerdebiet 866,88 kg/h wordt bij een bezetting van 20 personen en terugvalt op een debiet van 130,03 kg/h als niemand aanwezig is.



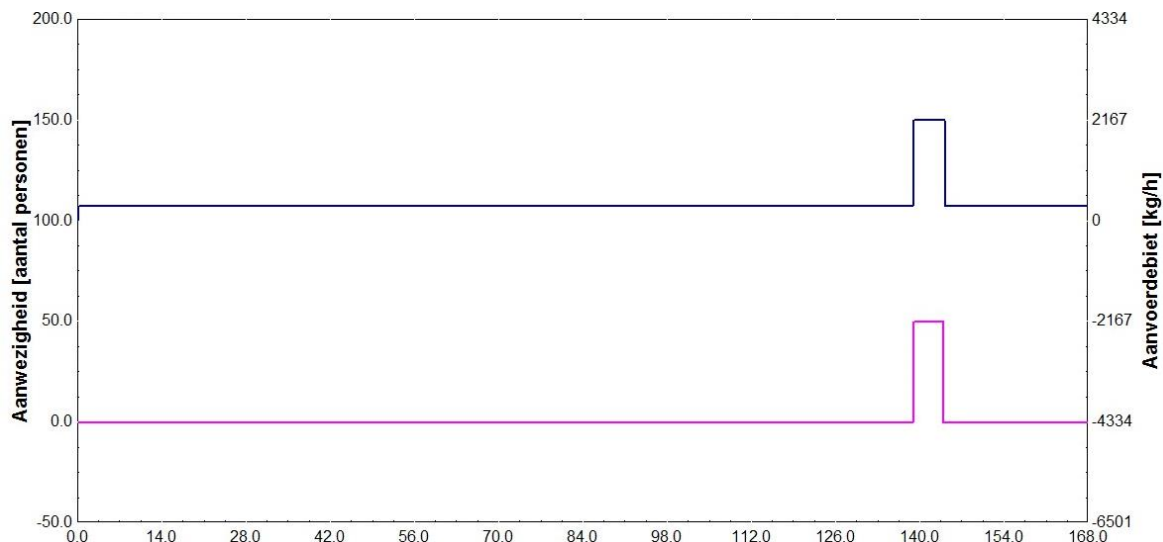
Figuur 48: Grafiek van het aanvoerdebiet en aanwezigheid in V2_C6_G7

De volgende zone is V1_G0_H2 en deze wordt ingericht als vergaderruimte. De groene grafiek stelt de aanwezigheid voor in de zone en de lichtblauwe grafiek het aanvoerdebiet. De berekening verloopt gelijkaardig aan de eerste situatie, zodat het aanvoerdebiet 606,82 kg/h wordt bij een bezetting van 14 personen en terugvalt op een debiet van 91,02 kg/h als niemand aanwezig is.



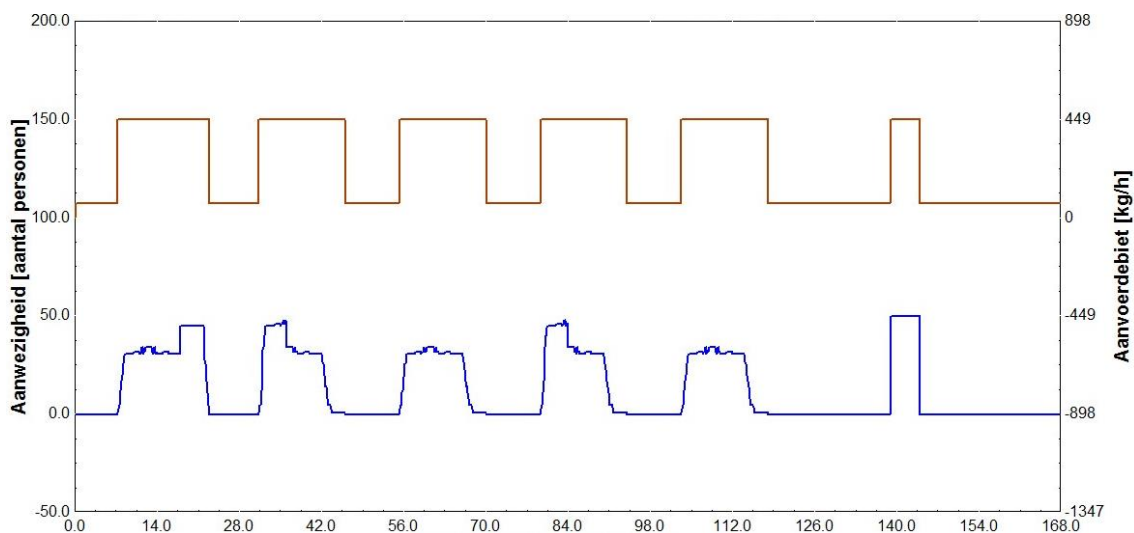
Figuur 49: Grafiek van het aanvoerdebiet in V1_G0_H2

De laatste zone waar het debiet wordt bepaald met de ogenblikkelijke bezetting, is de conferentiezaal die overeenstemt met zone V2_G2_I7. De roze grafiek stelt de aanwezigheid voor in de zone en de donkerblauwe grafiek het aanvoerdebiet. De berekening verloopt gelijkaardig aan de eerste situatie, zodat het aanvoerdebiet 2167,2 kg/h wordt bij een bezetting van 50 personen en terugvalt op een debiet van 325,08 kg/h als niemand aanwezig is.



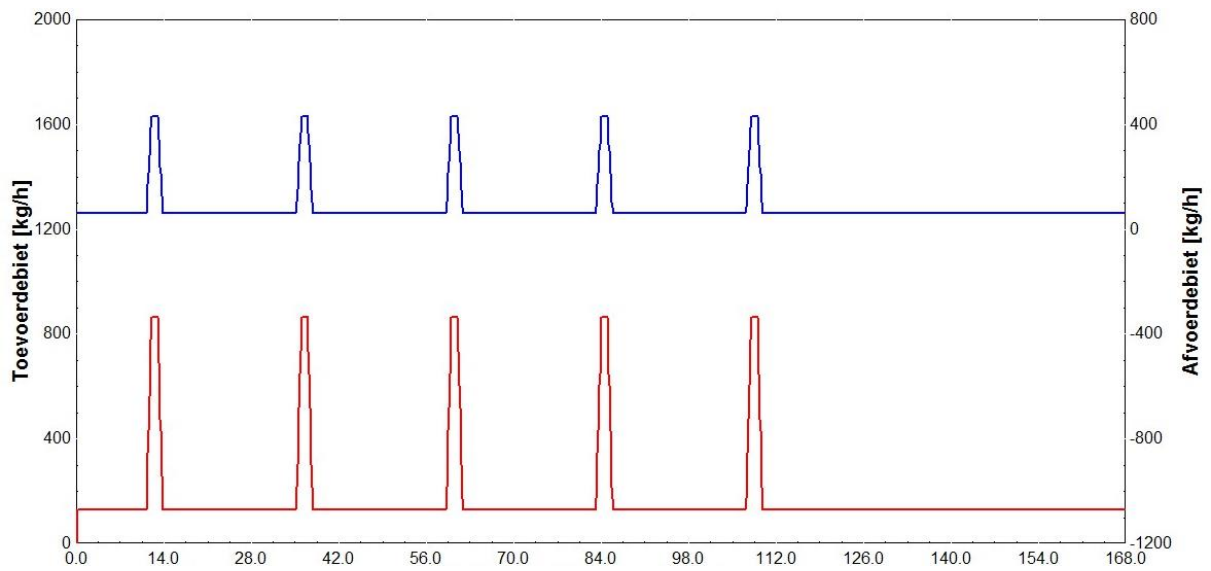
Figuur 50: Grafiek van het aanvoerdebiet in V2_G2_I7

In de inkomhal, dat overeenstemt met zone V1_B1_G2, wordt het aanvoerdebiet bepaald op basis van de aanwezigheid in het volledige kantoorgebouw. Dit wil zeggen dat het debiet wordt opgedreven tot het maximum wanneer er minstens één persoon aanwezig is in het gebouw. Het aanvoerdebiet van 449,09 kg/h wordt berekend door 373 m³/h te vermenigvuldigen met de soortelijke massa van lucht. Wanneer er geen personen aanwezig zijn in het gebouw wordt het aanvoerdebiet terug gebracht naar 67,36 kg/h. In de volgende figuur stelt de blauwe grafiek de totale aanwezigheid voor en de bruine grafiek het aanvoerdebiet in de inkomhal.



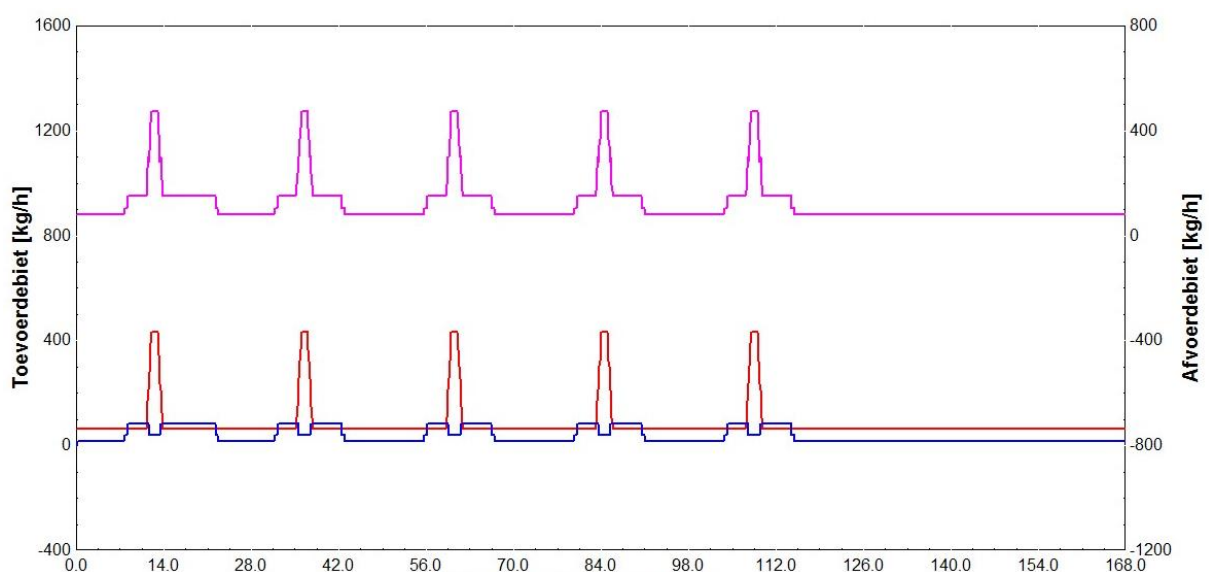
Figuur 51: Grafiek van het aanvoerdebiet in V1_B1_G2

Hieruit wordt besloten dat het aanvoerdebiet in iedere ruimte overeenstemt met de geprogrammeerde parameters. Vervolgens kunnen de door- en de afvoerdebieten gecontroleerd worden. Bij de doorvoerdebieten wordt er rekening gehouden dat de helft van het aanvoerdebiet van een bepaalde zone zal doorstromen naar een volgende zone, indien er in de huidige zone een afvoer of een andere doorvoer aanwezig is. In zone V2_C6_G7 bijvoorbeeld, zijn er twee doorstroomkringen naar een naast gelegen zone. Dit is weergegeven op de plannen in bijlage 4. Het aanvoerdebiet in deze zone bedraagt 866,88 kg/h, waardoor het doorvoerdebiet naar de zone V2_A4_C7 433,44 kg/h moet zijn. op volgende figuur stelt de rode lijn het aanvoerdebiet voor en de blauwe lijn het doorvoerdebiet.



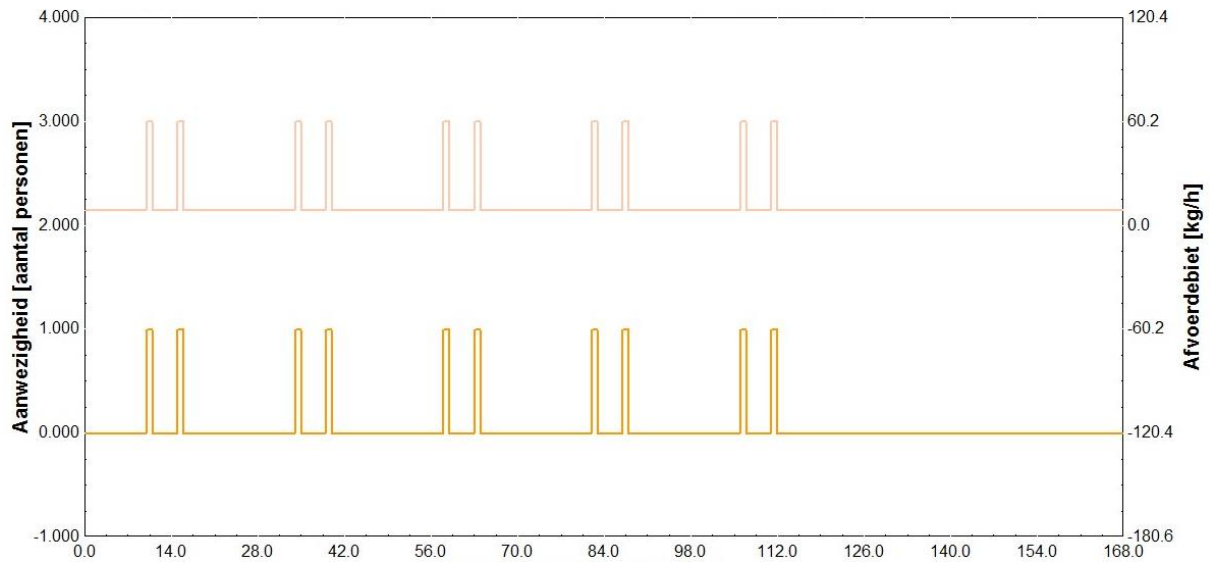
Figuur 52: Grafiek van het aan- en doorvoerdebiet in zone V2_C6_G7

In de zone V2_A4_C7 komt, naast het aanvoerdebiet van deze zone, ook het doorvoerdebiet uit zone V2_C6_G7 toe. Hierdoor zal het afvoerdebiet de som zijn van deze twee debieten. Dit is weergegeven in volgende figuur. De rode grafiek stelt het doorvoerdebiet voor, de blauwe grafiek het aanvoerdebiet van de zone en de roze lijn het afvoerdebiet van de zone.



Figuur 53: Grafiek van de verschillende debieten in zone V2_A4_C7

Als laatste wordt de enige uitzondering van het volledige ventilatiesysteem ook gecontroleerd. Dit is de keuken, die overeenkomt met zone V1_C4_E5, waarvoor een apart afvoerdebiet werd bepaald in hoofdstuk 2.2.2. Met formule 12 wordt in functie van de aanwezigheid in de ruimte, het afvoerdebiet bepaald. Om het exacte afvoerdebiet te bepalen, wordt de ogenblikkelijke bezetting vermenigvuldigd met $50 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{persoon}$ en de soortelijke massa van lucht. Het afvoerdebiet wordt dan $60,2 \text{ kg/h}$ bij een bezetting van één persoon.



Figuur 54: Grafiek van het afvoerdebiet in V1_C4_E5

2.3. Warmteopwekking

In het ontwerp van het kantoorgebouw wordt een warmtepomp voorzien als warmteopwekking systeem. Het gaat over een water/water warmtepomp met buffervaten zoals beschreven staat in hoofdstuk 2.3 van de literatuurstudie. Hierop worden verschillende warmteafgiftesystemen aangesloten.

In de volgende hoofdstukken worden de verschillende *types* en parameters besproken die nodig zijn om dit systeem te simuleren in Simulation Studio. Bij het bepalen van enkele parameters wordt er beroep gedaan op een thermodynamische vergelijking. Deze geeft de warmtestroom weer in functie van de warmtecapaciteit, het debiet en het verschil in temperatuur. (De Clercq, 2014).

$$\dot{q} = \dot{m} * c * (T_{in} - T_{uit}) \quad (23)$$

Met:	$-\dot{q}$:	Warmtetransport per tijdseenheid [kJ/h];
	$-\dot{m}$:	Massadebiet [kg/h];
	$-c$:	Warmtecapaciteit [kJ/kg.K];
	$-T_{uit}$:	Retourtemperatuur van de vloeistof [K];
	$-T_{in}$:	Toevoerttemperatuur van de vloeistof [K].

2.3.1. Warmtepomp

De hoofdcomponent van het volledige warmteopwekking systeem is de warmtepomp. Deze wordt door de *type Water to Water Heat Pump* (type 927) ingevoerd in het simulatieprogramma. Dit is een ééntraps warmtepomp, maar een moduleerbare warmtepomp met drie vermogenstanden is naar energieverbruik interessanter. Want door een moduleerbare warmtepomp te gebruiken kan een lager vermogen gebruikt worden bij een lagere warmtevraag. Dit is bij een ééntraps warmtepomp niet mogelijk, waardoor deze warmtepomp het volledig vermogen moet gebruiken bij lage warmtevragen. Om dit toe te passen in de simulatie, wordt het aantal warmtepompen variabel gemaakt met elk één derde van het totale vermogen. Het verschil tussen moduleerbare en niet-moduleerbare warmtepompen wordt in een later stadium verder beschreven.

Op de warmtepomp wordt een warmtebronicircuit en een verwarmingscircuit aangesloten. De buizen van het warmtebronicircuit zijn gevuld met een mengsel van 40% glycol en 60% water. De buizen van het verwarmingscircuit zijn gevuld met water. De eigenschappen van beide vloeistoffen dienen gekend te zijn om de werking van de warmtepomp correct te simuleren. In samenspraak werd een warmtepomp van 50 kW gekozen. In de loop van het onderzoek kunnen de eigenschappen van de warmtepomp nog veranderen. Dit gebeurt in functie van de resultaten van de simulatie. Uit de technische fiche van een water/water warmtepomp in bijlage 6, wordt een warmtepomp gekozen die een nominaal vermogen levert van ongeveer 50 kW

Deze waarde en de waarde van het elektrisch vermogen, moet gedeeld worden door drie om de drie vermogensstanden te creëren. Met de parameter *Number of identical heat pumps* wordt aangegeven hoeveel standen er zijn.

Water to Water Heat Pump (type 927)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Source fluid specific heat	3.495	kJ/kg.K
Load fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K
Source fluid density	1060	kg/m ³
Load fluid density	1000	kg/m ³
Rated heating capacity per heat pump	14266.7	W
Rated heating power per heat pump	3.1	kW
Number of identical heat pumps	3	-
Input		
Inlet source temperature	<i>Variabel</i>	C
Source flow rate	<i>Variabel</i>	kg/h
Inlet load temperature	<i>Variabel</i>	C
Load flow rate	<i>Variabel</i>	kg/h
Number of heat pumps on	<i>Variabel</i>	-
Output		
Outlet source temperature	<i>Variabel</i>	C
Outlet load temperature	<i>Variabel</i>	C
Heat transfer to load	<i>Variabel</i>	kJ/h
Heat pump power	<i>Variabel</i>	kJ/h

Tabel 34: Parameters van de type Water to Water Heat Pump

Vooraleer de sturing van de warmtepomp besproken wordt, moet de minimumtemperatuur van de vloeistof in de buizen van de verschillende warmteafgiftesystemen bepaald worden. Deze temperatuur moet gekend zijn zodat de warmtepomp gestuurd kan worden op basis van de temperatuur in het warm buffervat. De minimumtemperatuur wordt bepaald door het toepassen van een thermodynamische vergelijking die afhankelijk is van de ruimtetemperatuur en de aan- en afvoertemperatuur van de vloeistof. (De Clercq, 2014)

$$\dot{q} = U * A * \Delta T_{ln} \quad (24)$$

$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_{uit} - T_r) - (T_{in} - T_r)}{\ln \left(\frac{T_{uit} - T_r}{T_{in} - T_r} \right)} \quad (25)$$

- Met:
- $\dot{q}$: Warmtetransport per tijdseenheid [kJ/h];
 - U: Warmtedoorgangscoefficiënt [kJ/h.m .K];
 - A: Oppervlakte [m²];
 - ΔT_{ln} : Logaritmisch temperatuurverschil [K];
 - T_{uit} : Retourtemperatuur van de vloeistof [K];
 - T_{in} : Toevoertemperatuur van de vloeistof [K];
 - T_r : Ruimtetemperatuur [K].

Om de vergelijkingen eenvoudig oplosbaar te maken wordt de logaritmische functie, uit formule 23, vervangen door de eerste term van zijn Taylorreeks.

$$\begin{aligned}\ln\left(\frac{T_{uit} - T_r}{T_{in} - T_r}\right) &= \ln\left(1 + \left(\frac{T_{uit} - T_r}{T_{in} - T_r} - 1\right)\right) \\ &= \ln\left(1 + \frac{T_{uit} - T_r - T_{in} + T_r}{T_{in} - T_r}\right) \\ &= \frac{T_{uit} - T_{in}}{T_{in} - T_r}\end{aligned}$$

Deze uitkomst wordt ingevuld in formule 23, waardoor deze eenvoudiger kan geschreven worden.

$$\begin{aligned}\Delta T_{ln} &= \frac{(T_{uit} - T_r) - (T_{in} - T_r)}{\ln\left(\frac{T_{uit} - T_r}{T_{in} - T_r}\right)} \\ &= \frac{(T_{uit} - T_{in})}{\frac{T_{uit} - T_{in}}{T_{in} - T_r}} \\ &= (T_{in} - T_r)\end{aligned}$$

Door deze vereenvoudiging door te voeren wordt het mogelijk om de aanvoertemperatuur te berekenen van de vloerverwarming. De gevraagde ruimtetemperatuur is 20°C en de energievraag is de som van de QHEAT parameters van elke zone. De warmtedoorgangscoefficiënt en de oppervlakte zijn gegevens die uit TRNBuild overgenomen worden.

$$T_{in} = T_r + \frac{\dot{q}_{max}}{U * A} = 41,25^\circ C \quad (26)$$

- Met:
- T_{in} : Toevoertemperatuur van de vloeistof [°C];
 - T_r : Gevraagde binnentemperatuur [°C];
 - $\dot{q}_{max}$: Energievraag [kJ/h];
 - U : Warmtedoorgangscoefficiënt [kJ/h.m .°C];
 - A : Oppervlakte [m].

Hieruit blijkt dat de minimumtemperatuur in de buizen van de vloerverwarming 41,25°C moet bedragen. Bijgevolg moet de minimumtemperatuur in het warm buffervat boven deze waarde liggen. Vervolgens kan de sturing van de warmtepomp bepaald worden.

De moduleerbare warmtepomp met drie vermogenstanden wordt gestuurd door de warmtepomp voor te stellen als drie warmtepompen met elk een verschillende aanschakeltemperatuur. Deze sturing gebeurt met drie hysteresislussen. Deze worden voorgesteld met de *type ON/OFF Differential Controller* (type 2), die al eerder toegepast werd in hoofdstuk 2.2.4, bij de sturing van de nachtventilatie.

De inputparameter “*Upper input temperature*” wordt op een constante waarde van 70°C gehouden en de “*Lower input temperature*” wordt in één van de volgende hoofdstukken, bij de bespreking van het verwarmingscircuit, gekoppeld aan de temperatuur van het warm buffervat. Voor de eerste vermogenstrap worden de parameters “*Upper dead band*” en “*Lower dead band*” op een constante waarde geplaatst van respectievelijk 20°C en 0°C. Dit wil zeggen dat een derde van de warmtepomp in werking zal treden vanaf dat het verschil tussen de temperatuur van het warm buffervat en de constante waarde van 70°C, 20°C of meer wordt. Of met andere woorden dat de temperatuur van het warm buffervat onder de 50°C zakt. De tweede vermogenstrap van de warmtepomp schakelt in van zodra de temperatuur van het warm buffervat onder de 48°C zakt en de derde vermogenstrap wanneer deze temperatuur onder de 45°C zakt. Hierdoor is er voldoende marge om de temperatuur boven de minimumtemperatuur van 41,25°C te houden. Doordat de “*Lower dead band*” wordt ingesteld op een waarde van 0°C, zal de warmtepomp pas terug uitschakelen vanaf het moment dat de temperatuur in het warm buffervat 70°C bedraagt. In de volgende tabel worden deze parameters weergegeven.

ON/OFF Differential Controller (type 2)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
No. of oscillations	5	-
High limit cut-out	100.0	C
Input		
Upper input temperature Th	70	C
Lower input temperature Tl	Variabel	C
Input control function	1 of 0	-
Upper dead band dT	20/22/25	C
Lower dead band dT	0	C
Output		
Naam	Waarde	Eenheid
Output control function	Variabel	-

Tabel 35: Parameters van de type ON/OFF Differential Controller

Met dezelfde reden als in het hoofdstuk van de nachtventilatie, moet de outputparameter “*Output control function*” terug gekoppeld worden naar de inputparameter “*Input control function*” bij elke hysteresislus. Om de warmtepomp aan te sturen, moet het aantal ingeschakelde warmtepompen bepaald worden. Dit gebeurt met de calculator “*Sturing_Pompen*” die met de outputparameter “*Output control function*” van elke hysteresislus, het aantal ingeschakelde warmtepompen bepaalt.

$$WP_{Aantal} = Hysteresis_1 + Hysteresis_2 + Hysteresis_3 \quad (27)$$

Met: -Hysteresis_i: Controlesignaal van warmtepomp i, 0 = uitgeschakeld
1 = ingeschakeld;

-WP_{aantal}: Bepaling vermogenstand warmtepomp.

Deze berekende parameter wordt gekoppeld aan de warmtepomp om te bepalen hoeveel vermogenstrappen er moeten ingeschakeld zijn.

Calculator Sturing_Pompen	Input Water to Water Heat Pump
WP _{aantal}	Number of heat pumps on

Tabel 36: Links tussen calculator ‘Sturing Pompen’ en Water to Water Heat Pump

2.3.2. Warmtebronicircuit

In het ontwerp van het kantoorgebouw worden energiepalen beschreven als het warmtebronicircuit van de warmtepomp. Het principe van energiepalen wordt beschreven in hoofdstuk 2.2 van de literatuurstudie. Om dit te simuleren is er binnen Simulation Studio enkel de mogelijkheid om ondergrondse opslagtanks te moduleren. Deze zijn onderverdeeld in een groep die dient voor opslag en een groep die als energiepaaal kan beschouwd worden. Voor deze simulatie is enkel de laatste groep significant, aangezien er energiepalen gesimuleerd dienen te worden.

Het simuleren van deze palen is dus mogelijk in deze software, maar brengt moeilijkheden met zich mee. De eerste moeilijkheid is het correct instellen van deze component en dit achteraf controleren. Doordat deze *type* niet besproken is in de *mathematical reference* van TRNSys, kan de juiste werking niet achterhaald worden en bij een eventueel resultaat is dit moeilijk te optimaliseren. De tweede moeilijkheid is het effectief simuleren van de energiepalen. De rekentijd per *timestep* van een simulatie waarin deze palen zijn verwerkt, bedraagt 5 seconden. De *timestep* moet ingesteld worden op 10 seconden om een gunstig resultaat te verkrijgen. Hierdoor duurt de simulatie voor één jaar dus meer dan 120 uur. Dit is praktisch onhaalbaar, dus wordt een andere mogelijkheid bekeken.

In hoofdstuk 3.6 van de literatuurstudie zijn twee onderzoeken beschreven naar de grondtemperatuur in functie van de diepte. Hieruit kan afgeleid worden dat de gemiddelde grondtemperatuur rond de 10°C schommelt tijdens een periode van een jaar. Door deze temperatuur aan het vloeistofmengsel te geven die terug uit de energiepalen komt, zal er dus slechts een minieme fout gemaakt worden. In de volgende paragrafen worden de verschillende *types* besproken die nodig zijn om het volledige bronicircuit te moduleren.

➤ Circulatiepomp

Om het mengsel van glycol en water door het gesloten circuit te laten stromen is er een circulatiepomp nodig. In Simulation Studio wordt dit voorgesteld door de *type* “*Variable Speed Pump*” (type 110). Het minimum circulatiedebiet van de pomp wordt bepaald met een formule waar de eigenschappen van het mengsel, het toegevoegde energie aan het mengsel en het maximaal temperatuurverschil tussen de aan- en afvoervloeistof de parameters vormen. De toegevoegde energie kan niet groter zijn dan het vermogen van de warmtepomp en voor het temperatuurverschil wordt 5 K genomen.

$$FlowRate = \frac{Q_{toegevoegd}}{\Delta T * c} \quad (28)$$

$$FlowRate = \frac{154080}{5 * 3.495} = 8817.17 \text{ kg/h}$$

Met: -Q _{toegevoegd} :	Het vermogen van de warmtepomp [kJ/h] ;
-ΔT:	Het temperatuurverschil [K];
-c:	De warmtecapaciteit van het mengsel [kJ/kg.K];
-FlowRate:	Het circulatiedebiet [kg/h].

Met deze waarde kan er een circulatiepomp gekozen worden. De technische gegevens van deze pomp worden weergegeven in bijlage 7. De bekomen parameters worden samen met de input- en outputparameters weergegeven in volgende tabel.

Variable Speed Pump (type 110)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Rated flow rate	9600	kg/h
Fluid specific heat	3.495	kJ/kg.K
Rated power	0.55	kW
Input		
Inlet fluid temperature	Variabel	C
Control signal	Variabel	C
Output		
Naam	Waarde	Eenheid
Outlet fluid temperatur	Variabel	C
Outlet flow rate	Variabel	kg/h
Power consumption	Variabel	kJ/h

Tabel 37: Parameters van de type Variable Speed Pump

De sturing van deze pomp gebeurt op basis van de hysteresislussen die de warmtepomp sturen. Deze bepalen of de circulatiepomp op één derde, twee derde of op zijn volledige vermogen zal werken. Dit wordt bepaald met de volgende formule en wordt toegevoegd aan de *calculator* “Sturing_Pompen”.

$$Pomp_Koud = \frac{Hysteresis_1 + Hysteresis_2 + Hysteresis_3}{3} \quad (29)$$

Met: -Hysteresis_i: Controlesignaal van warmtepomp i, 0 = uitgeschakeld
1 = ingeschakeld;

-Pomp_Koud: Controlesignaal voor de aansturing circulatiepomp.

Deze parameter wordt gekoppeld aan de type van de circulatiepomp. De andere inputparameter is de temperatuur van de vloeistof die binnenstroomt in de circulatiepomp. De outputparameters worden gelinkt aan een *calculator* “Energiepalen”. Deze component stelt de energiepalen voor, maar zoals eerder vermeld wordt de gemiddelde temperatuur constant op 10°C geplaatst. Het massadebiet van de uitgaande vloeistof wordt gelijk gesteld aan het massadebiet van de ingaande vloeistof, zonder verdere berekeningen. Op deze manier kan de *calculator* bij een eventuele aanpassing vervangen worden door een *type*, zonder veel te moeten aanpassen.

$$Grond_Temp = 10\ ^\circ C \quad (30)$$

$$Grond_Flowrate = Flowrate$$

Met: -Grond_Temp: De grondtemperatuur en de uitgaande vloeistoftemperatuur [°C];
-Grond_Flowrate: Het uitgaande vloeistof massadebiet [kg/h];
-Flowrate: Het ingaande vloeistof massadebiet [kg/h].

In de volgende tabel worden de verbindingen met de circulatiepomp weergegeven.

Calculator Sturing Pompen	Input Variable Speed Pump
Pomp_Koud	Control signal
Output Water to Water Heat Pump	Input Variable Speed Pump
Outlet source temperature	Set point temperature
Output Variable Speed Pump	Calculator Energiepalen
Outlet fluid temperature	Temp
Outlet flow rate	Flowrate

Tabel 38: Links met Variable Speed Pump

➤ Koud buffervat

Volgens het origineel ontwerp werden zowel het warm als koud buffervat aangesloten op een omkeerbare warmtepomp. In de zomermaanden wordt de werking van de warmtepomp omgedraaid zodat er warmte uit het koud buffervat wordt onttrokken en wordt afgestaan aan de grond. Een nadeel van deze functie is dat de energiezuinigheid van de warmtepomp volledig teniet gedaan wordt en evenveel zal verbruiken in de zomer als een klassiek verwarmingstoestel in de winter. Een tweede nadeel is het systeem sturen in de tussenseizoenen. Er zijn warme dagen waar er koeling nodig is en koudere dagen waar er verwarming nodig is. Een warmtepomp heeft een opstartperiode nodig om op temperatuur te geraken en kan dus niet zomaar omschakelen van de ene naar de andere stand.

Door voorgaande nadelen en het feit dat enkel de voorkoeling zal aangesloten worden op het koud buffervat, is er gekozen voor een andere configuratie. Er wordt gekozen om het vloeistofmengsel van het warmtebronicircuit door de spiraal te laten lopen van het koud buffervat. Hierdoor geeft het water in dit buffervat zijn warmte af aan het vloeistofmengsel en wordt het water afgekoeld tot 10°C. Door deze configuratie toe te passen is er geen omkeerbare warmtepomp meer nodig, wat het energieverbruik ten goede komt. Ook stijgt de efficiëntie van de warmtepomp omdat de temperatuur van de aangevoerde vloeistof vanuit de warmtebron een kleine temperatuursverhoging ondergaat.

Het buffervat wordt in de simulatiesoftware voorgesteld door de type “Storage Tank; Fixed Inlets, Uniform Losses” (type 4). Er dienen verscheidene parameters geweten te zijn om een correcte werking van het buffervat te verkrijgen. De eerste parameter is het warmteverlies door de wand van de bufferwand. Standaard worden de wanden voorzien van 14 of 20 cm EPS-isolatie. Om het warmteverlies te verkrijgen moet de warmtedoorgangscoefficiënt van EPS gedeeld worden door de dikte.

$$Warmteverlies = \frac{\lambda}{d} \quad (31)$$

$$Warmteverlies = \frac{0,035}{0,2} = 0,175 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Met: -λ: Warmtedoorgangscoefficiënt [W/m.K] ;
 -d: Dikte van het isolatiemateriaal [m].

Een tweede parameter is het instellen van het verwarmingselement die standaard verwerkt zit in deze *type*. Hiervoor moet een temperatuur ingegeven worden die bepaalt wanneer het verwarmingselement zal inschakelen. Als de temperatuur in het buffervat onder deze waarde zakt zal het element inschakelen. Mits het hier gaat over een koud buffervat, is dit element overbodig. Hierdoor wordt de temperatuur op 0°C ingesteld, zodat het element nooit zal inschakelen. De laatste parameter is de inhoud van het buffervat. Deze parameter is belangrijk omdat deze grotendeels de energie-efficiëntie van het buffervat bepaalt. Daardoor wordt de ontworpen inhoud van 0,5m³ veranderd naar een inhoud van 1 m³. De reden hiertoe wordt bij de bespreking van het warm buffervat besproken, omdat de invloed daar het grootst is.

Storage Tank Cold (type 4)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Tank volume	1	m ³
Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K
Fluid density	1000	kg/m ³
Tank loss coefficient	0.175	W/m ² .K
Set point temperature for element	0	C
Input		
Hot side temperature	Variabel	C
Hot side flowrate	Variabel	kg/h
Cold-side temperature	Variabel	C
Cold-side flowrate	Variabel	kg/h
Output		
Naam	Waarde	Eenheid
Temperature to heat source	Variabel	C
Temperature to load	Variabel	C
Flowrate to load	Variabel	kg/h

Tabel 39: Parameters van de type *Storage Tank Cold*

Zoals de sturing nu ingesteld is, zal het buffervat enkel afgekoeld worden wanneer de warmtepomp in werking treedt. Dus wanneer de temperatuur in het warm buffervat te laag wordt. Er moet dus een extra parameter toegevoegd worden in de sturing van de circulatiepomp om de vloeistof te laten circuleren door de spiraal van het koud buffervat, wanneer het water te warm wordt. Deze parameter wordt terug bepaald met een hysteresislus. De temperatuur in het koud buffervat wordt gelinkt aan de *upper input temperature*. De *lower input temperature* wordt ingesteld op 11°C, de *upper dead band* op 4°C en de *lower dead band* op 0°C. Dit betekent dat de circulatiepomp zal inschakelen wanneer de temperatuur in het buffervat 15°C is en zal uitschakelen als de temperatuur 11°C is. De *output control function* van de hysteresislus wordt gelinkt met de calculator “Sturing_Pompen” en terug gekoppeld naar de *input control function* van de hysteresislus. De aangepaste formule voor het inschakelen van de circulatiepomp van het warmtebronicircuit wordt hieronder beschreven.

$$Pomp_Koud = \max\left(\frac{Hysteresis_1 + Hysteresis_2 + Hysteresis_3}{3}, Hysteresis_4\right) \quad (32)$$

- Met:
- Hysteresis_i: Controlesignaal warmtepomp i, 0 = uit 1 = aan;
 - Hysteresis₄: Controlesignaal van het koud buffervat;
 - Pomp_Koud: Controlesignaal voor de aansturing circulatiepomp.

De linken die moeten gelegd worden met de *type* van het koud buffervat wordt in de volgende tabel weergegeven. Logischerwijs worden de temperatuur en het debiet van de calculator “Energiepalen” naar het koud buffervat en van het koud buffervat naar de warmtepomp verbonden met elkaar.

Calculator Energiepalen	Input Storage Tank Cold
Grond Temp	Cold-side temperature
Grond Flowrate	Cold-side flowrate
Output Storage Tank Cold	Input ON/OFF Differential Controller
Temperature to load	Upper input temperature
Output Storage Tank Cold	Input Water to Water Heat Pump
Temperature to load	Inlet source temperature
Flowrate to load	Source flow rate

Tabel 40: Links met *Storage Tank Cold*

2.3.3. Verwarmingscircuit

Het verwarmingscircuit van de warmtepomp bestaat uit een circulatiepomp en een warm buffervat. De sturing hiervan gebeurt op een gelijkaardige manier als bij het warmtebronscircuit, maar met andere parameters.

➤ Circulatiepomp

Om het water door het verwarmingscircuit te laten vloeien, is er een circulatiepomp nodig. Hierbij wordt dezelfde *type* toegepast als bij de circulatiepomp van het koud buffervat, namelijk de *Variable Speed Pump* (type 110). Het debiet moet bepaald worden met een formule in functie van het verwarmingsvermogen van de warmtepomp, het maximaal temperatuurverschil tussen de aan- en afvoervloeistof en de warmtecapaciteit van de vloeistof. Deze formule moet toegepast worden om te vermijden dat het water in het buffervat plots een stijging ondergaat van 100°C door een te klein toevoerdebiet. De berekening is analoog aan deze van het koud buffervat, met het enige verschil dat hier de warmtecapaciteit van water wordt gebruikt in plaats van een water-glycol mengsel.

$$FlowRate = \frac{Q_{toegevoegd}}{\Delta T * c} \quad (33)$$

$$FlowRate = \frac{154080}{5 * 4.190} = 7354.65 \text{ kg/h}$$

Met: - $Q_{toegevoegd}$: Het vermogen van de warmtepomp [kJ/h] ;
 - ΔT : Het temperatuurverschil [K];
 - c : De warmtecapaciteit van de vloeistof [kJ/kg.K];
 -FlowRate: Het circulatiedebiet [kg/h].

De waarde is lager dan bij het circulatiedebiet van het warmtebronicircuit, dus wordt hier dezelfde circulatiepomp toegepast. De overige parameters worden beschreven in volgende tabel.

Variable Speed Pump (type 110)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Rated flow rate	8400	kg/h
Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K
Rated power	0.55	kW
Input		
Inlet fluid temperature	<i>Variabel</i>	C
Control signal	<i>Variabel</i>	C
Output		
Naam	Waarde	Eenheid
Outlet fluid temperatur	<i>Variabel</i>	C
Outlet flow rate	<i>Variabel</i>	kg/h
Power consumption	<i>Variabel</i>	kJ/h

Tabel 41: Parameters van de type Variable Speed Pump

De sturing van deze pomp gebeurt op analoge wijze als in formule 29. De bekomen parameter bepaalt of de circulatiepomp op één derde, twee derde of op zijn volledige vermogen zal werken. Dit wordt bepaald met de volgende formule en wordt toegevoegd aan de *calculator* “*Sturing_Pompen*”.

$$Pomp_Warm = \frac{Hysteresis_1 + Hysteresis_2 + Hysteresis_3}{3} \quad (34)$$

Met: -Hysteresis_i: Controlesignaal van warmtepomp i, 0 = uitgeschakeld
1 = ingeschakeld;
-Pomp_Warm: Controlesignaal voor de aansturing circulatiepomp.

In de volgende tabel worden de verbindingen met de circulatiepomp weergegeven.

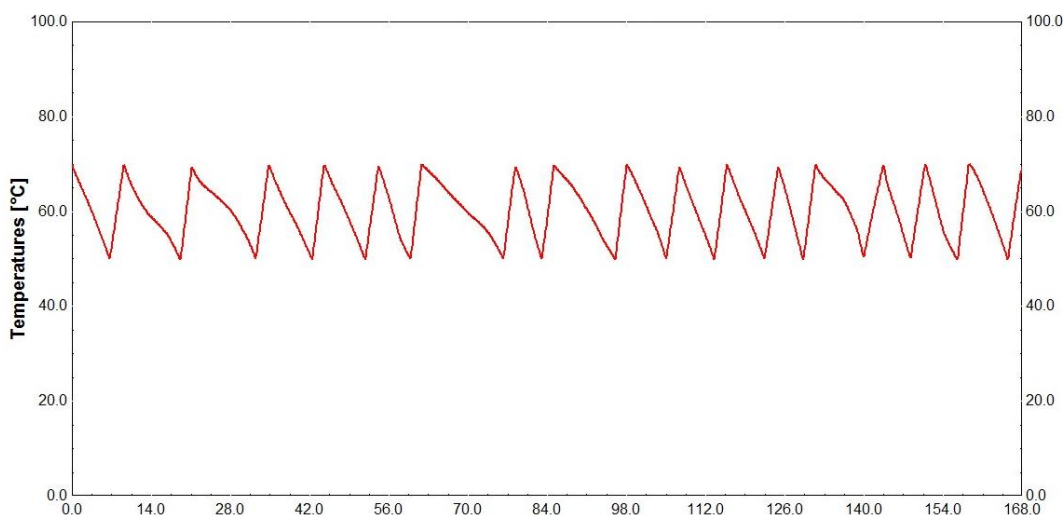
Calculator Sturing_Pompen	Input Variable Speed Pump
Pomp_Warm	Control signal
Output Water to Water Heat Pump	Input Variable Speed Pump
Outlet load temperature	Set point temperature

Tabel 42: Links met Variable Speed Pump

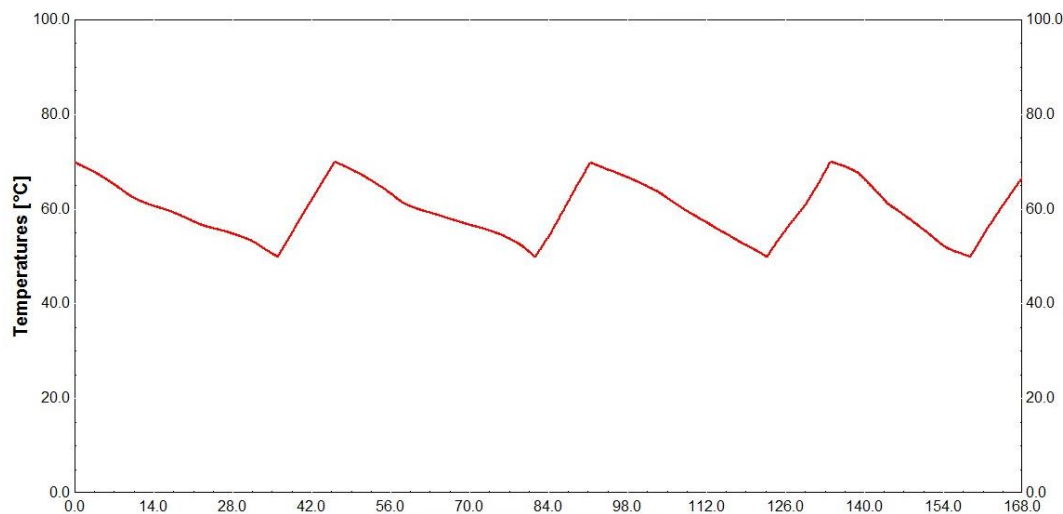
➤ Warm buffervat

Het warm buffervat wordt eveneens voorgesteld door de type “*Storage Tank; Fixed Inlets, Uniform Losses*” (type 4). Net zoals bij het koud buffervat, moeten enkele parameters bepaald worden. Het warmteverlies door de wand van het buffervat is dezelfde als bij het koud buffervat, namelijk 0,175 W/m².K. De tweede parameter is het instellen van het verwarmingselement die in het buffervat aanwezig is. Er is gekozen om het verwarmingselement in te schakelen wanneer de temperatuur onder de 65°C zakt en terug uitschakelen wanneer de temperatuur van het water in het buffervat 70°C bedraagt. Dit element is toegepast om de kleine temperatuurdalingen in het buffervat op te vangen, zodat de warmtepomp niet telkens moet inschakelen. Hierdoor is er ook een klein vermogen van 2 kW gekozen.

De belangrijkste parameter is de inhoud van het buffervat. De energie-efficiëntie van een buffervat is afhankelijk van de inhoud van het buffervat, de warmtevraag en de scherpte van de pieken in warmtevraag. De energie, gecreëerd door de warmtepomp, wordt opgeslagen in het buffervat. Mede door het feit dat het buffervat goed geïsoleerd is, bezit het buffervat thermische inertie. Het voordeel van thermische inertie is dat het opwarmingssysteem minder in en uit moet schakelen. Een buffervat heeft bijgevolg een dempende werking op de schommelingen in energievraag. In onderstaande figuren wordt het dempende effect van het buffervat weergegeven voor een buffervat van 1 m³ en een buffervat van 5 m³. De simulatie loopt over een week om duidelijke resultaten te bekomen.



Figuur 55: Temperaturen in buffervat van 1 m³



Figuur 56: Temperatuur in buffervat van 5m³

Het grootste buffervat is energiezuiniger, omdat de warmtepomp minder in- en uitschakelt. Hierdoor verbruikt de warmtepomp minder opstartenergie. De conclusie is dat het aantal keer dat een warmtepomp in- en uit schakelt afhankelijk is van de inhoud van het buffervat, maar ook van het vermogen van de warmtepomp. Hoe hoger het vermogen, hoe minder de warmtepomp inschakelt. Door deze reden is in samenspraak besloten om de inhoud van de buffervaten van 0,5 m³ in het ontwerp naar 1 m³ te brengen. Voor het koude buffervat kan een gelijkaardige redenering gemaakt worden. Maar deze is minder relevant mits het koude buffervat enkel gebruikt wordt om ventilatielucht te koelen en de benodigde energie om te koelen zeer beperkt is.

De verschillende parameters van het warm buffervat worden samengevat in volgende tabel.

Storage Tank Warm (type 4)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Tank volume	1	m ³
Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K
Fluid density	1000	kg/m ³
Tank loss coefficient	0.175	W/m ² .K
Set point temperature for element	70	C
Deadband for heating element	5	C
Maximum heating rate for heating element	2	kW
Input		
Hot side temperature	<i>Variabel</i>	C
Hot side flowrate	<i>Variabel</i>	kg/h
Cold-side temperature	<i>Variabel</i>	C
Cold-side flowrate	<i>Variabel</i>	kg/h
Output		
Naam	Waarde	Eenheid
Temperature to heat source	<i>Variabel</i>	C
Flowrate to heat source	<i>Variabel</i>	kg/h
Temperature to load	<i>Variabel</i>	C
Auxiliary heating rate	<i>Variabel</i>	kJ/h

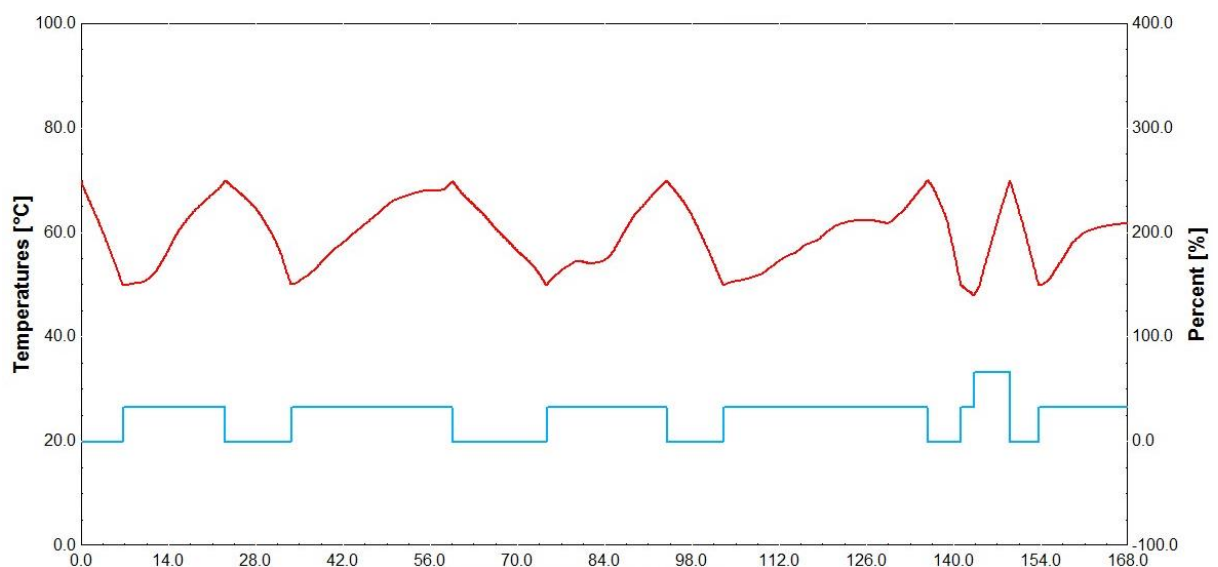
Tabel 43: Parameters van de type Storage Tank Warm

De linken die moeten gelegd worden met de *type* van het warm buffervat wordt in de volgende tabel weergegeven. Logischerwijs worden de temperatuur en het debiet van de circulatiepomp naar het warm buffervat en van het warm buffervat naar de warmtepomp verbonden met elkaar. Ook moet de temperatuur in het buffervat gekoppeld worden aan de drie hysteresislussen om de sturing van de warmtepomp correct te laten werken.

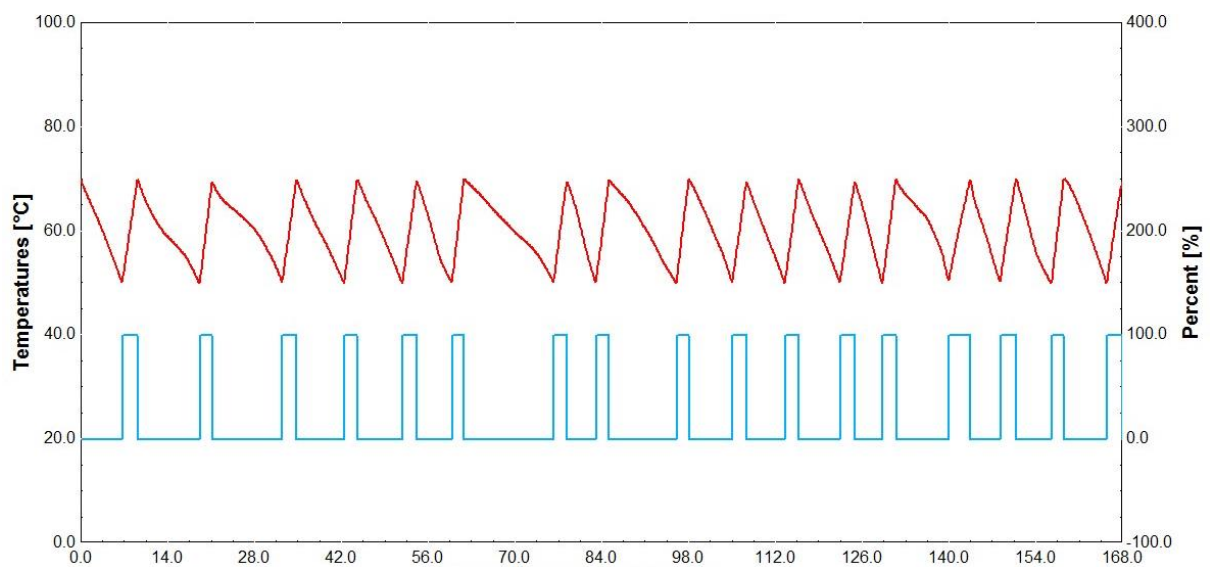
Output Variable Speed Pump	Input Storage Tank Warm
Outlet fluid temperature	Hot side temperature
Outlet flow rate	Hot side flowrate
Output Storage Tank Warm	Input Water to Water Heat Pump
Temperature to heat source	Inlet load temperature
Flowrate to heat source	Load flow rate
Output Storage Tank Warm	Input ON/OFF Differential Controller
Temperature to load	Lower input temperature

Tabel 44: Links met Storage Tank Warm

Nu het warm buffervat gemodelleerd is, kan er dieper ingegaan worden op het verschil tussen een moduleerbare en niet-moduleerbare warmtepomp door een simulatie. In onderstaande figuren stelt de blauwe lijn het controlesignaal voor van de warmtepomp. Dit is het relatieve verbruik waarbij de waarde nul gelijk is aan de volledige uitschakeling van de warmtepomp en de waarde één volledige inschakeling. De rode lijn stelt de temperatuur in het warm buffervat voor. De totale energie die beide warmtepompen leveren is gelijk, maar het verschil is de continuïteit. Bij een niet-moduleerbare warmtepomp zal er veel meer energie gevraagd worden aangezien de warmtepomp meer inschakelt in vergelijking met een moduleerbare warmtepomp. Op de grafiek van de moduleerbare warmtepomp zijn de drie vermogenstanden ook duidelijk te zien. De eerste stand schakelt in als de temperatuur van het buffervat daalt onder 50 °C, de tweede stand vanaf 48°C en de laatste stand vanaf 45°C. Er is gekozen om een willekeurige week te simuleren om duidelijk weer te geven wat het verschil is tussen beide types van warmtepompen.



Figuur 57: Moduleerbare warmtepomp



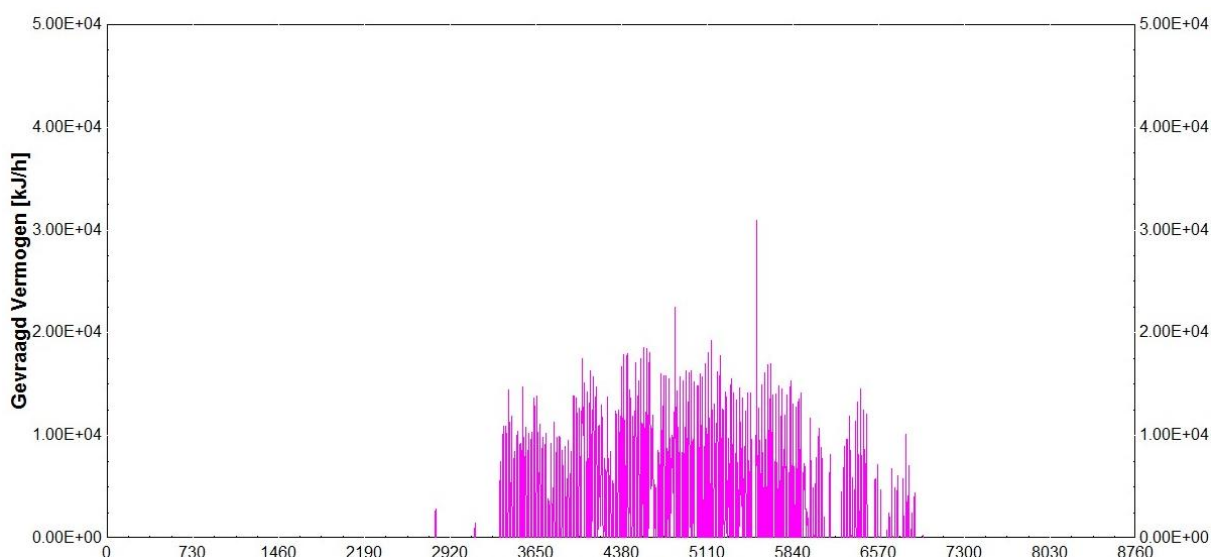
Figuur 58: Niet-moduleerbare warmtepomp

2.3.4. Afgiftesystemen

In het kantoorgebouw zijn drie afgiftesystemen ontworpen. Eén koude afgiftesysteem, namelijk voorkoeling en twee warmte-afgiftesystemen, namelijk voorverwarming en vloerverwarming. In de volgende paragrafen worden de verschillende *types* beschreven die betrekking hebben tot deze systemen.

➤ Voorkoeling

In het hoofdstuk 2.2.6 met betrekking tot de voorkoeling in het ventilatiesysteem, werd er reeds een koelingsbatterij besproken. Dit is een warmte-luchtwarmtewisselaar die de luchtstroom afkoelt met behulp van koud water uit het koud buffervat. Om het systeem te vervolledigen in Simulation Studio moet deze batterij gekoppeld worden met het koud buffervat. Hierdoor kan er koud water stromen vanuit het buffervat naar het koelingselement. Het eerste element in dit circuit, is de circulatiepomp die het koude water laat rondvloeien. Om het debiet te berekenen, wordt dezelfde formule gebruikt als bij de circulatiepompen van het buffervat. De enige onbekende is het koelingsvermogen en wordt bekomen uit de type van de koelbatterij. Deze genereert de nodige koelingsvraag in functie van de tijd. Dit wordt weergegeven in volgende grafiek.



Figuur 59: Grafiek koelingsvraag voorkoeling

Uit de grafiek is af te leiden dat het koelingsvermogen maximaal 31245 kJ/h bedraagt. Met volgende formule wordt het debiet bepaald.

$$FlowRate = \frac{Q_{koeling}}{\Delta T * c} \quad (35)$$

$$FlowRate = \frac{31245}{5 * 4.190} = 1491,40 \text{ kg/h}$$

Met: - $Q_{koeling}$: Het maximaal koelingsvermogen [kJ/h] ;
- ΔT : Het temperatuurverschil [K];
- c : De warmtecapaciteit van het mengsel [kJ/kg.K];
-FlowRate: Het circulatiedebiet [kg/h].

Met deze waarde kan er een circulatiepomp gekozen worden. De technische gegevens van deze pomp wordt weergegeven in bijlage 7. De bekomen parameters worden samen met de input- en outputparameters weergegeven in volgende tabel.

Variable Speed Pump (type 110)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Rated flow rate	1500	kg/h
Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K
Rated power	0,37	kW
Input		
Inlet fluid temperature	<i>Variabel</i>	C
Control signal	<i>Variabel</i>	C
Output		
Naam	Waarde	Eenheid
Outlet fluid temperature	<i>Variabel</i>	C
Outlet flow rate	<i>Variabel</i>	kg/h
Power consumption	<i>Variabel</i>	kJ/h

Tabel 45: Parameters van de type Variable Speed Pump

De sturing van deze pomp is enkel afhankelijk van de koelingsvraag. Als deze groter is dan nul dan moet de circulatiepomp in werking treden. De bepaling van deze parameter wordt ondergebracht in de *calculator* ‘Voorkoeling’.

$$Controle = gt(Q_{koeling}, 0) \quad (36)$$

Met: - $Q_{koeling}$: Het maximaal koelingsvermogen [kJ/h] ;
 -Controle: Controlesignaal circulatiepomp, 1=ingeschakeld,
 0=uitgeschakeld.

Deze parameter wordt samen met de temperatuur uit het buffervat, gekoppeld aan de circulatiepomp.

Output Storage Tank Cold	Input Variable Speed Pump
Temperature to heat source	Inlet fluid temperature
Output calculator Voorkoeling	Input Variable Speed Pump
Controle	Control signal

Tabel 46: Links met Variable Speed Pump

In de calculator ‘Voorkoeling’ wordt ook de temperatuur berekend die terugloopt naar het koud buffervat. Deze temperatuur wordt bepaald met volgende formule.

$$T_{uit} = T_{in} + \frac{Q_{koeling}}{\max(Flow_{in} * 4.190, 1)} \quad (37)$$

Met: - T_{in} : Toevoertemperatuur koelingsbatterij [°C];
 - T_{uit} : Afvoertemperatuur koelingsbatterij [°C];
 - $Q_{koeling}$: Het ogenblikkelijk koelingsvermogen [kJ/h];
 - $Flow_{in}$: Toevoerdebiet koelingsbatterij [kg/h];
 -Warmtecapaciteit van water = 4.190 kJ/kg.K;

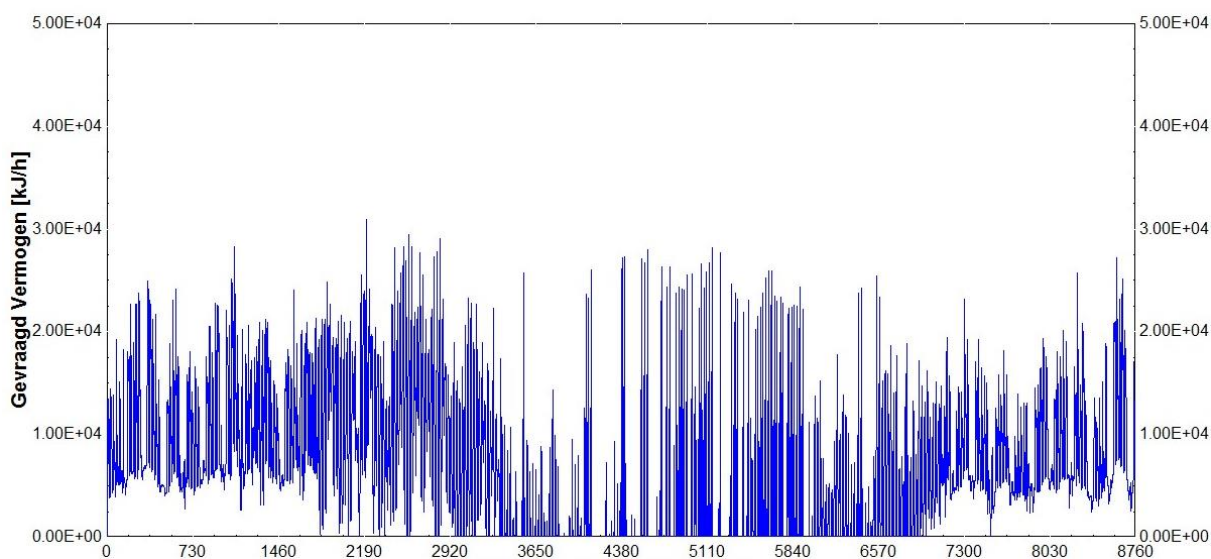
Het ogenblikkelijk koelingsvermogen wordt bekomen door het nodige vermogen van de twee *types*, die ingevoerd werden om de koelingsbatterij voor te stellen, samen te tellen. Dit gebeurde in een *Calculator* ‘Control’ bij het ventilatiesysteem. In volgende tabel worden de verschillende links weergegeven met de *calculator* ‘Voorkoeling’.

Output Variable Speed Pump	Input calculator Voorkoeling
Outlet fluid temperature	T_{in}
Outlet flow rate	Flow_in
Output calculator Control	Input calculator Voorkoeling
$Q_{cooling}$	$Q_{koeling}$
Output calculator Voorkoeling	Input Storage Tank Cold
T_{uit}	Hot-side temperature

Tabel 47: Links met calculator 'Voorkoeling'

➤ Voorverwarming

De opbouw van het voorverwarmingssysteem gebeurt analoog aan de voorkoeling. Er werd reeds een verwarmingsbatterij besproken in hoofdstuk 2.2.5 met betrekking tot de voorverwarming in het ventilatiesysteem. Ook hier gaat het over een warmte-luchtwarmtewisselaar die de luchtstroom opwarmt met behulp van warm water uit het warm buffervat. Door het invoegen van een circulatiepomp kan er warm water stromen van het warm buffervat naar de batterij en terug. Om het circulatiedebiet te bepalen is het maximum verwarmingsvermogen nodig die de verwarmingsbatterij moet leveren. Dit wordt weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 60: Grafiek verwarmingsvraag voorverwarming

Uit de grafiek is af te leiden dat het verwarmingsvermogen maximaal 32172 kJ/h bedraagt. Met volgende formule wordt het debiet bepaald.

$$FlowRate = \frac{Q_{verwarming}}{\Delta T * c} \quad (38)$$

$$FlowRate = \frac{32172}{5 * 4.190} = 1535,66 \text{ kg/h}$$

Met: - $Q_{verwarming}$: Het maximaal verwarmingsvermogen [kJ/h] ;
 - ΔT : Het temperatuurverschil [K];
 - c : De warmtecapaciteit van het mengsel [kJ/kg.K];
 -FlowRate: Het circulatiedebiet [kg/h].

Met deze waarde kan er een circulatiepomp gekozen worden. De technische gegevens van deze pomp wordt weergegeven in bijlage 7. De bekomen parameters worden samen met de input- en outputparameters weergegeven in volgende tabel.

Variable Speed Pump (type 110)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Rated flow rate	1890	kg/h
Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K
Rated power	0,37	kW
Input		
Inlet fluid temperature	Variabel	C
Control signal	Variabel	C
Output		
Naam	Waarde	Eenheid
Outlet fluid temperature	Variabel	C
Outlet flow rate	Variabel	kg/h
Power consumption	Variabel	kJ/h

Tabel 48: Parameters van de type Variable Speed Pump

De sturing van deze pomp is enkel afhankelijk van de verwarmingsvraag. Als deze groter is dan nul dan moet de circulatiepomp in werking treden. De bepaling van deze parameter wordt ondergebracht in de *calculator* 'Voorverwarming'.

$$Controle = gt(Q_{verwarming}, 0) \quad (39)$$

Met: - $Q_{verwarming}$: Het maximaal koelingsvermogen [kJ/h] ;
 -Controle: Controlesignaal circulatiepomp, 1=ingeschakeld,
 0=uitgeschakeld.

Deze parameter wordt samen met de temperatuur uit het buffervat, gekoppeld aan de circulatiepomp.

Output Storage Tank Cold	Input Variable Speed Pump
Temperature to heat source	Inlet fluid temperature
Output calculator Voorverwarming	Input Variable Speed Pump
Controle	Control signal

Tabel 49: Links met Variable Speed Pump

In de calculator ‘Voorverwarming’ wordt ook de temperatuur berekend die terugloopt naar het warm buffervat. Deze temperatuur wordt bepaald met volgende formule.

$$T_{uit} = T_{in} - \frac{Q_{verwarming}}{\max(\text{Flow}_{in} * 4.190, 1)} \quad (40)$$

Met: -T_{in}: Toevoertemperatuur verwarmingsbatterij [°C];
 -T_{uit}: Afvoertemperatuur verwarmingsbatterij [°C];
 -Q_{verwarming}: Het ogenblikkelijk verwarmingsvermogen [kJ/h];
 -Flow_{in}: Toevoerdebiet verwarmingsbatterij [kg/h];
 -Warmtecapaciteit van water = 4.190 kJ/kg.K;

Het ogenblikkelijk verwarmingsvermogen wordt bekomen door het nodige vermogen van de twee *types*, die ingevoerd werden om de verwarmingsbatterij voor te stellen, samen te tellen. Dit gebeurde in een *Calculator* ‘Control’ bij het ventilatiesysteem. In volgende tabel worden de verschillende links weergegeven met de *calculator* ‘Voorverwarming’.

Output Variable Speed Pump	Input calculator Voorkoeling
Outlet fluid temperature	T _{in}
Outlet flow rate	Flow _{in}
Output calculator Control	Input calculator Voorkoeling
Q _{cooling}	Q _{cooling}

Tabel 50: Links met calculator 'Voorkoeling'

Omdat er nog een ander warmteafgiftesysteem aangesloten wordt op het warm buffervat, moeten de verschillende terugkerende waterstromen samengebracht worden. Dit gebeurt met de *type Mixing Valve for Fluids* (type 649). De volgende parameters worden gebruikt bij deze *type*.

Mixing Valve for Fluids 1 (type 649)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Number of inlets	2	-
Input		
Temperature at inlet-i	Variabel	C
Flow rate at inlet-i	Variabel	kg/h
Output		
Naam	Waarde	Eenheid
Outlet temperature	Variabel	C
Outlet flow rate	Variabel	kg/h

Tabel 51: Parameters van de type *Mixing Valve for Fluids*

De volgende links worden gelegd tussen de *calculator* ‘Voorverwarming’, de *Mixing Valve for Fluids* en het warm buffervat.

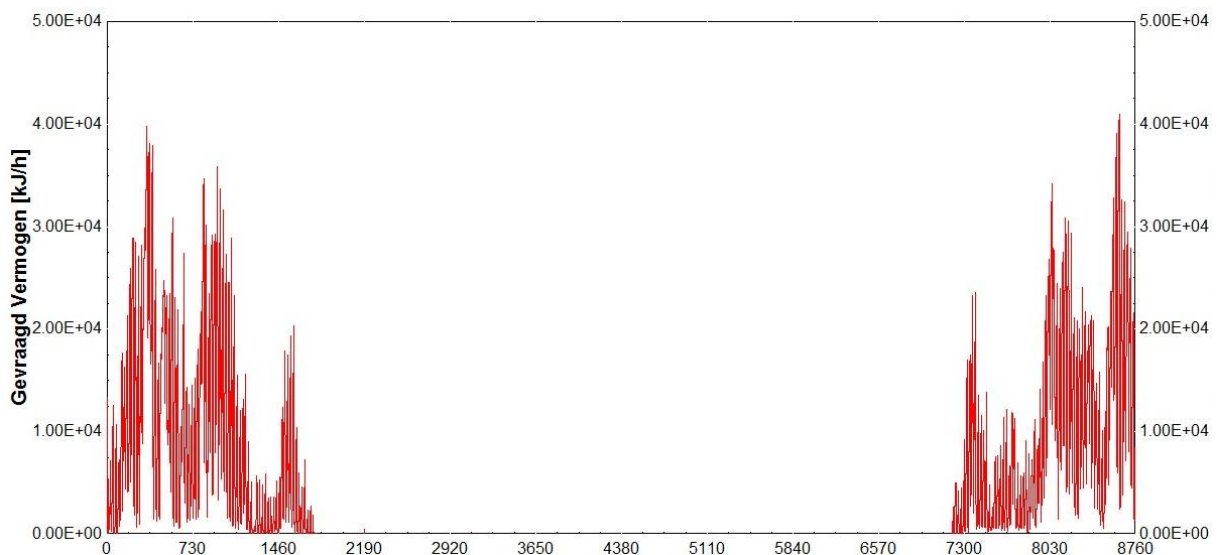
Output calculator Voorverwarming	Input Mixing Valve for Fluids 1
T _{uit}	Temperature at inlet-1
Flow _{uit}	Flow rate at inlet-1
Output Mixing Valve for Fluids 1	Input Storage Tank Warm
Outlet temperature	Cold-side temperature
Outlet flow rate	Cold-side flowrate

Tabel 52: Links met *Mixing Valve for Fluids*

➤ Vloerverwarming

Het vloerverwarmingssysteem wordt analoog opgebouwd aan de voorkoeling en voorverwarming. Het enige verschil is dat het water, aanwezig in de buizen van de verwarmingskringen, mee moet gerekend worden als extra buffer. Het systeem wordt ondergebracht in de macro ‘Vloerverwarming, behalve de type van de circulatiepomp.

Analoog aan de voorkoeling en voorverwarming, zorgt een circulatiepomp voor het circulatiedebiet in dit warmteafgiftesysteem. Het debiet wordt berekend in functie van de totale verwarmingsvraag en de warmtecapaciteit van water. De verwarmingsvraag per zone wordt gegenereerd in de *type Multi-zone Building*. De gekozen zones zijn niet altijd in overeenstemming met de verwarmingscircuits van het vloerverwarmingssysteem. Hierdoor worden sommige verwarmingsvragen per zone bij elkaar opgeteld om de verwarmingsvragen per vloerverwarmingscircuits te bekomen. Wanneer deze gegevens bij elkaar worden opgeteld, wordt de totale verwarmingsvraag bekomen. Dit wordt in een grafiek uitgezet in functie van de tijd, om de maximum verwarmingsvraag te bekomen.



Figuur 61: Grafiek verwarmingsvraag vloerverwarming

Uit de grafiek is af te leiden dat maximale verwarmingsvraag 42519 kJ/h bedraagt. Met volgende formule wordt het debiet bepaald.

$$FlowRate = \frac{Q_{verwarming}}{\Delta T * c} \quad (41)$$

$$FlowRate = \frac{42519}{5 * 4.190} = 2029,55 \text{ kg/h}$$

- Met:
- $Q_{verwarming}$: De maximale verwarmingsvraag [kJ/h] ;
 - ΔT : Het temperatuurverschil [K];
 - c : De warmtecapaciteit van het mengsel [kJ/kg.K];
 - FlowRate: Het circulatiedebiet [kg/h].

Met deze waarde kan er een circulatiepomp gekozen worden. De technische gegevens van deze pomp wordt weergegeven in bijlage 7. De bekomen parameters worden samen met de input- en outputparameters weergegeven in volgende tabel.

Variable Speed Pump (type 110)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Rated flow rate	2400	kg/h
Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K
Rated power	0,37	kW
Input		
Inlet fluid temperature	<i>Variabel</i>	C
Control signal	<i>Variabel</i>	-
Output		
Naam	Waarde	Eenheid
Outlet fluid temperature	<i>Variabel</i>	C
Outlet flow rate	<i>Variabel</i>	kg/h
Power consumption	<i>Variabel</i>	kJ/h

Tabel 53: Parameters van de type Variable Speed Pump

De sturing van deze pomp is afhankelijk van de verwarmingsvraag. Er zal namelijk slechts een fractie van het totaaldebiet nodig zijn wanneer er in enkele zones een verwarmingsvraag is. Deze fractie zal het controlesignaal zijn van de circulatiepomp, zodat er slechts een fractie van het totaal debiet geleverd wordt. Eerst moet bepaald worden hoeveel verwarmingskringen actief zijn. Dit gebeurt met volgende formule en wordt gecreëerd in de *calculator* 'Aantal_Kringen'.

$$Aantal_Kringen = \sum gt(kring_ij, 1) \quad (42)$$

Met: -kring_ij: Controlesignaal voor de warmtevraag van verwarmingskring j op verdieping i [1-0];
 -i: Gelijkvloers =1 en eerste verdieping=2;
 -j: Voor gelijkvloers j van 1 tot 7
 Voor eerste verdieping j van 1 tot 7.

Nu kan het controlesignaal bepaald worden voor de circulatiepomp. Dit is het aantal kringen gedeeld door het totaal aantal kringen. Deze wordt bepaald in de *calculator* 'Debieten' en wordt weergegeven met volgende formule.

$$Controlesignaal = \frac{Aantal_kringen}{14} \quad (43)$$

Met: -Het totaal aantal kringen = 14.

Eenmaal de sturing bepaald is, kunnen de volgende links gemaakt worden met de circulatiepomp.

Output Storage Tank Warm	Input Variable Speed Pump
Temperature toload	Inlet fluid temperature
Output calculator Debieten	Input Variable Speed Pump
Controlesignaal	Control signal

Tabel 54: Links met de type Variable Speed Pump

Om het totaal aanvoerdebiet te verdelen over de verschillende verwarmingszones, moeten gestuurde kleppen toegepast worden. De kleppen verdelen het aanvoerdebiet over de verwarmingszones en wordt gestuurd op basis van de warmtevraag per zone. Deze component wordt voorgesteld door de *type Fluid Diverting Valve* (type 647). De volgende parameters zijn belangrijk voor de sturing van deze component.

Fluid Diverting Valve (type 647)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Number of outlet fluids	14	-
Input		
Inlet temperature	<i>Variabel</i>	C
Inlet flow rate	<i>Variabel</i>	kg/h
Fraction of flow to outlet-i	<i>Variabel</i>	-
Output		
Naam	Waarde	Eenheid
Outlet temperature-i	<i>Variabel</i>	C
Outlet flow rate-i	<i>Variabel</i>	kg/h

Tabel 55: Parameters van de *type Fluid Diverting Valve*

De fracties van het totale aanvoerdebiet die naar de verwarmingszones vloeit, wordt bepaald met volgende formule en wordt bijgevoegd in de *calculator* 'Debieten'.

$$KRING_{ij} = \frac{gt(kring_{ij}, 1)}{max(Aantal_kringen, 1)} \quad (44)$$

Met: -KRING_{ij}: Fractie van het aanvoerdebiet;
 -kring_{ij}: Controlesignaal voor de warmtevraag van verwarmingskring j op verdieping i [1-0];
 -i: Gelijkvloers =1 en eerste verdieping=2;
 -j: Voor gelijkvloers j van 1 tot 7
 Voor eerste verdieping j van 1 tot 7.

Vervolgens wordt deze *type* gelinkt met de reeds besproken parameters van andere *types* en de outputparameters van de hiervoor besproken *calculator*.

Output Variable Speed Pump	Input Fluid Diverting Valve
Outlet fluid temperature	Inlet temperature
Outlet flow rate	Inlet flow rate
Output calculator Debieten	Input Fluid Diverting Valve
KRING _{ij}	Fraction of flow to outlet i

Tabel 56: Links met de *type Fluid Diverting Valve*

Vervolgens vloeit het warm water naar de buizen van de vloerverwarmingskringen. In deze fase moet er enkel rekening gehouden worden met de extra buffer van het aanwezige water in de buizen. De warmteafgifte wordt apart berekend door het toepassen van een thermodynamische vergelijking. De buizen worden voorgesteld door de *type Pipe* (type 31). Hier moet de diameter, de buislengte en het warmteverlies ingegeven worden. Het warmteverlies wordt hier op een heel kleine waarde gezet omdat hier enkel rekening wordt gehouden met de extra buffer van het water en niet met warmteverliezen.

Pipe kring_ij (type 31)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Inside diameter	16	mm
Pipe length	<i>Variabel</i>	m
Loss coefficient	0.001	kJ/h.m ² .K
Input		
Inlet temperature	<i>Variabel</i>	C
Inlet flow rate	<i>Variabel</i>	kg/h
Output		
Naam	Waarde	Eenheid
Outlet temperature-i	<i>Variabel</i>	C
Outlet flow rate-i	<i>Variabel</i>	kg/h

Tabel 57: Parameters van de *type Pipe*

De lengte is verschillend per verwarmingskring. Daarom worden de lengtes apart weergegeven in volgende tabel.

Verwarmingskring	Lengte	Verwarmingskring	Lengte
11	299,4	21	299,4
12	141,6	22	141,6
13	205,8	23	310,0
14	373,1	24	399,0
15	519,6	25	344,0
16	358,1	26	198,3
17	295,4	27	567,7

Tabel 58: Lengtes per verwarmingskring

Het extra volume wordt berekend door het kwadraat van de diameter te vermenigvuldigen met π en de som van alle lengtes en te delen door vier. Het resultaat is 0,90 m³ extra volume, waardoor de piekbelasting van warmtepomp vermindert. De links met deze *type* worden weergegeven in volgende tabel.

Output Fluid Diverting Valve	Input Pipe
Outlet temperature-i	Inlet temperature
Outlet flow rate-i	Inlet flow rate
Output Pipe	Input Calculator Verwarmingskringen
Outlet temperature	Kring_ij T

Tabel 59: Links tussen *Fluid Diverting Valve* en *Pipe*

De laatste component in het vloerverwarmingssysteem, is de plaats waar de buizen van de vloerverwarmingskringen terug samen komen en verder stromen in één buis. Deze component wordt in Simulation Studio gemodelleerd met de *type Mixing Valve for Fluids* (type 649).

Mixing Valve for Fluids 2 (type 649)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Number of inlets	14	-
Input		
Temperature at inlet-i	<i>Variabel</i>	C
Flow rate at inlet-i	<i>Variabel</i>	kg/h
Output		
Naam	Waarde	Eenheid
Outlet temperature	<i>Variabel</i>	C
Outlet flow rate	<i>Variabel</i>	kg/h

Tabel 60: Parameters voor de type *Mixing Valve for Fluids*

De temperatuur van de vloeistof na de warmteafgifte wordt bepaald met de thermodynamische vergelijking weergegeven met formule 23 in hoofdstuk 2.3. Deze parameter wordt berekend in de *calculator* ‘Verwarmingskringen’.

$$K_{RING_ij_T} = K_{ring_ij_T} - \frac{K_{ring_ij_Q}}{\max(K_{ring_ij_F} * 4.190, 1)} \quad (45)$$

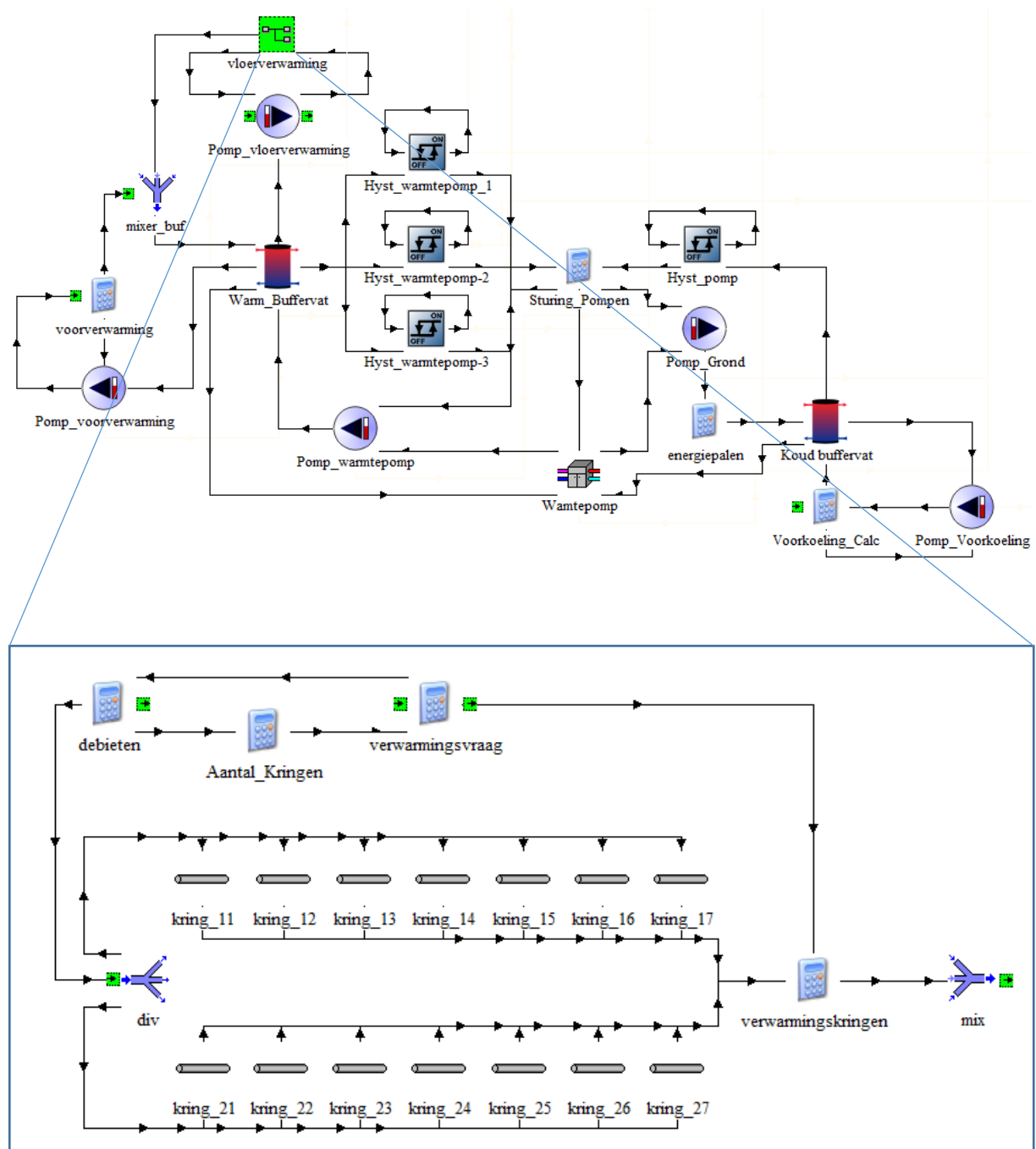
- Met:
- $K_{RING_ij_T}$: Afvoertemperatuur van vloerverwarmingskring j op verdieping i [°C];
 - $K_{ring_ij_T}$: Toevoertemperatuur van vloerverwarming kring j op verdieping i [°C];
 - $K_{ring_ij_Q}$: De ogenblikkelijke verwarmingsvraag voor vloerverwarmingskring j op verdieping i [kJ/h];
 - $K_{ring_ij_F}$: Toevoerdebiet van vloerverwarmingskring j op verdieping i [kg/h];
 - Warmtecapaciteit van water = 4.190 kJ/kg.K.

De links met deze type worden besproken in volgende tabel.

Output Pipe Kring_ij	Input Mixing Valve for Fluids
Inlet flow rate	Flow rate at inlet-i
Output Calculator Verwarmingskringen	Input Mixing Valve for Fluids
$K_{RING_ij_T}$	Temperature at inlet-i
Output Mixing Valve for Fluids 2	Input Mixing Valve for Fluids 1
Outlet temperature	Temperature at inlet-2
Outlet flow rate	Flow rate at inlet-2

Tabel 61: Links met de type *Mixing Valve for Fluids 2*

Door het invoegen van deze laatste component, is het warmteopwekking systeem volledig ontworpen in Simulation Studio. Alvorens de werking wordt gecontroleerd in volgend hoofdstuk, zijn de verschillende *types* en de linken ertussen weergegeven in volgende afbeelding.



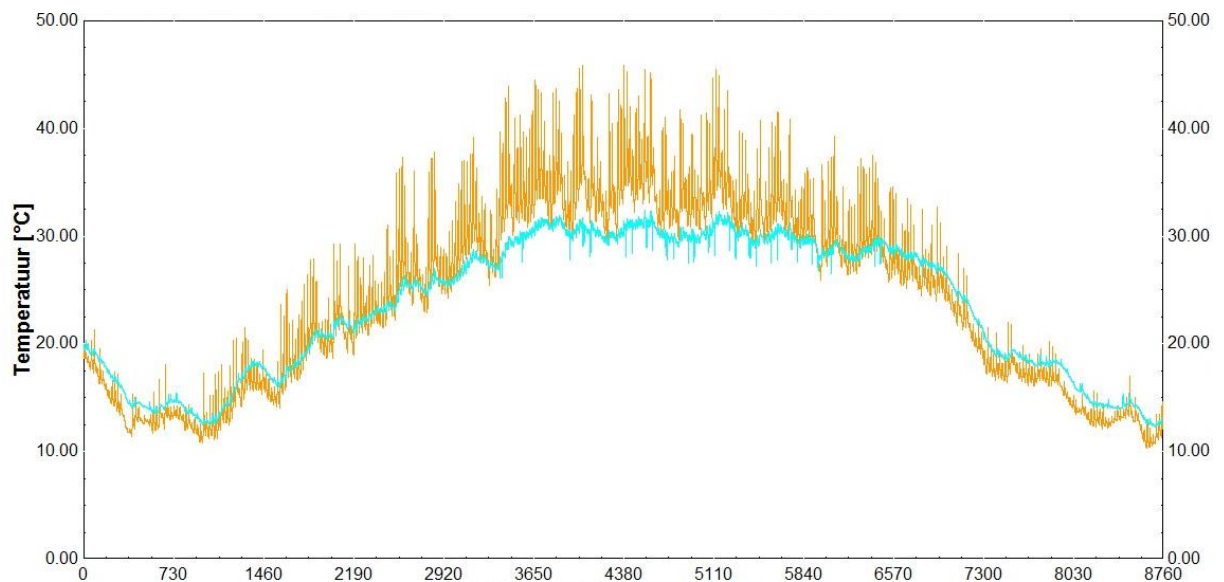
Figuur 62: Weergave warmteopwekking systeem in Simulation Studio

2.4. Controle en optimalisatie

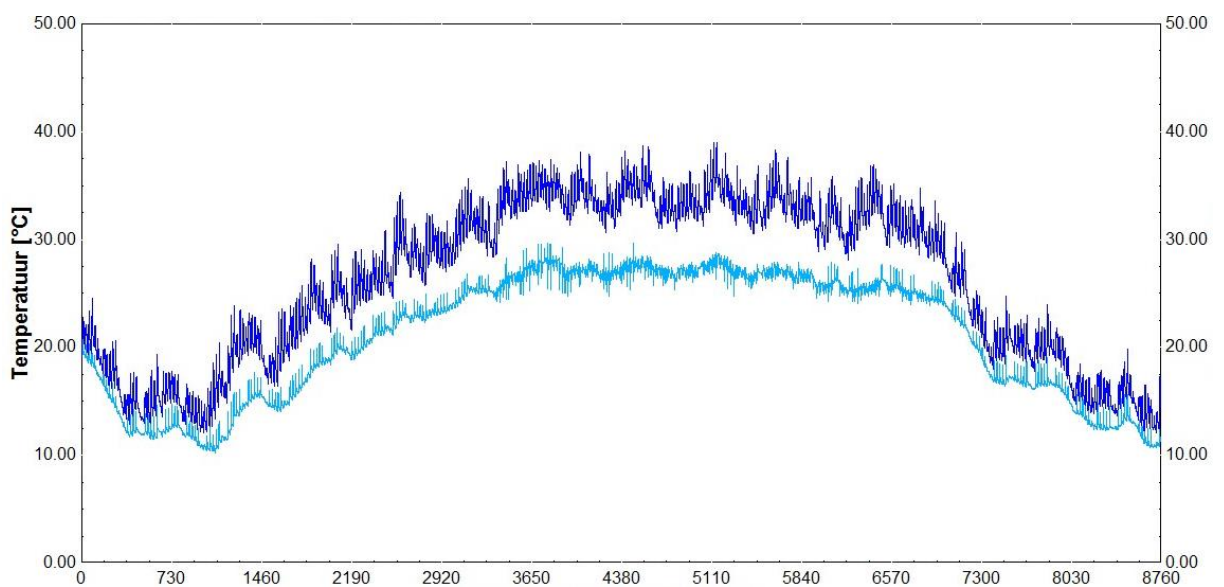
In dit hoofdstuk wordt gecontroleerd of het opgebouwde ventilatie- en warmteopwekking systeem overeenstemt met de vooropgestelde normen en eisen. De temperatuur in de ruimtes wordt gebruikt als maatstaaf voor deze controle. In een eerste fase wordt enkel het ventilatiesysteem ingeschakeld en worden de temperaturen weergegeven van de extreemste zones per verdiep. Daarna worden stap voor stap de andere technieken ingeschakeld. Op deze manier wordt de invloed van elke techniek op de temperatuur in de zones weergegeven.

2.4.1. Temperatuurcontrole

Zoals hiervoor beschreven, wordt het temperatuursverloop uitgezet in functie van de tijd, wanneer enkel het ventilatiesysteem ingeschakeld is, zonder nachtventilatie, voorkoeling of voorverwarming. Op deze grafieken is duidelijk te zien dat de temperaturen onaanvaardbare waarden bereikt.

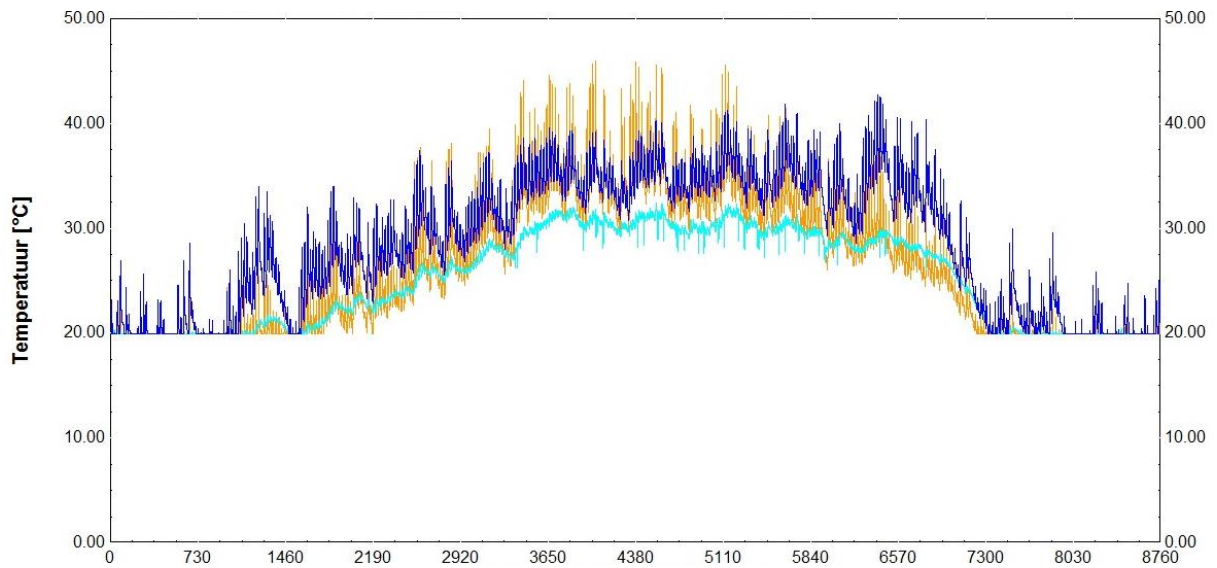


Figuur 63: Grafiek van de temperaturen in de extreemste zones op het gelijkvloers met enkel ventilatie

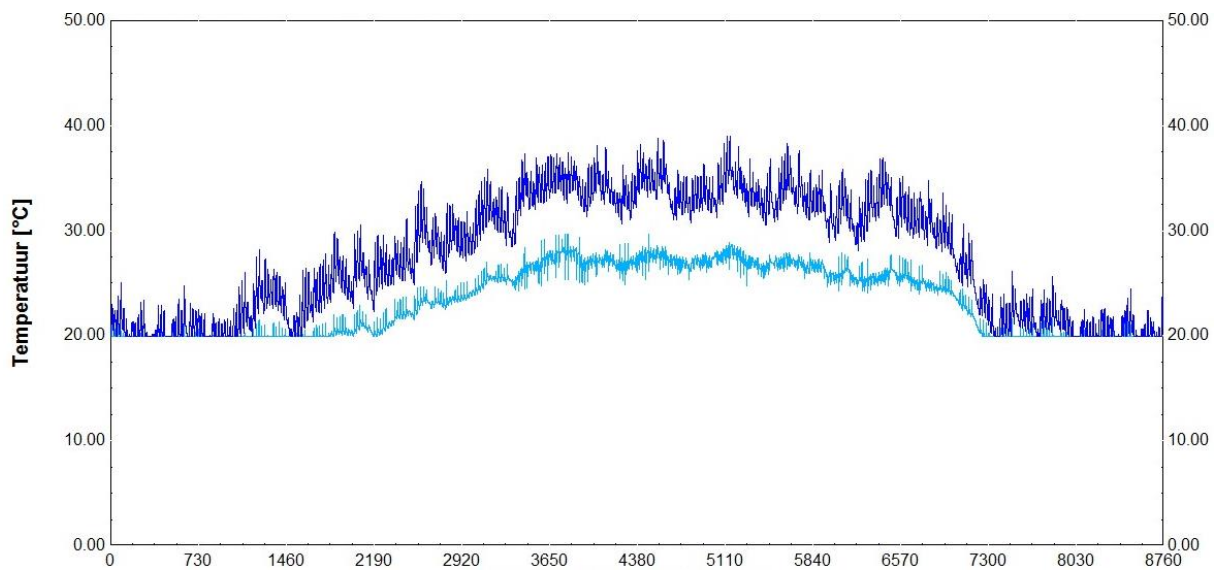


Figuur 64: Grafiek van de temperaturen in de extreemste zones op de eerst verdieping met enkel ventilatie

De volgende stap is het inschakelen van het warmteopwekking systeem. Dit nog steeds zonder nachtventilatie, voorkoeling en voorverwarming. Er is een duidelijk verschil waar te nemen in de wintermaanden. De temperatuur zakt namelijk op geen enkel moment onder 20°C. Enkel in de zomer zijn er nog onaanvaardbare temperaturen.

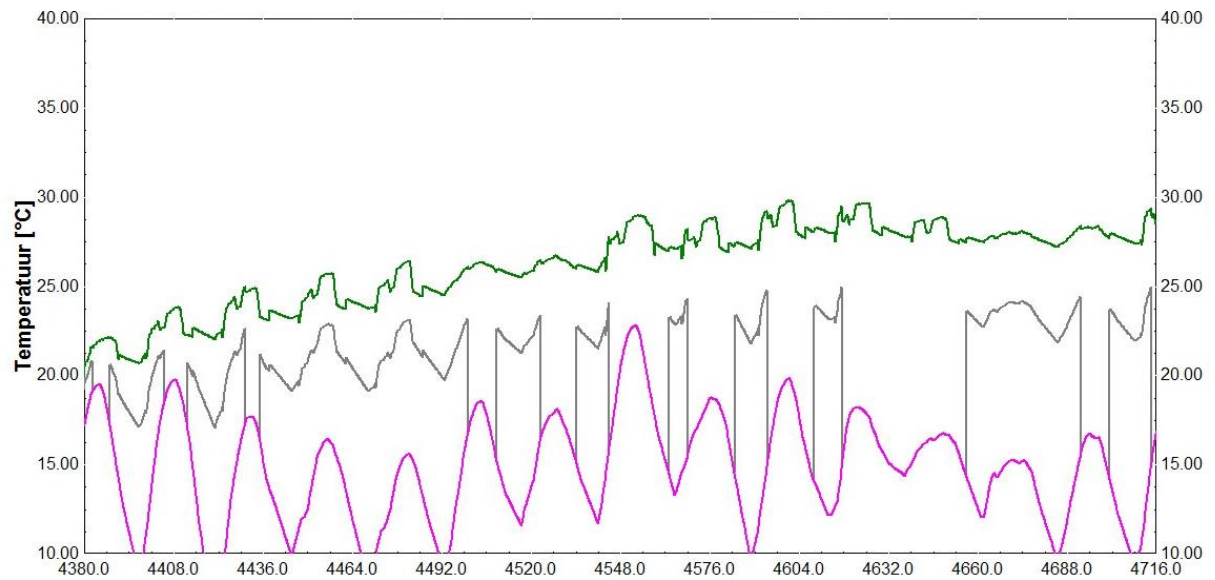


Figuur 65: Grafiek van de temperaturen in de extreemste zones op het gelijkvloers met ventilatie en warmteopwekking



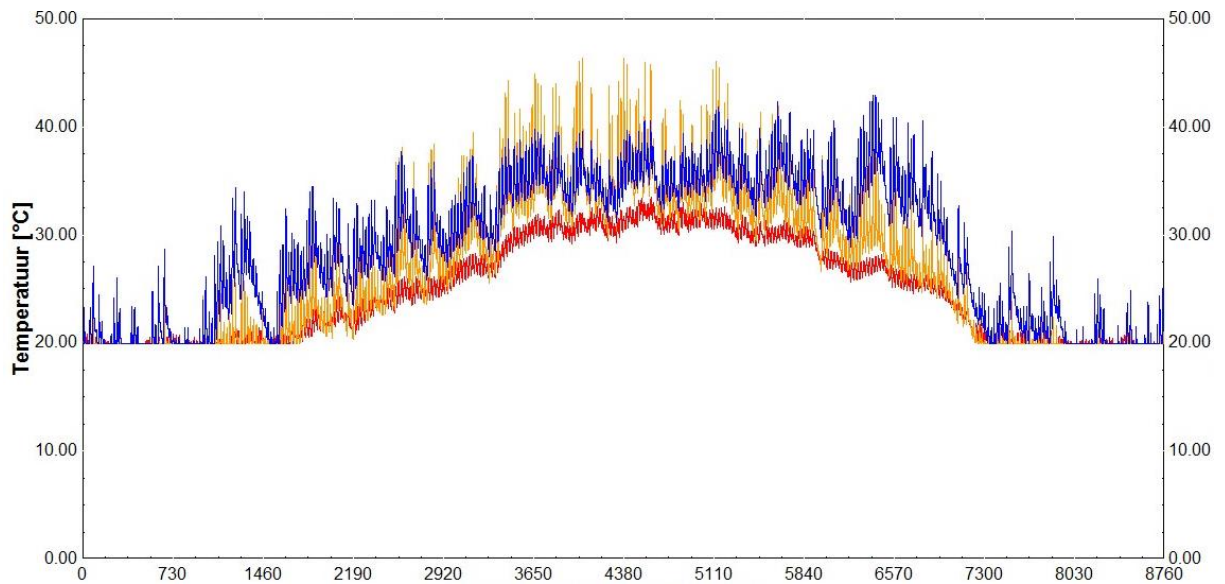
Figuur 66: Grafiek van de temperaturen in de extreemste zones op de eerste verdieping met ventilatie en warmteopwekking

Nu dat het warmteopwekking systeem ingeschakeld is, kan de werking van de warmtewisselaar duidelijk weergegeven worden in een grafiek. De sturing wordt uitgelegd in hoofdstuk 2.2.3. Als aan de beschreven voorwaarden wordt voldaan zal de warmtewisselaar inschakelen. Dit wordt weergegeven in de volgende figuur, die een willekeurige week toont in de zomer. De groene lijn is de temperatuur van de extractielucht, de grijze lijn is de temperatuur in de aanvoerleiding en de roze is de temperatuur van de buitenlucht.

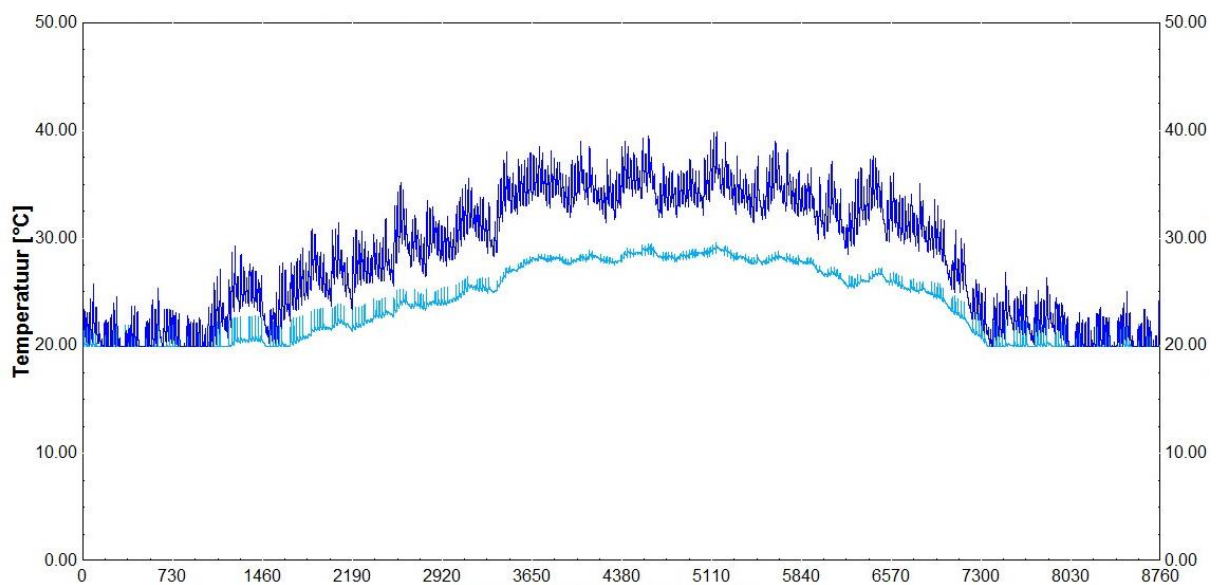


Figuur 67:Grafiek van de aanvoertemperatuur onder invloed van de warmtewisselaar

Vervolgens wordt de voorkoeling en voorverwarming ingeschakeld. In vergelijking met de vorige grafieken, is er geen duidelijk verschil. De verklaring bestaat erin dat deze installatie enkel bedoeld is om de toevoerlucht binnen een aanvaardbaar temperatuurgebied te houden en niet om de temperatuur in de zones te verhogen of te verlagen.

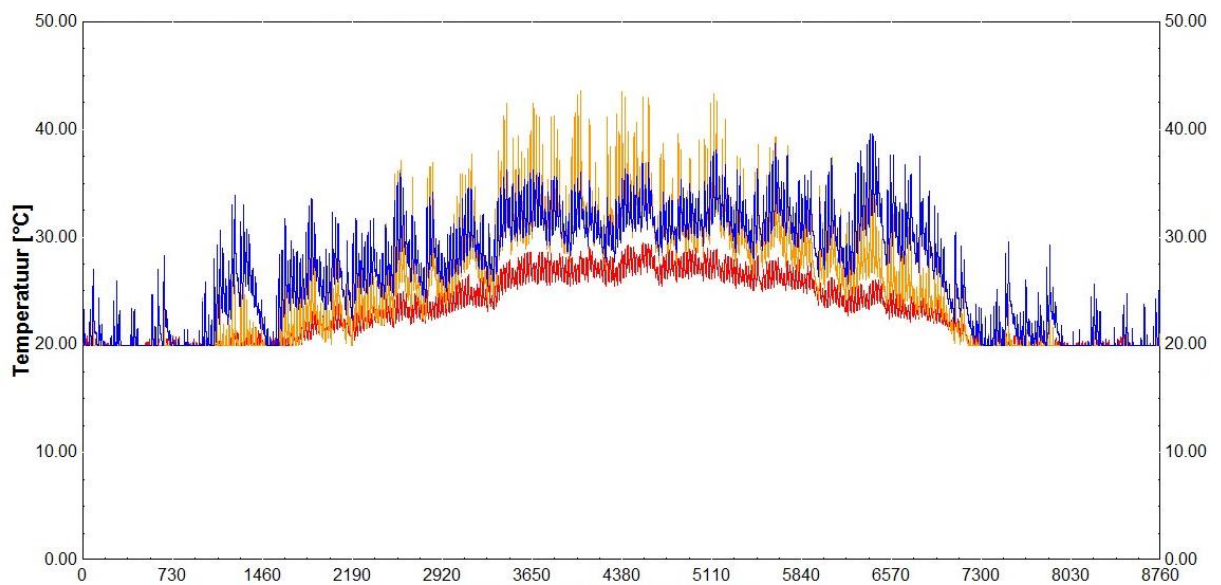


Figuur 68: Grafiek van de temperaturen in de extreemste zones op het gelijkvloers met ventilatie, warmteopwekking, voorkoeling en voorverwarming

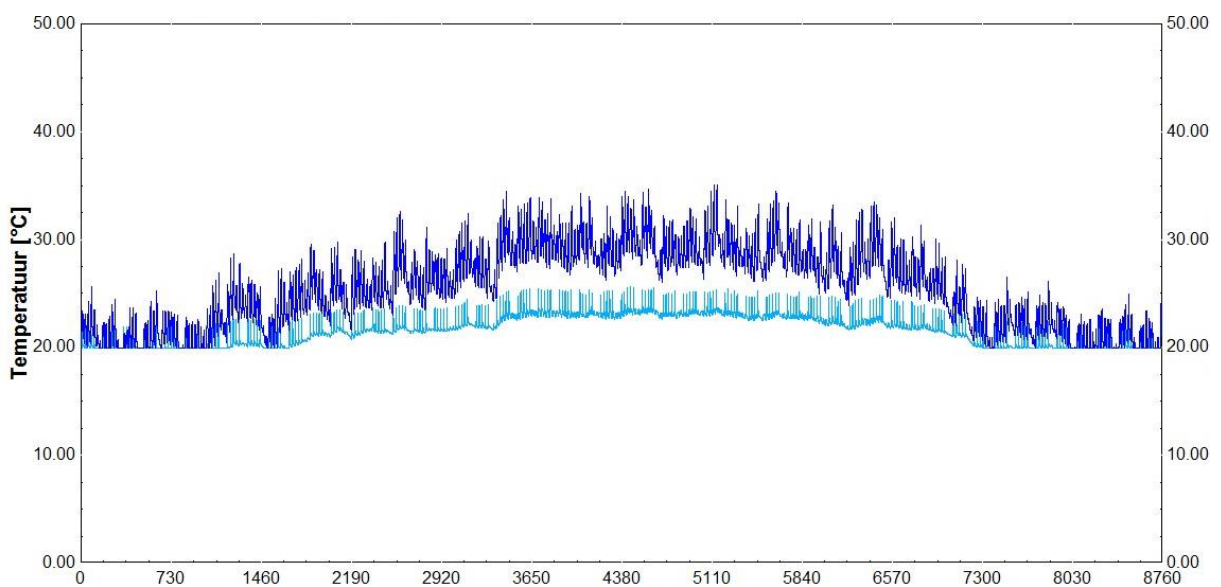


Figuur 69: Grafiek van de temperaturen in de extreemste zones de eerst verdieping met ventilatie, warmteopwekking, voorkoeling en voorverwarming

De laatste techniek die kan ingeschakeld worden is de nachtventilatie. De invloed op de temperatuur is duidelijk zichtbaar in volgende grafieken. De temperatuur zakt gemiddeld 5°C, maar dit is nog niet voldoende om aanvaardbare binnentemperaturen te bekomen.



Figuur 70: Grafiek van de temperaturen in de extreemste zones op het gelijkvloers met ventilatie, warmteopwekking, voorkoeling, voorverwarming en nachtventilatie



Figuur 71: Grafiek van de temperaturen in de extreemste zones de eerst verdieping met ventilatie, warmteopwekking, voorkoeling, voorverwarming en nachtventilatie

2.4.2. Herdefiniëring van de ramen

De temperaturen in de zones liggen veel hoger dan de buitentemperatuur en dit verschil is groter in de zomer. De hoofdoorzaak hiervan zijn de zonnewinsten van het gebouw. Deze kunnen beperkt worden door de g-waarde van het glas in de ramen te verlagen. In hoofdstuk 1.2.3 worden de ramen gedefinieerd in TRNBuild. De g-waarde bedraagt 55,8% en de U-waarde 0,92 W/m².K. Deze waarden komen het best overeen met het raam die opgelegd werden vanuit de epb-file van het kantoorgebouw.

Dit wordt aangepast naar een isolerend raam met dubbele beglazing dat ook frequent wordt toegepast. De g-waarde bedraagt 23% en de U-waarde 0,94 W/m².K. De parameters die bij dit raam horen, worden weergegeven in volgende figuur.

Window Type Manager

Window type: WINDOW001

Glazing

ID number: 7003 (WinID: Pool Lib)

slope of window: 90 degree

For 1 glazing module width: 0.77 m height: 1.08 m

u-value: 0.94 W/m² K (values acc. to glazing library (for reference only))

g-value: 0.23 %/100

ID spacer: 1 Aluminum - ASHREA Metallic

Frame

area frame/window: 0.15 % / 100

solar absorptance: 0.6 -

c-value (1 / R): 8.17 kJ/h m² K (without conv. + rad. heat transfer coefficients)

emissivity: 0.9 -

Optional Properties of Shading Devices

Additional Thermal Resistance

internal device: 0 h m² K/kJ

external device: 0 h m² K/kJ

Radiation depending shading control (internal model)

Close if total radiation on window > 648 kJ/h m²

Open if total radiation on window < 576 kJ/h m²

Reflection Coefficient of Internal Device

towards window: 0.5 % / 100

towards zone: 0.5 % / 100

Emissivity of Internal Device towards zone

0.9 -

Fraction of abs. Solar Radiation to Zone Air Node (CCISHADE)

0.5 % / 100

Convective Heat Transfer Coefficient of Window (glazing + frame)

Front (inside)

userdefined internal calculation

11 kJ/h m² K

Back (outside)

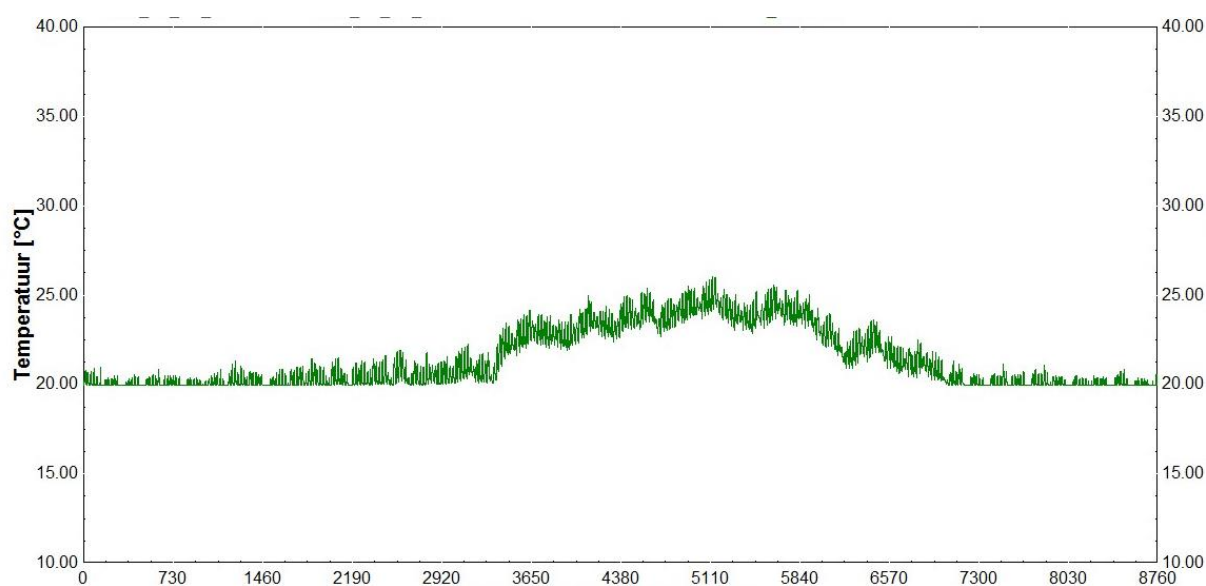
userdefined internal calculation

64 kJ/h m² K

Figuur 72: Parameters van een isolerend raam

2.4.3. Normcontrole

Na het herdefiniëren van de ramen, worden betere resultaten verwacht. Deze resultaten kunnen getoetst worden aan de norm met betrekking tot oververhitting. Deze norm is beschreven in hoofdstuk 3.4 van de literatuurstudie. Om een algemeen beeld te verkrijgen van de temperaturen in de ruimtes worden, wordt de temperatuur van de totale extractielucht weergegeven in functie van de tijd. Daarna wordt in een tabel de norm toegepast op de warmste zone per bestemming in het gebouw. De stappen die in hoofdstuk 2.4.1 gevolgd worden, worden ook hier gevolgd. De volgende grafiek stelt de temperatuur voor van de extractielucht met het ventilatiesysteem, het warmteopwekking systeem, de verkoeling en de voorverwarming ingeschakeld. Hieruit kan besloten worden dat de binnentemperatuur in de zones, door het herdefiniëren van de ramen, aanvaardbaarder is.



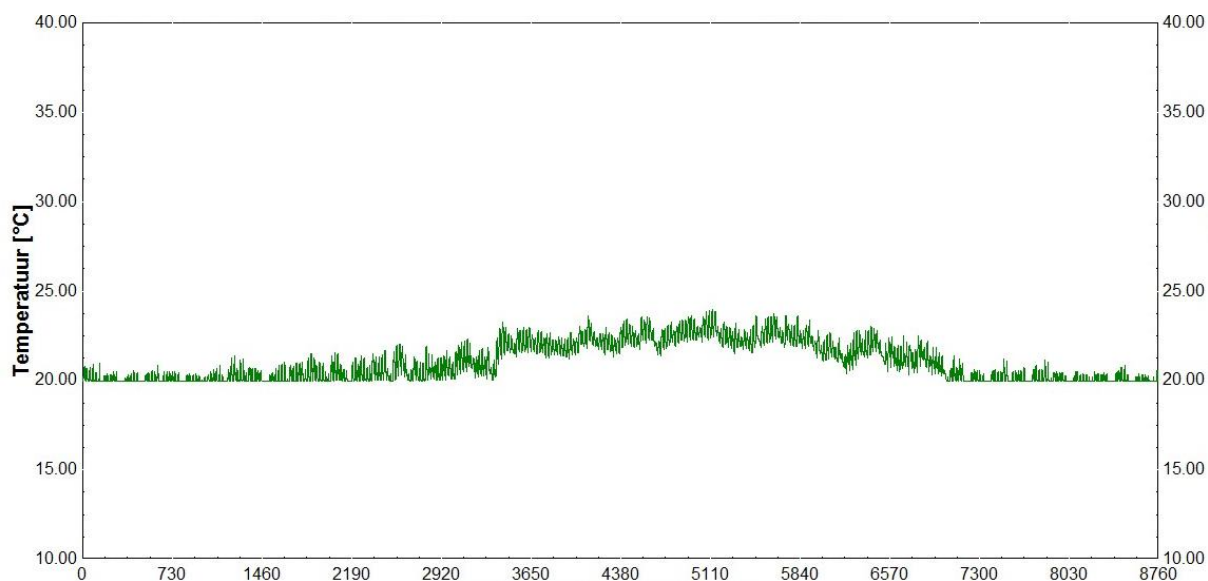
Figuur 73: Grafiek van de temperatuur van de extractielucht met ventilatie, warmteopwekking, verkoeling en voorverwarming

In volgende tabel wordt de norm voor oververhitting toegepast. In kolom T28 wordt het aantal aanwezigheidsuren weergegeven, waarbij de temperatuur boven de 28°C stijgt. Dit wordt bepaald in aantal uur en in een percentage ten opzichte van het totaal aantal aanwezigheidsuren in de zone. Dezelfde redenering wordt gevolgd voor de kolom T25,5, waarbij het aantal aanwezigheidsuren bepaald wordt dat de temperatuur boven de 25,5°C stijgt. De percentages worden getoetst aan de percentages uit de norm. Voor de overschrijdingsuren bij 28°C mag dit maximaal 1% zijn en bij 25,5°C mag dit maximaal 5% zijn. Hieruit blijkt dat er minimum twee zones zijn die niet voldoen aan de norm.

Bestemming	Warmste zone	T28		T25,5	
		Uur	%	Uur	%
Kantoorruimte	V2_G0_I2	384.6	11	1242	36
Gang	V1_B1_G2	70,4	2	270.6	7
Vergaderzaal	V1_G0_H2	0	0	0	0
Personeelsruimte	V2_C6_G7	0	0	0	0
Feestzaal	V2_G2_I7	0	0	0	0

Tabel 62: Temperatuuroverschrijding met ventilatie, warmteopwekking, verkoeling en voorverwarming

De volgende stap is het inschakelen van de nachtventilatie. Hierdoor worden de pieken uit de vorige grafiek, verder afgezwakt.



Figuur 74: Grafiek van de temperatuur van de extractielucht met ventilatie, warmteopwekking, voorkoeling, voorverwarming en nachtventilatie

Ook bij het toepassen van de norm voor oververhitting, worden betere waarden bekomen. Voor de kolom T28 ligt het percentage al in de buurt van het percentage uit de norm. Dit is nog niet het geval voor de kolom T25,5.

Bestemming	Warmste zone	T28		T25,5	
		Uur	%	Uur	%
Kantoorruimte	V2_G0_I2	72,9	2	930,5	26,8
Gang	V1_B1_G2	53,6	1,4	214,8	5,5
Vergaderzaal	V1_G0_H2	0	0	0	0
Personeelsruimte	V2_C6_G7	0	0	0	0
feestzaal	V2_G2_I7	0	0	0	0

Tabel 63: Temperatuuroverschrijding met ventilatie, warmteopwekking, voorkoeling, voorverwarming en nachtventilatie

2.4.4. Bijkomende technieken

Om de temperatuur verder te laten zakken, zodat er voldaan wordt aan de norm, moet er gezocht worden naar andere oplossingen. Een eerste oplossing is het toepassen van zonnewering op alle ramen. Om dit te simuleren in Simulation Studio, moeten er nieuwe parameters ingevoegd worden in TRNBuild en Simulation Studio.

In TRNBuild moet bij elke definitie van een raam, een inputparameter ingevoegd worden om zonnewering mogelijk te maken. Dit gebeurt in het scherm waar het raam georiënteerd wordt. De nieuwe inputparameter krijgt de naam 'SHADING_', gevolgd door de beginletter van de windrichting waarin het raam georiënteerd is. Deze parameter wordt gelinkt aan de *external shading factor*. Er wordt aangegeven dat deze parameter *external* gecontroleerd zal worden. Dit wil zeggen dat de sturing zal plaatsvinden in Simulation Studio.

Surf	Type	Area	Category	u-Value	g-Value
140	WINDOW001	27.11	EXTERNAL	0.94	0.23

window type: WINDOW001
 area: 27.11 m²
 category: EXTERNAL
 geosurf: 0
 gain: 0 kJ/h
 orientation: W_96_90
 view fac. to sky: 0.5

☐ internal shad. factor:
 Shading control: ☐ integrated radiation control acc. to window type
☒ external control (included in shading factor)

☒ external shad. factor:
 Shading control: ☐ integrated radiation control acc. to window type
☒ external control (included in shading factor)

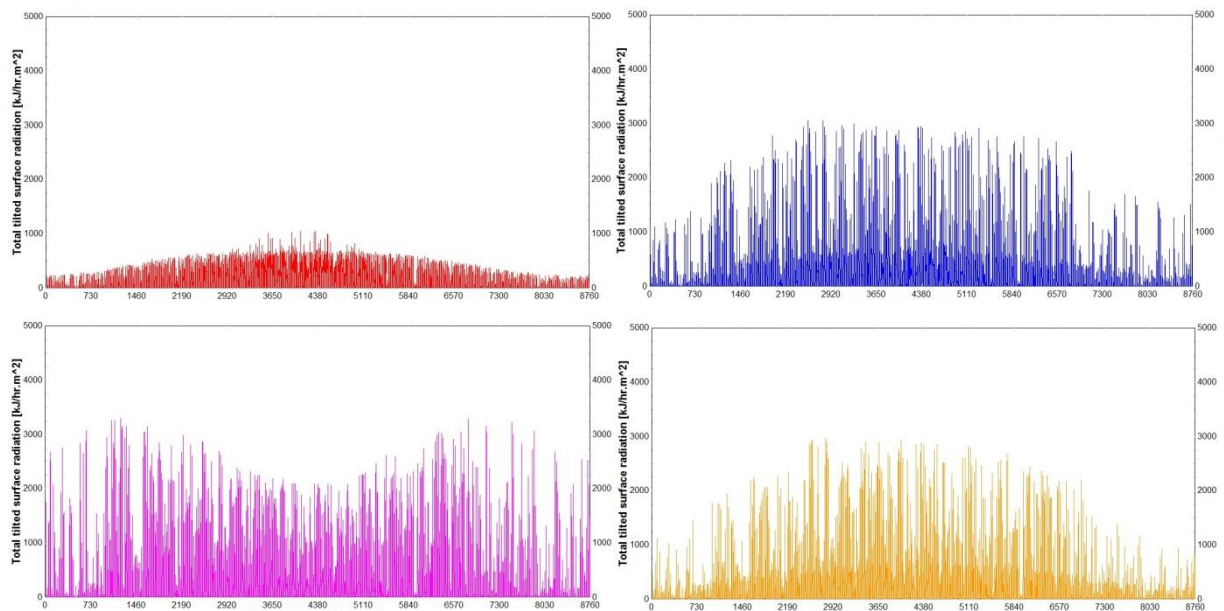
Figuur 75: Definiëring van zonnewering

In Simulation Studio moet er enkel een *calculator* ingevoerd worden om de sturing van de zonnewering te bepalen. In deze *calculator* met de naam *shading*, wordt het sturingssignaal bepaald met volgende formule.

$$Shading_x = gt(IT_x, Grens_x) * 0,96 \quad (46)$$

- Met:
- IT_x: De oppervlaktestraling in windrichting x [kJ/h.m²];
 - Grens_x: De grenswaarde van de oppervlaktestraling in windrichting x [kJ/h.m²];
 - De verduisteringsfactor van de zonnewering = 0,96.

De parameter IT_x wordt gelinkt aan de oppervlaktestraling vanuit de *weather data*. De verduisteringsfactor komt uit een technische fiche van de gebruikte zonnewering. Deze fiche wordt weergegeven in bijlage 8. De grenswaarde van de oppervlaktestraling wordt bekomen door de oppervlaktestraling per windrichting in een grafiek weer te geven, in functie van de tijd. Aan de hand van deze grafieken wordt de grenswaarde bepaald.



Figuur 76: Oppervlaktestraling per windrichting

De grenswaarde wordt gekozen zodat de zonnewering voldoende in werking treedt in de warmere periodes van het jaar. Deze waarde worden weergegeven in volgende tabel.

Parameter	Grenswaarde
Grens_N	750
Grens_E	2250
Grens_S	1700
Grens_W	2250

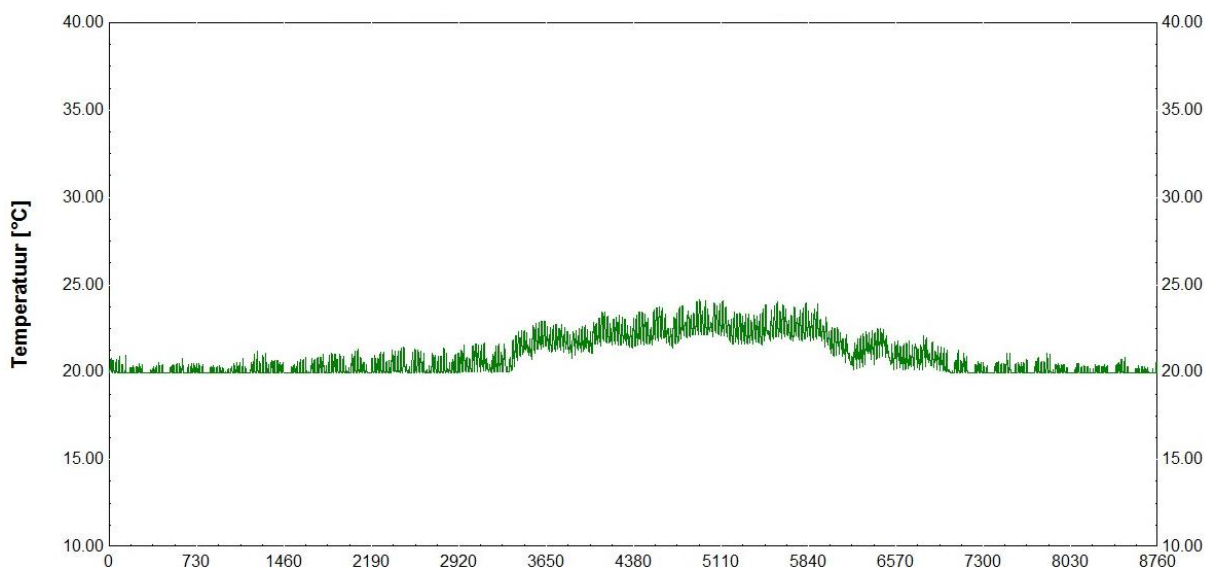
Tabel 64: Grenswaarden van de oppervlaktestraling per windrichting

Nu alle parameters bepaald zijn, kunnen de verschillende links gemaakt worden met andere *types* om de gegevens te koppelen. De links worden weergegeven in volgende tabel.

Output Weather Data	Input calculator Shading
Total tilted surface radiation for surface-4	IT_N
Total tilted surface radiation for surface-5	IT_E
Total tilted surface radiation for surface-2	IT_S
Total tilted surface radiation for surface-3	IT_W
Output calculator Shading	Input Multi-zone Building
Shading_N	Shading_N
Shading_E	Shading_E
Shading_W	Shading_W
Shading_S	Shading_S

Figuur 77: Links met de calculator Shading

Vervolgens wordt de temperatuur van de extractielucht terug weergegeven in functie van de tijd. In de grafiek zijn geen grote verschillen waar te nemen in vergelijking met de vorige simulatie. Dit komt omdat de zonnewering enkel invloed heeft op de temperatuur in zones waar er een raam aanwezig is.



Figuur 78: Grafiek van de temperatuur van de extractielucht met ventilatie, warmteopwekking, voorkoeling, voorverwarming, nachtventilatie en zonnewering

De zonnewering heeft wel invloed op de temperatuuroverschrijdingen. Dit komt omdat de zone met de hoogste temperatuur overeenkomt met een zone waar er zich grote ramen bevinden. Niet tegenstaande is het percentage bij T25,5 nog te hoog om aan de norm te voldoen.

Bestemming	Warmste zone	T28		T25,5	
		Uur	%	Uur	%
Kantoorruimte	V2_G0_I2	10,5	0,3	641,1	18,5
Gang	V1_B1_G2	14,9	0,4	110,5	2,8
Vergaderzaal	V1_G0_H2	0	0	0	0
Personeelsruimte	V2_C6_G7	0	0	0	0
feestzaal	V2_G2_I7	0	0	0	0

Tabel 65: Temperatuuroverschrijding met ventilatie, warmteopwekking, voorkoeling, voorverwarming, nachtventilatie en zonnewering

Een tweede oplossing om de temperatuur de drukken in de ruimtes waarin een te hoge temperatuur heerst, is door het aanvoerdebiet bij nachtventilatie en koeling te verhogen. Hierbij moeten de formules 18 en 19, die bepaald werden in hoofdstuk 2.2.4, aangepast worden. De parameter die ervoor zorgt dat het aanvoerdebiet stijgt tot het maximum aanvoerdebiet, wordt vermenigvuldigt met 0,85 in de originele formule. Door deze parameter te verhogen tot 1,85, zal het aanvoerdebiet dubbel zo groot worden dan het maximum aanvoerdebiet. Dit wordt enkel toegepast voor de zones waarbij de binnentemperatuur te groot is en in de inkomhal, omdat de inkomhal een zone is met grote raampartijen. Hierdoor stijgt de temperatuur heel snel in deze ruimte.

$$Min_Flow_i = \max(occ_i, Max_i * (0,15 + 1,85 * Koel_i) * 36 \frac{m^3}{h \cdot persoon} * 1,204 \frac{kg}{m^3}) \quad (47)$$

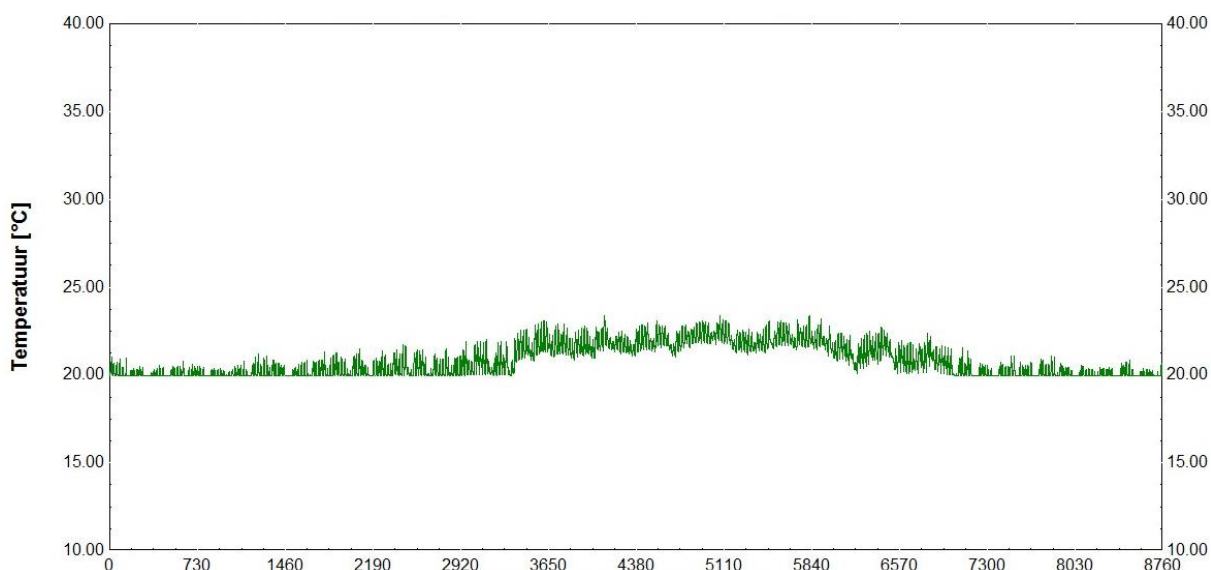
Met: -Min_Flow_i: Het gevraagde massadebiet lucht in zone i [kg/h];
 -Occ_i: De ogenblikkelijke bezetting in zone i [personen];
 -Max_i: De maximale bezetting in de zone [personen];
 -Koel_i: Nachtventilatie/koeling aan (=1) of uit (=0) per zone;
 -De soortelijke massa van lucht = 1,204 kg/m³.

$$Min_Flow_i = (\max(1,85 * Koel_i, aanwezigheid * 0,85) + 0,15) * 373 \frac{m^3}{h} * 1,204 \frac{kg}{m^3} \quad (48)$$

Met: -Min_Flow_i: Het afvoerdebiet in de zone [kg/h];
 -Aanwezigheid: Is er iemand aanwezig in het gebouw? [1/0];
 -Koel_i: Nachtventilatie/koeling aan (=1) of uit (=0) per zone;
 -De soortelijke massa van lucht = 1,204 kg/m³.

Doordat het berekende aanvoerdebiet verandert, verandert ook de grote van de ventilatoren die dit debiet moeten leveren. Het debiet wordt bekomen door de som te nemen van alle maximale aanvoerdebieten, wanneer het kantoorgebouw een maximum bezetting heeft. Dit komt neer op 6352 m³/h of 7066 kg/h. Uit de technische fiche in bijlage 5 wordt een ventilator bepaald met een hoger debiet dan de berekende waarde. De gekozen ventilator heeft aan aanvoerdebiet van 7066 m³/h en een vermogen van 0,2 kW. Deze waarden worden aangepast voor de aanvoer en afvoer ventilator in Simulation Studio.

Door deze extra koeling toe te passen wordt de temperatuur in de zones met een te hoge temperatuur verder gedrukt. Dit is in kleine mate zichtbaar op onderstaande grafiek.



Figuur 79: Grafiek van de temperatuur van de extractielucht met ventilatie, warmteopwekking, voorkoeling, voorverwarming, nachtventilatie, zonnewering en extra koeling

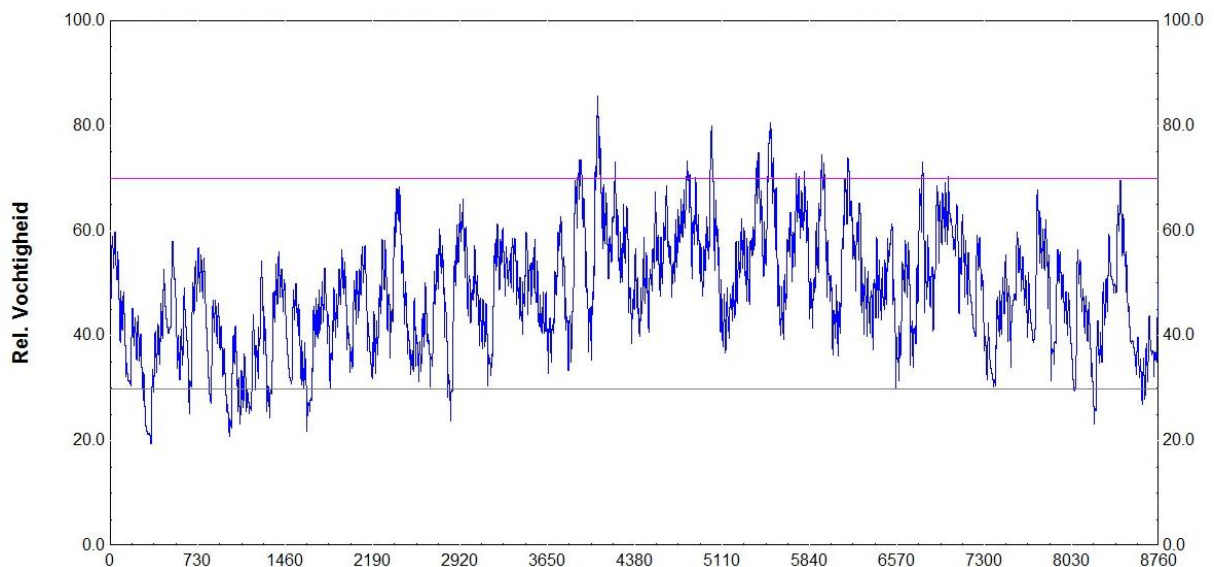
De invloed van de extra koeling wordt beter weergegeven bij de controle van de temperatuuroverschrijdingen. Er is een grote daling van het overschrijdingspercentage van T25,5. Deze zakt van 18,5% naar 5,2% door het invoeren van extra koeling.

Bestemming	Warmste zone	T28		T25,5	
		Uur	%	Uur	%
Kantoorruimte	V2_G0_I2	0	0	180,2	5,2
Gang	V1_B1_G2	12,1	0,3	102,2	2,6
Vergaderzaal	V1_G0_H2	0	0	0	0
Personeelsruimte	V2_C6_G7	0	0	0	0
feestzaal	V2_G2_I7	0	0	0	0

Tabel 66: Temperatuuroverschrijding met ventilatie, warmteopwekking, voorkoeling, voorverwarming, nachtventilatie, zonnewering en extra koeling

De temperaturen in de verschillende zones zijn aanvaardbaar, wanneer gekeken wordt naar het halen van de norm. De enige zone waar het percentage in overschrijdingsuren, bij een temperatuur hoger dan 25,5°C, nog te hoog is, is in zone V2_G0_I2. Dit percentage is namelijk 5,2%, waar de norm 5% voorschrijft. Dit verschil is heel klein, zodat er kan besloten worden dat de kans op oververhitting heel miniem is in het kantoorgebouw.

2.4.5. Vochtigheid

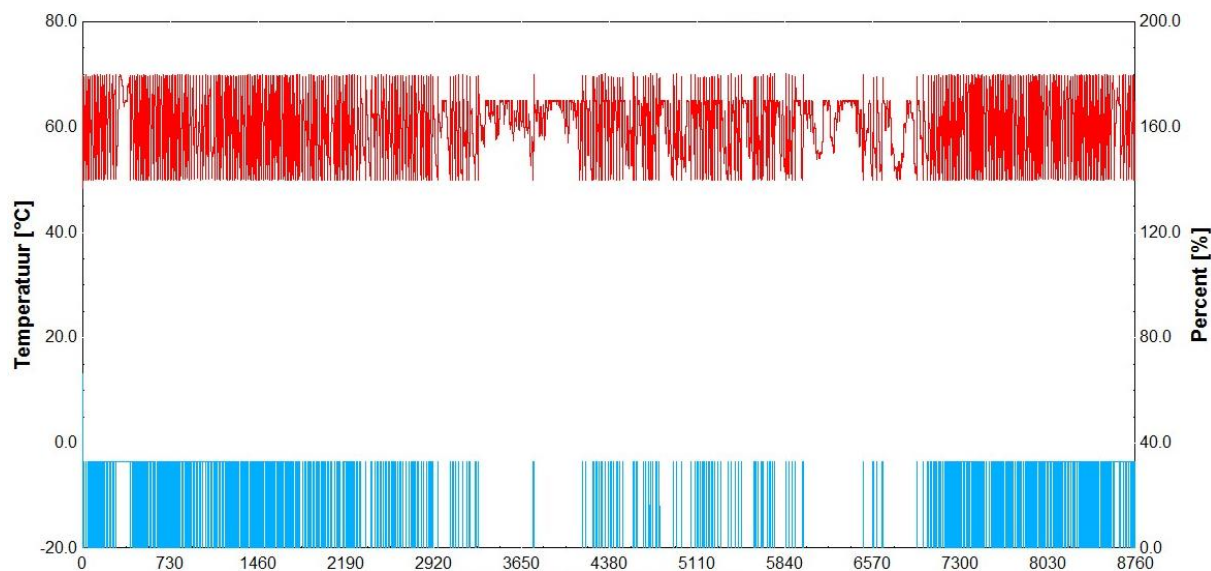


Figuur 80: Grafiek met de gemiddelde relatieve vochtigheid van de verschillende zones

In figuur 80 wordt de gemiddelde relatieve vochtigheid weergegeven van de verschillende zones. De twee horizontale lijnen zijn de grenswaarden van 30% en 70%, bepaald volgens de norm NBN EN ISO 7730. Deze norm staat beschreven in hoofdstuk 3.3 van de literatuurstudie. De gemiddelde relatieve vochtigheid in de zones valt grotendeels binnen het gebied van 30% en 70%. Er zijn enkele overschrijdingen waar te nemen in de grafiek. Dit kan opgelost worden door een bevochtiger en een ontvochtiger te integreren in het ventilatiesysteem.

2.4.6. Energie optimalisatie

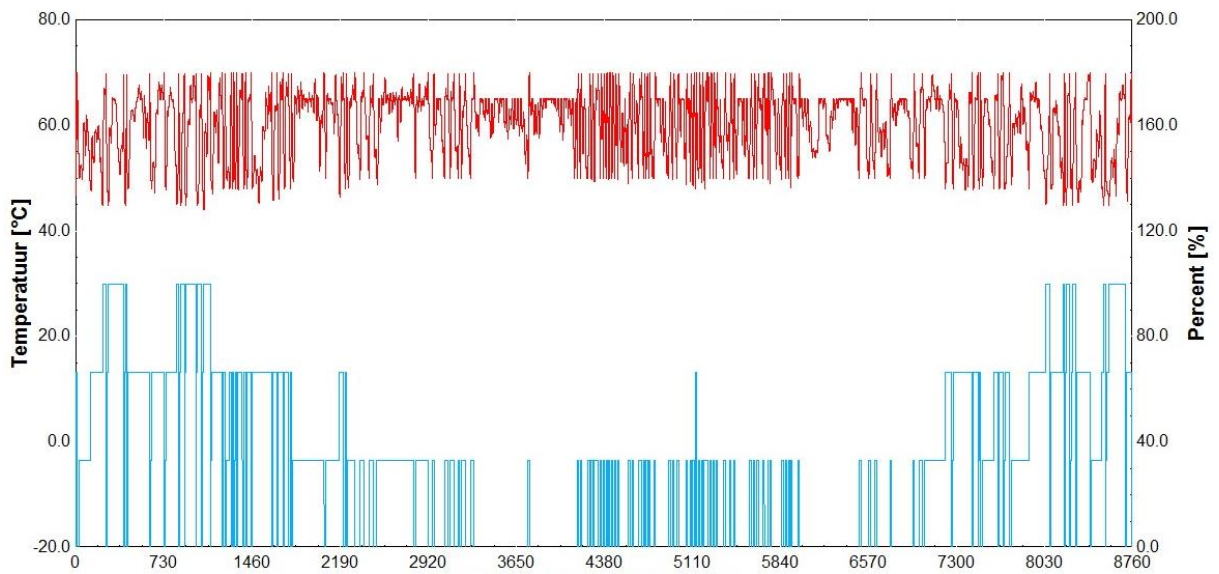
In voorgaande hoofdstukken werd gezorgd voor comfortabele condities in de zones. In dit hoofdstuk wordt gecontroleerd of de toegepaste componenten correct gedimensioneerd zijn. De belangrijkste component is de warmtepomp. Deze levert namelijk het meeste energie. In hoofdstuk 2.3.1 wordt een moduleerbare warmtepomp gekozen met een nominaal vermogen van 42,8 kW, die afhankelijk van de temperatuur in het buffervat, op 33% inschakelt, op 66% inschakelt of op 100% inschakelt. Om deze te controleren wordt de temperatuur van het warm buffervat en de vermogensstand van de warmtepomp samen uitgezet in één figuur.



Figuur 81: Grafiek met temperatuur van het warm buffervat en de vermogensstanden van de warmtepomp

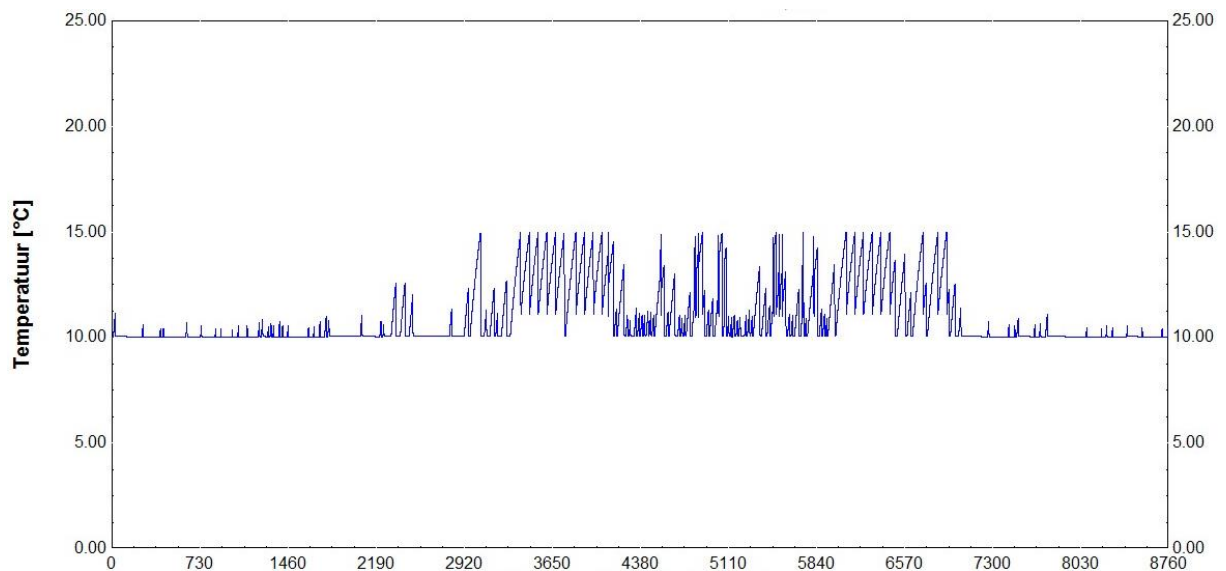
Uit deze grafiek kan afgeleid worden dat de temperatuur binnen de aanvaardbare grenzen blijft en dat de warmtepomp telkens inschakelt op 33%, maar nooit op een hogere vermogensstand. Er kan besloten worden dat de warmtepomp zeker drie maal te groot gedimensioneerd is.

Uit een technische fiche in de bijlage 6, wordt een nieuwe warmtepomp gekozen die een nominaal vermogen heeft dat drie maal kleiner is dan de reeds besproken warmtepomp. Het nieuwe nominale vermogen wordt dan 13,51 kW en het elektrisch vermogen wordt 2,05 kW. De simulatie wordt opnieuw uitgevoerd en de resultaten bekeken.



Figuur 82: Grafiek met temperatuur van het warm buffervat en de vermogensstanden van de geoptimaliseerde warmtepomp

Door het nieuwe nominaal vermogen, worden alle vermogensstanden wel aangewend. Belangrijk hierbij is dat de temperatuur van het warm buffervat niet onder de 45°C zakt. Uit de grafiek leidt men af dat dit niet voorkomt. Hieruit kan besloten worden dat deze configuratie het efficiënts is. Als extra controle kan de temperatuur van het koud buffervat gecontroleerd worden. Wanneer de temperatuur onder de 15°C blijft, kan een efficiënte werking van de verkoeling gegarandeerd worden. In volgende grafiek kan besloten worden dat dit inderdaad het geval is.



Figuur 83: Grafiek in het koud buffervat

Doordat het nominaal vermogen van de warmtepomp gedaald is, zal het debiet van de circulatiepompen van het warmtebronscircuit en het verwarmingssysteem veranderen. Dit komt omdat het debiet berekend wordt in functie van het nominaal vermogen van de warmtepomp. Met formule 49 en 50 wordt het debiet opnieuw berekend voor respectievelijk de circulatiepomp voor het warmtebronscircuit en de circulatiepomp voor het verwarmingssysteem.

$$FlowRate = \frac{Q_{toegevoegd}}{\Delta T * c} \quad (49)$$

$$FlowRate = \frac{48636}{5 * 3.495} = 2783,18 \text{ kg/h}$$

Met: - $Q_{toegevoegd}$: Het vermogen van de warmtepomp [kJ/h] ;
 - ΔT : Het temperatuurverschil [K];
 - c : De warmtecapaciteit van het mengsel [kJ/kg.K];
 -FlowRate: Het circulatiedebiet [kg/h].

$$FlowRate = \frac{Q_{toegevoegd}}{\Delta T * c} \quad (50)$$

$$FlowRate = \frac{48636}{5 * 4.190} = 2321,53 \text{ kg/h}$$

Met: - $Q_{toegevoegd}$: Het vermogen van de warmtepomp [kJ/h] ;
 - ΔT : Het temperatuurverschil [K];
 - c : De warmtecapaciteit van de vloeistof [kJ/kg.K];
 -FlowRate: Het circulatiedebiet [kg/h].

Voor beide circulatiepompen wordt een circulatiepomp gekozen met een debiet van 3 m³/h of 3000 kg/h en een verbruik van 0,37 kW. De gegevens van deze pomp is terug te vinden in een technische fiche in bijlage 7.

2.5. Zonnepanelen

In het ontwerp van de technieken van het kantoorgebouw, worden 166 zonnepanelen voorzien op het dak. Deze hebben elk een oppervlakte van 2 m² en staan naar het zuiden gericht. Dit systeem zorgt enkel voor een lager totaal energieverbruik van het kantoorgebouw. In Simulation Studio kunnen zonnepanelen gemodelleerd worden met behulp van twee *types*.

2.5.1. Effective sky temperature

De eerste *type* is de *Effective sky temperature for long-wave radiation exchange* (type 69). Deze bepaalt de effectieve luchttemperatuur in functie van de omgevingstemperatuur, de dauwpunttemperatuur, de rechtstreekse straling, de onrechtstreekse straling en de bewolking. De parameters horende bij deze *type*, worden weergegeven in volgende tabel.

Effective sky temperature for long-wave radiation exchange (type69)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Mode for cloudiness factor	1	-
Height over sea level	10	m
Input		
Ambient temperature	Variabel	C
Dew point temperature at ambient conditions	Variabel	C
Beam radiation on the horizontal	Variabel	kJ/h.m ²
Diffuse radiation on the horizontal	Variabel	kJ/h.m ²
Cloudiness factor - sky	Variabel	%
Output		
Naam	Waarde	Eenheid
Fictive sky temperature	Variabel	C
Cloudiness factor of the sky	Variabel	-

Tabel 67: Parameters bij de *type Effective sky temperature for long-wave radiation exchange*

De vijf inputgegevens komen rechtstreeks uit de *Weather data*. De links worden weergegeven in volgende tabel.

Output Weather Data	Input Effective sky temperature for long-wave radiation exchange
Dry bulb temperature	Ambient temperature
Dew point temperature	Dew point temperature at ambient conditions
Horizontal beam radiation	Beam radiation on the horizontal
Total diffuse radiation on the horizoantal	Diffuse radiation on the horizontal
Total sky cover	Cloudiness factor - sky

Tabel 68: Links tussen *Weather data* en *Effective sky temperature for long-wave radiation exchange*

2.5.2. Simple Photovoltaic System

De zonnepanelen zelf worden voorgesteld door de *type Simple Photovoltaic System: no Cover and Constant Efficiency* (type 562). Voor de efficiëntie van de zonnepanelen wordt een gemiddelde genomen van de beschreven waarden in hoofdstuk 2.5 van de literatuurstudie.

Simple Photovoltaic System: no Cover and Constant Efficiency (type 562)		
Parameter		
Naam	Waarde	Eenheid
Area	332	m ²
PV efficiency	12	%
Input		
Ambient temperature	<i>Variabel</i>	C
Sky temperature	<i>Variabel</i>	C
Incident solar radiation	<i>Variabel</i>	kJ/h.m ²
Output		
Naam	Waarde	Eenheid
Power production	<i>Variabel</i>	kJ/h

Tabel 69: Parameters van de *type Simple Photovoltaic System: no Cover and Constant Efficiency*

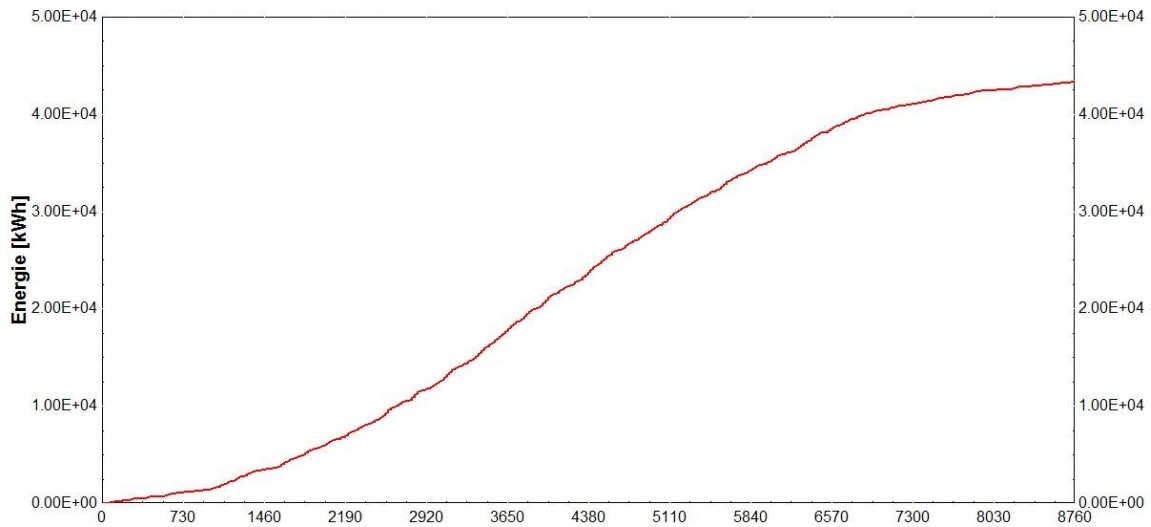
De links met de inputparameters van deze *type* worden weergegeven in volgende tabel.

Output Weather Data	Input Simple Photovoltaic System
Dry bulb temperature	Ambient temperature
Total tilted surface radiation for surface-1	Incident solar radiation
Output Effective sky temperature for long-wave radiation exchange	Input Simple Photovoltaic System
Fictive sky temperature	Sky temperature

Tabel 70: Links met de *type Simple Photovoltaic System: no Cover and Constant Efficiency*

2.5.3. Controle

De energieproductie van het zonnepaneel wordt weergegeven in volgende figuur. Dit is de cumulatieve energieproductie op jaarbasis, zodat de het aantal kWh per jaar kan afgelezen worden.



Figuur 84: Grafiek van de cumulatieve energieproductie van de zonnepanelen

Om het resultaat van 43446 kWh energieproductie per jaar te controleren, wordt deze waarde omgezet naar Wp/m^2 . Deze waarde kan worden vergeleken met de standaardwaarden van $183,8 \text{ Wp/m}^2$ voor een hoog efficiënt zonnepaneel en 121 Wp/m^2 voor een normaal efficiënt zonnepaneel. Het Wp/m^2 voor deze zonnepanelen wordt bekomen door de bekomen energieproductie te delen door de efficiëntie en de totale oppervlakte van de zonnepanelen. (ZonnepanelenEnergie, 2015)

$$\eta_A = \frac{43446 \text{ kWh}}{0,88 \frac{\text{kWh}}{\text{Wp}} * 332 \text{ m}^2} = 148,71 \frac{\text{Wp}}{\text{m}^2} \quad (51)$$

Met: $-\eta_A$: Het rendement per 1 m^2 van het zonnepaneel [Wp/m^2].

Deze waarde bevindt zich tussen de twee standaardwaarden. Hieruit kan besloten worden dat de energieproductie op jaarbasis correct is en dat zonnepanelen een aanvaardbare efficiëntie hebben.

2.6. Andere elektrische verbruikers

Om een volledige energieanalyse te kunnen maken van het gebouw, wordt het verbruik van de verlichting en de computers bepaald. Het verbruik van andere randapparatuur is moeilijk in rekening te brengen aangezien vooraf niet geweten is hoeveel en welke apparaten in het kantoorgebouw zullen worden toegepast.

Het toegepaste verlichtingssysteem is ledverlichting. Er zijn led-spots van 5 W en led-strips van 18 W toegepast in het ontwerp van de verlichtingsinstallatie. Om een correcte weergave te krijgen van het verbruik, moet het aantal armaturen van elke type per zone gekend zijn en bepaald worden of er iemand aanwezig is in de zone. Indien er iemand aanwezig is wordt het ogenblikkelijk vermogen bepaald in een zone door het aantal armaturen per type te vermenigvuldigen met het vermogen van de ledlamp. Wanneer dit voor alle zones wordt toegepast, wordt het totaal ogenblikkelijk verbruik van de ledverlichting bepaald.

$$VerbruikL_i = Aanw_i * (Spots * 5 + Strips * 18) \quad (52)$$

Met: -VerbruikL_i: Ogenblikkelijk verbruik van verlichting in zone i [W];
-Aanw_i: Controlesignaal voor aanwezigheid in zone i [1-0];
-Spots: Het aantal spots in zone i;
-Strips: Het aantal strips in zone i.

Voor het verbruik van de computers te bepalen, wordt een verbruik van 230 W aangenomen voor één computer. Er moet rekening gehouden worden dat er enkels computers aanwezig zijn in kantoorruimtes en dat iedere aanwezige een computer tot zijn beschikking heeft. Als personen aanwezig zijn in de zone, wordt het ogenblikkelijk vermogen bepaald door het aantal aanwezige personen in de zone te vermenigvuldigen met het verbruik van 230 W. Wordt het verbruik van elke kantoorruimte opgeteld, dan wordt het totaal ogenblikkelijk verbruik van de computers bepaald.

$$VerbruikC_i = Occ_i * 230 \quad (53)$$

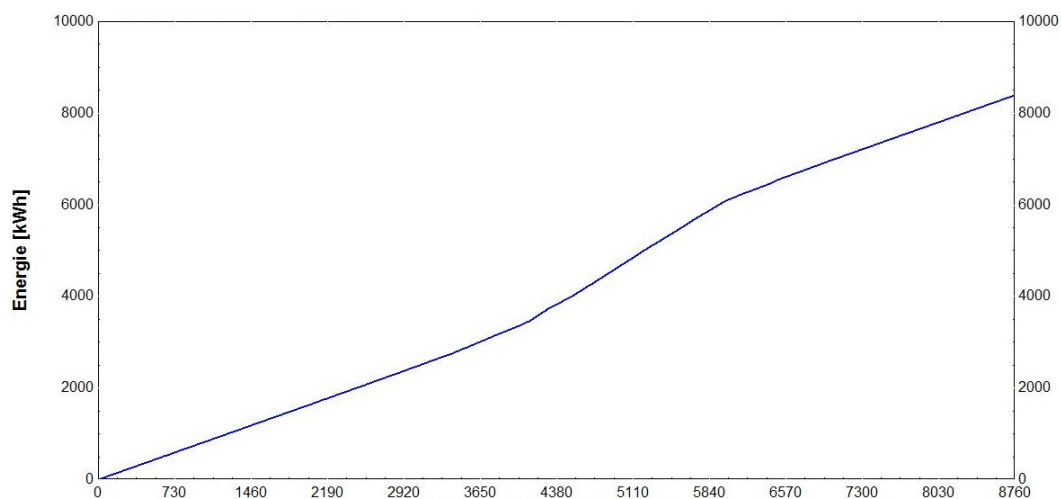
Met: -VerbruikC_i: Ogenblikkelijk verbruik van computers in zone i [W];
-Occ_i: Aantal aanwezige personen in de zone i.

Om het totaal ogenblikkelijk verbruik te bepalen, moet de som genomen worden van de hierboven beschreven parameters. Om het jaarlijks verbruik te bepalen wordt het totaal ogenblikkelijk verbruik uitgezet in functie van de tijd. Dit wordt in het besluit weergegeven.

Besluit

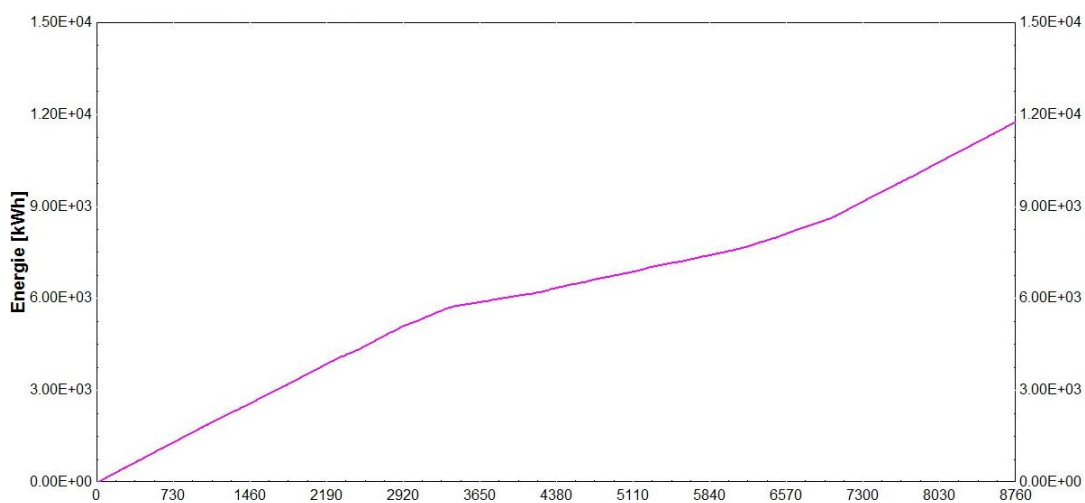
In dit besluit wordt een energieanalyse gemaakt van de verschillende toegepaste systemen. De analyse geeft het verbruik of de productie weer over een periode van één jaar. Het verbruik wordt weergegeven door middel van cumulatieve functie, zodat het totale verbruik in kWh op jaarbasis verkregen wordt. Deze functies worden weergegeven in volgende grafieken. In deze analyse wordt geen rekening gehouden met de energie die nodig is voor het sanitair warm water. Deze abstractie kan verantwoord worden aangezien er weinig sanitair warm water nodig is in het kantoorgebouw.

➤ Ventilatoren



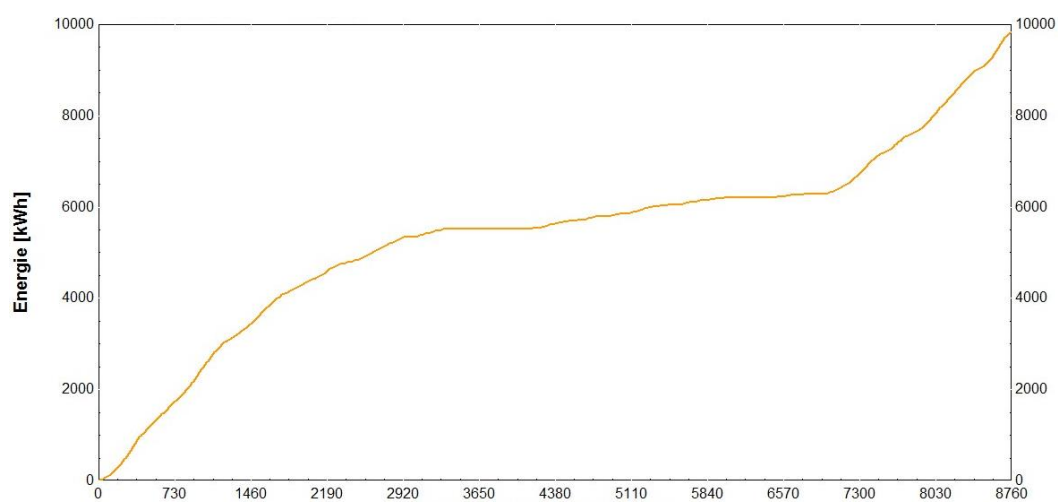
Figuur 85: Grafiek van het verbruik van de ventilatoren

➤ Circulatiepompen



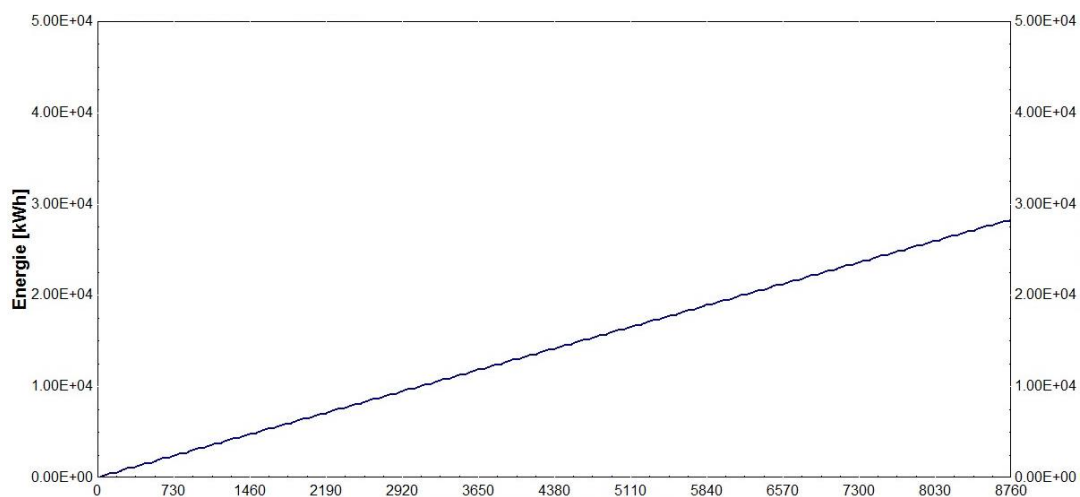
Figuur 86: Grafiek van het energieverbruik van de circulatiepompen

➤ Warmtepomp



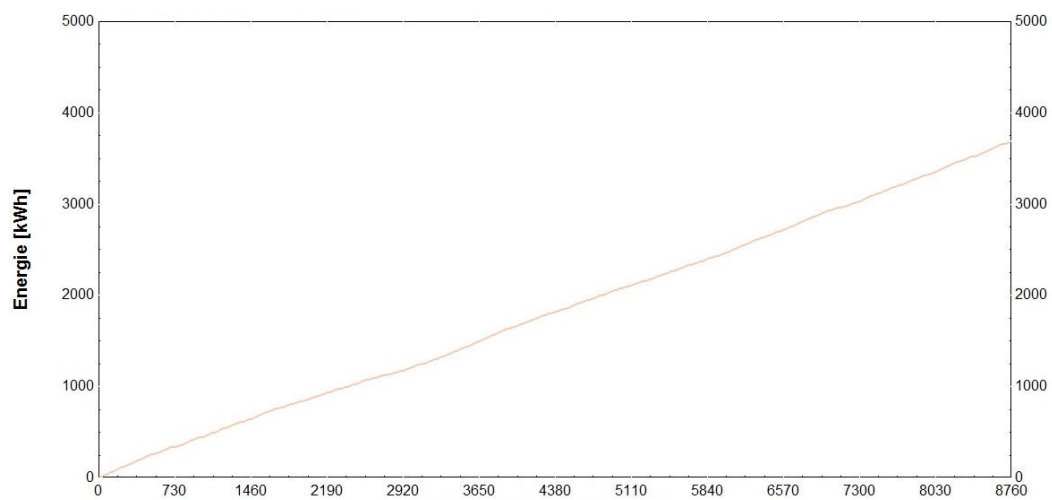
Figuur 87: Grafiek van het energieverbruik van de warmtepomp

➤ Elektronica



Figuur 88: Grafiek van het energieverbruik van de elektronica

➤ Elektrische weerstand van het warm buffervat



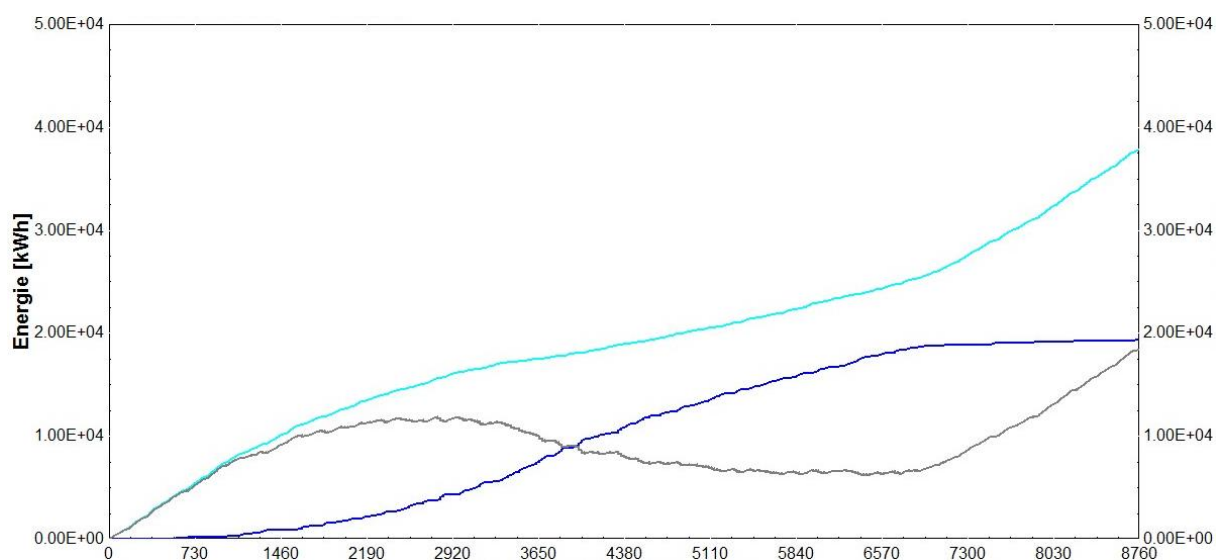
Figuur 89: Grafiek van het energieverbruik van de elektrische weerstand van het warm buffervat

Het enige systeem dat energie produceert, zijn de zonnepanelen. De energieproductie wordt weergegeven in figuur 84 in hoofdstuk 2.5.3. Het totaal energieverbruik of energieproductie per type wordt weergegeven in onderstaande tabel.

Type	Energieverbruik op jaarbasis [kWh]
Zonnepanelen	-43446
Ventilatoren	8394
Circulatiepompen	11759
Warmtepomp	9841
Elektronica	28302
Elektrische weerstand	3687
Totaal	18537

Tabel 71: Energieverbruik op jaarbasis

In onderstaande grafiek wordt door de lichtblauwe lijn de totale energie weergegeven die van het net gevraagd wordt en de donkerblauwe lijn geeft de energie weer die aan het net geleverd wordt. De grijze lijn is het verschil van de twee vorige lijnen. Dit is de energie die aan de leverancier betaald moet worden.



Figuur 90: Samenvatting van de energielevering

Door deze resultaten te toetsen aan gemiddelde energieverbruiken voor kantoorgebouwen uit referenties, kan bepaald worden hoeveel energie wordt bespaard door het toepassen van een dynamische sturing. Energievergelijken.nl besluit uit een onderzoek dat het jaarlijks energieverbruik van een kantoorgebouw, waar meer dan 20 mensen tewerkgesteld zijn, 20 m^3 gas per vierkante meter en 115 kWh elektriciteit per vierkante meter bedraagt. 1 m^3 gas kan gelijk gesteld worden aan 10,3 kWh uur elektriciteit, zodat het verbruik 206 kWh gas per vierkante meter wordt. Dit komt neer op een totaal jaarlijks energieverbruik van 321 kWh per vierkante meter. Ook andere referenties nemen deze waarden aan voor het gemiddeld energieverbruik per 1 m^2 vloeroppervlakte. Het kantoorgebouw dat in dit onderzoek gebruikt werd, bezit een vloeroppervlakte van 1000 m^2 . Door de vloeroppervlakte te vermenigvuldigen met het gemiddeld energieverbruik per vierkante meter, wordt een jaarlijks energieverbruik verkregen van 321000 kWh. (Energievergelijken.nl, 2015; Kwinten, 2014)

Het totaal energieverbruik van het kantoorgebouw, bekomen uit de simulatie, wordt verkregen door alle energieverbruiken van de verschillende verbruikers samen te tellen, zonder rekening te houden met de energieproductie van zonnepanelen. Hierdoor wordt een waarde van 61983 kWh bekomen. Dit is slechts 19,3% van het aangenomen gemiddelde energieverbruik voor kantoorgebouwen en komt overeen met een energiereductie van 80,7%. Niettemin moet er rekening gehouden worden met elektrische randapparaten die niet opgenomen zijn in deze energieanalyse. Hierdoor kan dit percentage nog sterk wijzigen.

Discussie

In dit onderdeel wordt een opsomming gemaakt van enkele zaken die verfijnd kunnen worden. In verband met het simuleren van vloerverwarming wordt er opgemerkt dat het ingeven van *active layers* niet kan gecombineerd worden met *heating types*. Hierdoor werd in het onderzoek een ander principe toegepast om de vloerverwarming te modeleren. Een mogelijke oplossing voor dit probleem is een tweede *multizone building* (type 56) inladen in Simulation Studio. In dit geval zal de ene component *heating types* moeten bezitten en de andere de vloerverwarming. De vloerverwarming wordt dan gecreëerd door de *active layers*. De noodzaak van dit eerste model bestaat er voornamelijk in het tweede model te controleren. Dit valt echter buiten de scope van deze masterproef.

In het onderzoek werd niet of nauwelijks rekening gehouden met de vochtigheid van de luchtstromen. Niettemin bevindt de gemiddelde relatieve temperatuur zich grotendeels in het aanvaardbaar gebied. Voor de waarden die buiten dit gebied vallen, moet een extra vochtstudie gemaakt worden. De luchtvochtigheid kan analoog aan de temperatuur beschouwd worden als een sturingsparameter voor het toevoerdebiet. Een andere oplossing is de huidige sturing behouden en een bevochtiger en ontvochtiger invoegen in Simulation Studio om zo de luchtvochtigheid te kunnen beheersen. Een component die hiermee samenhangt is de warmtewisselaar. Dit is een warmtewiel die de eigenschap heeft om de vochtigheid van de afvoerlucht door te geven aan de aanvoerlucht. Mede doordat er geen verdere studie gedaan wordt omtrent de vochtigheid, is deze eigenschap niet mee besproken en gecontroleerd.

Om het systeem dynamischer te ontwerpen, kan de sturing van voorkoeling en voorverwarming verbeterd worden. Hiervoor moet de koelbatterij en de verwarmingsbatterij gesplitst worden in verschillende batterijen per ventilatiekring. Hierdoor kan de gevraagde temperatuur veranderlijk ingegeven worden per zone.

Het laatste punt dat moet aangehaald worden, is de sturing van de zonnewering. Omdat de zon in de tussenseizoenen lager blijft, is de oppervlaktestraling op de zuidgevel groter in de tussenseizoenen dan in de zomer. Wetende dat de zonnewering gestuurd is op een grenswaarde voor de oppervlaktestraling, zal de zonnewering inschakelen in de tussenseizoenen, ook wanneer het niet nodig is.

Literatuurlijst

Algera. (2013). Airconomy. Geraadpleegd op 20 mei 2015, van <http://www.algera.nl/airconomy/>

Allinled. (2015). Voordelen van LED. Geraadpleegd op 4 augustus 2015, van http://www.allinled.nl/?page_id=237

Autodesk. (2015). Occupancy Schedules. Geraadpleegd op 15 mei 2015, van <http://knowledge.autodesk.com/>

Be Smart Energy. (2015). Werking PV-installatie. Geraadpleegd op 30 juni 2015, van <http://www.besmartenergy.be/index.php/technieken/zonnepanelen/installatie/>

BIM. (2011). Fotovoltaïsche zonne-energie werking en technologieën. Geraadpleegd op 30 juni 2015, van http://documentatie.leefmilieubrussel.be/documents/Mod3_Fonction_technologies_NL.PDF

Boonstra, J. (2015). AL-KO, Professionele lucht- en klimaatbehandeling. Geraadpleegd op 25 mei 2015, van <http://www.alkonl.com/index.php>

Calì, D., Matthes, P., Huchtemann, K., Streblow, R., & Müller, D. (2015). CO₂ based occupancy detection algorithm: Experimental analysis and validation for office and residential buildings. *Building and Environment*, 86(0), 39-49. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.12.011>

D'Oca, S., & Hong, T. (2015). Occupancy schedules learning process through a data mining framework. *Energy and Buildings*, 88(0), 395-408. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.065>

De Clercq, J. (2014). *Chemische Ingenieurstechnieken I* (pp. 320).

De Europese Commissie. (2015, 26/02/2015). Europa 2020. Geraadpleegd op 12/05/2015, van ec.europa.eu

Dejean, F. (2014). Country profile Belgium. Geraadpleegd op 12/05/2015, van http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/csr2015/nrp2015_belgium_en.pdf.

Devree, J. Balansventilatie. Geraadpleegd op 20 mei 2015, van <http://www.joostdevree.nl>

Devree, J. Warmtepomp. Geraadpleegd op 20 mei 2015, van <http://www.joostdevree.nl/shtmls/warmtepomp.shtml>

Dewitte, D. (2009). Analyse en simulatie binnenklimaat Unilin Flooring kantoorgebouw.

Dyck, J. V. (2012). Werking warmtepomp. Geraadpleegd op 20 mei 2015, van <http://www.warmtepompstechnieken.be/werking-warmtepompen/>

Dydell. (2015). Waarom is er een verbod op gloeilampen? Geraadpleegd op 4 augustus 2015, van http://www.dydell.com/nl/waar_en_onwaarheden/waarom_is_er_een_verbod_op_gloeilampen/

eandis. (2013). Haal uw warmte uit de natuur. Geraadpleegd op 20 mei 2015, van http://www.eandis.be/sites/eandis/files/documents/9010014_warmtepomp.pdf

EEA. (2014). Trends and projections in Europe 2014 - Tracking progress towards Europe's climate and energy targets for 2020. Retrieved from <http://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2014>.

Energie-technologie. (2010). Zonnepanelen. Geraadpleegd op 30 juni 2015, van <http://www.energie-technologie.nl/zonnepanelen.html>

Energie Vlaanderen. (2015). Bijlagen epb-regelgeving. Geraadpleegd op 7 juli 2015, van <http://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen/epb-voor-professionelen/epb-regelgeving/bijlagen>

Energievergelijken.nl. (2015). Energieverbruik kantoor. Geraadpleegd op 25 augustus 2015, van <https://www.energievergelijken.nl/nl/zakelijk/energieverbruik-kantoor>

Geelen, C., Krosse, L., Sterrenburg, P., Bakker, E., & Sijpheer, N. (2003). Handboek Energiepalen (pp. 93). Retrieved from http://www.pagina.novem.nl/downloads/114352/Handboek_Energiepalen.pdf

Glicksman, L. R., & Taub, S. (1997). Thermal and behavioral modeling of occupant-controlled heating, ventilating and air conditioning systems. *Energy and Buildings*, 25(3), 243-249. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)01019-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(96)01019-5)

Hong, T. (2014). Occupant Behavior: Impact on Energy Use of Private Offices.

KPE. (2013). De werking van een warmtepomp. Geraadpleegd op 20 mei 2015, van <http://kpe.nl/de-werking-van-een-warmtepomp-2/>

Kuypers, K. (2012). Warmte bewaren in een vat. Geraadpleegd op 20 mei 2015, van <http://www.habitos.be/nl/bouwen/warmte-bewaren-in-een-vat-5266/>

Kuypers, K. (2013). Verticale of horizontale grondwarmtewisselaars bij warmtepomp plaatsten? Geraadpleegd op 20 mei 2015, van <http://www.habitos.be/nl/bouwen/verticale-of-horizontale-grondwarmtewisselaar-bij-warmtepomp-plaatsen-9222/>

Kwinten, J. (2014). Energieverbruik voor bedrijfspanden. Geraadpleegd op 25 augustus 2015, van <http://www.onlinebedrijfsmakelaar.nl/energieverbruik-voor-bedrijfspanden/>

Lledd. (2015). Minder warmteontwikkeling. Geraadpleegd op 4 augustus 2015, van <http://www.lledd.be/nl/ecologisch/warmte/>

Maeyninckx, S. (2014). Naar een energetische en kostenoptimale nieuwbouw: inpassing van hernieuwbare energie in het gebouw. Geraadpleegd op 20 mei 2015, van http://www.bouwunie.be/bouwtoekomst/images/res425329_12.pdf

Mannaert, H., & Peremans, H. (2005). Kijk op elektronica: Acco.

Masoso, O. T., & Grobler, L. J. (2010). The dark side of occupants' behaviour on building energy use. *Energy and Buildings*, 42(2), 173-177. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.08.009>

Murakami, Y., Terano, M., Mizutani, K., Harada, M., & Kuno, S. (2007). Field experiments on energy consumption and thermal comfort in the office environment controlled by occupants' requirements from PC terminal. *Building and Environment*, 42(12), 4022-4027. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.05.012>

Philschatz. (2014). *Applications of Thermodynamics: Heat Pumps and Refrigerators*. Geraadpleegd op 20 mei 2015, van <http://philschatz.com/physics-book/contents/m42236.html>

Rensol. (2013). *Werking Zonnepanelen meer weten*. Geraadpleegd op 30 juni 2015, van <http://www.rensol.be/index.php/werking-zonnepanelen-meer-weten>

Robeyn, N., & Hoes, H. (2011). Bepaling van de thermische geleidbaarheid van geologische formaties en het opstellen van een geschiktheidskaart voor de toepassing van boorgatenergie-onttrekking via sondes (pp. 55). Retrieved from <https://www.vlaanderen.be/nl/publicaties/detail/bepaling-van-de-thermische-geleidbaarheid-van-geologische-formaties-en-het-opstellen-van-een-geschiktheidskaart-voor-de>

Schütz. (2015). *AARCONOMY - het multifunctioneel systeem*. Geraadpleegd op 20 mei 2015, van <http://www.schuetz.net/>

Selfmatic. *Balansventilatie (D) met warmterecuperatie*. Geraadpleegd op 20 mei 2015, van <http://www.selfmatic.be/nl/producten/ventilatie/balansventilatie-d.html>

Tronic. (2012). *Halfgeleider theorie*. Geraadpleegd op 30 juni 2015, van <http://wetenschap.infonu.nl/natuurkunde/100953-halfgeleider-theorie.html>

Van Beek, m. (2006). *Adaptieve temperatuurgrenswaarden-praktijkonderzoek naar de nieuwe Nederlandse richtlijn voor de beoordeling van het thermisch binnenklimaat in kantoorgebouwen*.

Viento bvba. (2008). *Balansventilatie*. Geraadpleegd op 20 mei 2015, van <http://www.viento.be/balansventilatie.htm>

Viesmann. (2015). *Eenvoudig principe, efficiënte werking*. Geraadpleegd op 20 mei 2015, van http://www.viessmann.be/nl/woningen/producten/Warmtepompen/Eenvoudig_principe.html

Wigpalen. (2012). *Energiepalen*. Geraadpleegd op 4 augustus 2015, van <http://www.wigpalen.be/energiepalen.asp?id=1&l>

Wikipedia. (2015, 24 maart 2015). *Doteren*. Geraadpleegd op 30 juni 2015, van <https://nl.wikipedia.org/wiki/Doteren>

WTCB. (2011). *EPB - Verwarming met warmtepompen*. Geraadpleegd op 20 mei 2015, van <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=infofiches&pag=48&art=4>

Zehnder. *Ventileren met Zehnder*. Geraadpleegd op 20 mei 2015, van <http://www.zehnder.be/nl/producten-en-systemen/ventilatie-systemen/meer-weten/werkingsprincipe>

Zhao, J., Lasternas, B., Lam, K. P., Yun, R., & Loftness, V. (2014). Occupant behavior and schedule modeling for building energy simulation through office appliance power consumption data mining. *Energy and Buildings*, 82(0), 341-355. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.033>

Zonnepanelen.net. (2014). Werking zonnepanelen? Algemene informatie over de werking van een zonnepaneel. Geraadpleegd op 30 juni 2015, van <https://www.zonnepanelen.net/werking/>

ZonnepanelenEnergie. (2015). Zonnepanelen. Geraadpleegd op 20 augustus 2015, van <http://zonnepanelenenergie.be/zonnepanelen/zonnepanelen>

Sturing van technieken in kantoorgebouwen: een energie-optimalisatie

Bijlagen

Jens Dewever, Sébastien Hendrieckx

Promotor: prof. Patrick Ampe

Begeleider: Hilde Witters

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master of Science in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Vakgroep Industriële Technologie en Constructie

Voorzitter: prof. Marc Vanhaelst

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur

Academiejaar 2014-2015



Sturing van technieken in kantoorgebouwen: een energie-optimalisatie

Bijlagen

Jens Dewever, Sébastien Hendrieckx

Promotor: prof. Patrick Ampe

Begeleider: Hilde Witters

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master of Science in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Vakgroep Industriële Technologie en Constructie

Voorzitter: prof. Marc Vanhaelst

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur

Academiejaar 2014-2015



Inhoudsopgave

Bijlage 1: Inputparameters TRNBuild	5
Bijlage 2: Outputparameters TRNBuild.....	8
Bijlage 3: Zones gelijkvloers.....	11
Bijlage 4: Zones eerste verdieping	12
Bijlage 5: technische fiche ventilatoren	13
Bijlage 6: technische fiche warmtepompen	25
Bijlage 7: technische fiche circulatiepompen.....	34
Bijlage 8: technische fiche zonnewering.....	47

Bijlage 1: Inputparameters TRNBuild

Code	Beschrijving
FSUPP_V1_A0_E5	massa aan lucht die wordt toegevoegd aan zone V1_A0_E5
TSUPP_V1_A0_E5	temperatuur van de toegevoegde lucht in zone V1_A0_E5
HSUPP_V1_A0_E5	luchtvochtigheid van de toegevoerde lucht in zone V1_A0_E5
FSUPP_V1_A5_H6	massa aan lucht die wordt toegevoegd aan zone V1_A5_H6
TSUPP_V1_A5_H6	temperatuur van de toegevoegde lucht in zone V1_A5_H6
HSUPP_V1_A5_H6	luchtvochtigheid van de toegevoerde lucht in zone V1_A5_H6
FIN_V1_C4_E5	massa aan lucht die wordt doorgevoerd naar zone V1_C4_E5
TIN_V1_C4_E5	temperatuur van de doorgevoerd lucht in zone V1_C4_E5
HIN_V1_C4_E5	luchtvochtigheid van de doorgevoerd lucht in zone V1_C4_E5
FIN_V1_B2_C5	massa aan lucht die wordt doorgevoerd naar zone V1_B2_C5
TIN_V1_B2_C5	temperatuur van de doorgevoerd lucht in zone V1_B2_C5
HIN_V1_B2_C5	luchtvochtigheid van de doorgevoerd lucht in zone V1_B2_C5
FSUPP_V1_B1_G2	massa aan lucht die wordt toegevoegd aan zone V1_B1_G2
TSUPP_V1_B1_G2	temperatuur van de toegevoegde lucht in zone V1_B1_G2
HSUPP_V1_B1_G2	luchtvochtigheid van de toegevoerde lucht in zone V1_B1_G2
FIN_V1_F2_G5	massa aan lucht die wordt doorgevoerd naar zone V1_F2_G5
TIN_V1_F2_G5	temperatuur van de doorgevoerd lucht in zone V1_F2_G5
HIN_V1_F2_G5	luchtvochtigheid van de doorgevoerd lucht in zone V1_F2_G5
FIN_V1_D2_F3	massa aan lucht die wordt doorgevoerd naar zone V1_D2_F3
TIN_V1_D2_F3	temperatuur van de doorgevoerd lucht in zone V1_D2_F3
HIN_V1_D2_F3	luchtvochtigheid van de doorgevoerd lucht in zone V1_D2_F3
FIN_V1_C3_F4	massa aan lucht die wordt doorgevoerd naar zone V1_C3_F4
TIN_V1_C3_F4	temperatuur van de doorgevoerd lucht in zone V1_C3_F4
HIN_V1_C3_F4	luchtvochtigheid van de doorgevoerd lucht in zone V1_C3_F4
FSUPP_V1_G2_H5	massa aan lucht die wordt toegevoegd aan zone V1_G2_H5
TSUPP_V1_G2_H5	temperatuur van de toegevoegde lucht in zone V1_G2_H5
HSUPP_V1_G2_H5	luchtvochtigheid van de toegevoerde lucht in zone V1_G2_H5
FSUPP_V1_H0_I6	massa aan lucht die wordt toegevoegd aan zone V1_H0_I6
TSUPP_V1_H0_I6	temperatuur van de toegevoegde lucht in zone V1_H0_I6
HSUPP_V1_H0_I6	luchtvochtigheid van de toegevoerde lucht in zone V1_H0_I6

Code	Beschrijving
FSUPP_V1_G0_H2	massa aan lucht die wordt toegevoegd aan zone V1_G0_H2
TSUPP_V1_G0_H2	temperatuur van de toegevoegde lucht in zone V1_G0_H2
HSUPP_V1_G0_H2	luchtvochtigheid van de toegevoerde lucht in zone V1_G0_H2
FSUPP_V2_C6_G7	massa aan lucht die wordt toegevoegd aan zone V2_C6_G7
TSUPP_V2_C6_G7	temperatuur van de toegevoegde lucht in zone V2_C6_G7
HSUPP_V2_C6_G7	luchtvochtigheid van de toegevoerde lucht in zone V2_C6_G7
FIN_V2_A4_C7	massa aan lucht die wordt doorgevoerd naar zone V2_A4_C7
TIN_V2_A4_C7	temperatuur van de doorgevoerd lucht in zone V2_A4_C7
HIN_V2_A4_C7	luchtvochtigheid van de doorgevoerd lucht in zone V2_A4_C7
FIN_V2_G2_I7	massa aan lucht die wordt doorgevoerd naar zone V2_G2_I7
TIN_V2_G2_I7	temperatuur van de doorgevoerd lucht in zone V2_G2_I7
HIN_V2_G2_I7	luchtvochtigheid van de doorgevoerd lucht in zone V2_G2_I7
FSUPP_V2_A4_C7	massa aan lucht die wordt toegevoegd aan zone V2_A4_C7
TSUPP_V2_A4_C7	temperatuur van de toegevoegde lucht in zone V2_A4_C7
HSUPP_V2_A4_C7	luchtvochtigheid van de toegevoerde lucht in zone V2_A4_C7
FSUPP_V2_G2_I7	massa aan lucht die wordt toegevoegd aan zone V2_G2_I7
TSUPP_V2_G2_I7	temperatuur van de toegevoegde lucht in zone V2_G2_I7
HSUPP_V2_G2_I7	luchtvochtigheid van de toegevoerde lucht in zone V2_G2_I7
FSUPP_V2_A0_B4	massa aan lucht die wordt toegevoegd aan zone V2_A0_B4
TSUPP_V2_A0_B4	temperatuur van de toegevoegde lucht in zone V2_A0_B4
HSUPP_V2_A0_B4	luchtvochtigheid van de toegevoerde lucht in zone V2_A0_B4
FSUPP_V2_G0_I2	massa aan lucht die wordt toegevoegd aan zone V2_G0_I2
TSUPP_V2_G0_I2	temperatuur van de toegevoegde lucht in zone V2_G0_I2
HSUPP_V2_G0_I2	luchtvochtigheid van de toegevoerde lucht in zone V2_G0_I2
FSUPP_V2_B1_G2	massa aan lucht die wordt toegevoegd aan zone V2_B1_G2
TSUPP_V2_B1_G2	temperatuur van de toegevoegde lucht in zone V2_B1_G2
HSUPP_V2_B1_G2	luchtvochtigheid van de toegevoerde lucht in zone V2_B1_G2
FIN_V2_F2_G6	massa aan lucht die wordt doorgevoerd naar zone V2_F2_G6
TIN_V2_F2_G6	temperatuur van de doorgevoerd lucht in zone V2_F2_G6
HIN_V2_F2_G6	luchtvochtigheid van de doorgevoerd lucht in zone V2_F2_G6
FIN_V2_D2_F3	massa aan lucht die wordt doorgevoerd naar zone V2_D2_F3
TIN_V2_D2_F3	temperatuur van de doorgevoerd lucht in zone V2_D2_F3
HIN_V2_D2_F3	luchtvochtigheid van de doorgevoerd lucht in zone V2_D2_F3

Code	Beschrijving
FIN_V2_E3_F5	massa aan lucht die wordt doorgevoerd naar zone V2_E3_F5
TIN_V2_E3_F5	temperatuur van de doorgevoerd lucht in zone V2_E3_F5
HIN_V2_E3_F5	luchtvochtigheid van de doorgevoerd lucht in zone V2_E3_F5
FIN_V2_C3_E5	massa aan lucht die wordt doorgevoerd naar zone V2_C3_E5
TIN_V2_C3_E5	temperatuur van de doorgevoerd lucht in zone V2_C3_E5
HIN_V2_C3_E5	luchtvochtigheid van de doorgevoerd lucht in zone V2_C3_E5
TEMP_GEV	de gevraagde temperatuur in het gebouw GEV
OCC_V1_A5_H6	ogenblikkelijke betetting in de zone V1_A5_H6
OCC_V1_A0_E5	ogenblikkelijke betetting in de zone V1_A0_E5
OCC_V1_G2_H5	ogenblikkelijke betetting in de zone V1_G2_H5
OCC_V1_H0_I6	ogenblikkelijke betetting in de zone V1_H0_I6
OCC_V2_A4_C7	ogenblikkelijke betetting in de zone V2_A4_C7
OCC_V2_A0_B4	ogenblikkelijke betetting in de zone V2_A0_B4
OCC_V2_G0_I2	ogenblikkelijke betetting in de zone V2_G0_I2
OCC_V1_C4_E5	ogenblikkelijke betetting in de zone V1_C4_E5
OCC_V1_G0_H2	ogenblikkelijke betetting in de zone V1_G0_H2
OCC_V2_C6_G7	ogenblikkelijke betetting in de zone V2_C6_G7
OCC_V2_G2_I7	ogenblikkelijke betetting in de zone V2_G2_I7
SHADING_N	Beschaduwning van de noordelijke gevel
SHADING_O	Beschaduwning van de oostelijke gevel
SHADING_S	Beschaduwning van de zuidelijke gevel
SHADING_W	Beschaduwning van de westelijke gevel

Bijlage 2: Outputparameters TRNBuild

Code	Beschrijving
TAIRV1_A0_E5	luchttemperatuur in de zone V1_A0_E5
TAIRV1_A5_H6	luchttemperatuur in de zone V1_A5_H6
TAIRV1_B2_C5	luchttemperatuur in de zone V1_B2_C5
TAIRV1_B1_G2	luchttemperatuur in de zone V1_B1_G2
TAIRV1_D2_F3	luchttemperatuur in de zone V1_D2_F3
TAIRV1_C3_F4	luchttemperatuur in de zone V1_C3_F4
TAIRV1_C4_E5	luchttemperatuur in de zone V1_C4_E5
TAIRV1_E4_F5	luchttemperatuur in de zone V1_E4_F5
TAIRV1_F2_G5	luchttemperatuur in de zone V1_F2_G5
TAIRV1_G2_H5	luchttemperatuur in de zone V1_G2_H5
TAIRV1_G0_H2	luchttemperatuur in de zone V1_G0_H2
TAIRV1_H0_I6	luchttemperatuur in de zone V1_H0_I6
TAIRV2_A4_C7	luchttemperatuur in de zone V2_A4_C7
TAIRV2_A0_B4	luchttemperatuur in de zone V2_A0_B4
TAIRV2_B2_C5	luchttemperatuur in de zone V2_B2_C5
TAIRV2_C3_E5	luchttemperatuur in de zone V2_C3_E5
TAIRV2_C5_E6	luchttemperatuur in de zone V2_C5_E6
TAIRV2_C6_G7	luchttemperatuur in de zone V2_C6_G7
TAIRV2_E5_F6	luchttemperatuur in de zone V2_E5_F6
TAIRV2_E3_F5	luchttemperatuur in de zone V2_E3_F5
TAIRV2_D2_F3	luchttemperatuur in de zone V2_D2_F3
TAIRV2_B1_G2	luchttemperatuur in de zone V2_B1_G2
TAIRV2_F2_G6	luchttemperatuur in de zone V2_F2_G6
TAIRV2_G0_I2	luchttemperatuur in de zone V2_G0_I2
TAIRV2_G2_I7	luchttemperatuur in de zone V2_G2_I7

Code	Beschrijving
ABSHUMV1_A0_E5	absolute luchtvochtigheid in de zone V1_A0_E5
ABSHUMV1_A5_H6	absolute luchtvochtigheid in de zone V1_A5_H6
ABSHUMV1_B2_C5	absolute luchtvochtigheid in de zone V1_B2_C5
ABSHUMV1_B1_G2	absolute luchtvochtigheid in de zone V1_B1_G2
ABSHUMV1_D2_F3	absolute luchtvochtigheid in de zone V1_D2_F3
ABSHUMV1_C3_F4	absolute luchtvochtigheid in de zone V1_C3_F4
ABSHUMV1_C4_E5	absolute luchtvochtigheid in de zone V1_C4_E5
ABSHUMV1_E4_F5	absolute luchtvochtigheid in de zone V1_E4_F5
ABSHUMV1_F2_G5	absolute luchtvochtigheid in de zone V1_F2_G5
ABSHUMV1_G2_H5	absolute luchtvochtigheid in de zone V1_G2_H5
ABSHUMV1_G0_H2	absolute luchtvochtigheid in de zone V1_G0_H2
ABSHUMV1_H0_I6	absolute luchtvochtigheid in de zone V1_H0_I6
ABSHUMV2_A4_C7	absolute luchtvochtigheid in de zone V2_A4_C7
ABSHUMV2_A0_B4	absolute luchtvochtigheid in de zone V2_A0_B4
ABSHUMV2_B2_C5	absolute luchtvochtigheid in de zone V2_B2_C5
ABSHUMV2_C3_E5	absolute luchtvochtigheid in de zone V2_C3_E5
ABSHUMV2_C5_E6	absolute luchtvochtigheid in de zone V2_C5_E6
ABSHUMV2_C6_G7	absolute luchtvochtigheid in de zone V2_C6_G7
ABSHUMV2_E5_F6	absolute luchtvochtigheid in de zone V2_E5_F6
ABSHUMV2_E3_F5	absolute luchtvochtigheid in de zone V2_E3_F5
ABSHUMV2_D2_F3	absolute luchtvochtigheid in de zone V2_D2_F3
ABSHUMV2_B1_G2	absolute luchtvochtigheid in de zone V2_B1_G2
ABSHUMV2_F2_G6	absolute luchtvochtigheid in de zone V2_F2_G6
ABSHUMV2_G0_I2	absolute luchtvochtigheid in de zone V2_G0_I2
ABSHUMV2_G2_I7	absolute luchtvochtigheid in de zone V2_G2_I7

Code	Beschrijving
RELHUMV1_A0_E5	relatieve luchtvochtigheid in zone V1_A0_E5
RELHUMV1_A5_H6	relatieve luchtvochtigheid in zone V1_A5_H6
RELHUMV1_B2_C5	relatieve luchtvochtigheid in zone V1_B2_C5
RELHUMV1_B1_G2	relatieve luchtvochtigheid in zone V1_B1_G2
RELHUMV1_D2_F3	relatieve luchtvochtigheid in zone V1_D2_F3
RELHUMV1_C3_F4	relatieve luchtvochtigheid in zone V1_C3_F4
RELHUMV1_C4_E5	relatieve luchtvochtigheid in zone V1_C4_E5
RELHUMV1_E4_F5	relatieve luchtvochtigheid in zone V1_E4_F5
RELHUMV1_F2_G5	relatieve luchtvochtigheid in zone V1_F2_G5
RELHUMV1_G2_H5	relatieve luchtvochtigheid in zone V1_G2_H5
RELHUMV1_G0_H2	relatieve luchtvochtigheid in zone V1_G0_H2
RELHUMV1_H0_I6	relatieve luchtvochtigheid in zone V1_H0_I6
RELHUMV2_A4_C7	relatieve luchtvochtigheid in zone V2_A4_C7
RELHUMV2_A0_B4	relatieve luchtvochtigheid in zone V2_A0_B4
RELHUMV2_B2_C5	relatieve luchtvochtigheid in zone V2_B2_C5
RELHUMV2_C3_E5	relatieve luchtvochtigheid in zone V2_C3_E5
RELHUMV2_C5_E6	relatieve luchtvochtigheid in zone V2_C5_E6
RELHUMV2_C6_G7	relatieve luchtvochtigheid in zone V2_C6_G7
RELHUMV2_E5_F6	relatieve luchtvochtigheid in zone V2_E5_F6
RELHUMV2_E3_F5	relatieve luchtvochtigheid in zone V2_E3_F5
RELHUMV2_D2_F3	relatieve luchtvochtigheid in zone V2_D2_F3
RELHUMV2_B1_G2	relatieve luchtvochtigheid in zone V2_B1_G2
RELHUMV2_F2_G6	relatieve luchtvochtigheid in zone V2_F2_G6
RELHUMV2_G0_I2	relatieve luchtvochtigheid in zone V2_G0_I2
RELHUMV2_G2_I7	relatieve luchtvochtigheid in zone V2_G2_I7
SQHEAT	de totale energievraag voor verwarming van alle zones in het gebouw

Bijlage 3: Zones gelijkvloers

Bijlage 4: Zones eerste verdieping

Bijlage 5: technische fiche ventilatoren



VENTILATOREN

INHOUDSTAFEL

u

Typhoon ventilatoren.....4

- Robuuste constructie
- Bewezen levensduur sinds 10-tallen jaren
- Conform de CE-normen / ATEX normen
- Trillingsvrij: statisch en dynamisch uitgebalanceerd
- Geluidsarm
- Prestatiecurves gemeten op onze eigen proefstand opgebouwd volgens de ISO-normen

UNIVERSEEL CONCEPT

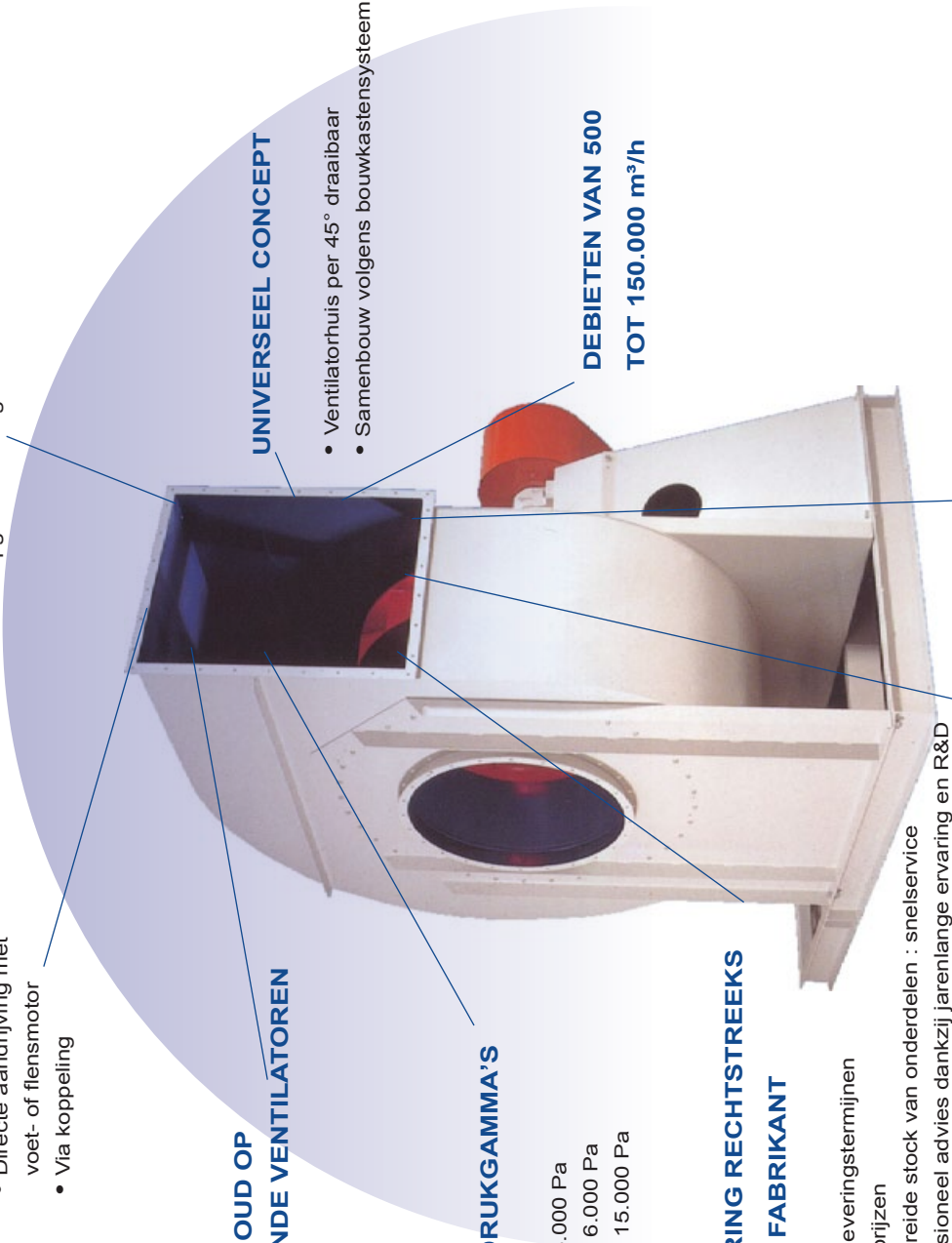
- Ventilatorhuis per 45° draaibaar

• 500 - 3.000 Pa
• 1.500 - 6.000 Pa
• 4.000 - 15.000 Pa

- Korte leveringstermijnen
- Lage prijzen
- Uitgebreide stock van omzetten
- Professioneel advies dan

- Zuivere lucht
- Rookgasafzuiging
- Stofafzuiging
- Materiaaltransport - ook voor sterk abrasief materiaal

- Staal
- Inox
- Aluminium



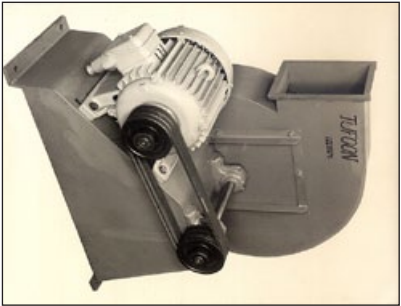
Tel. +32 (0)56 69 46 50
Fax +32 (0)56/75 46 60
BE 0435.942.843



TYPHOON VENTILATOREN

Reeds bij de aanvang van Typhoon in 1959 heeft de stichter Lucien Van Groeneweghe een doorgedreven R&D politiek gevoerd, en dit zeker op het gebied van industriële ventilatoren. Op deze manier is in de loop der jaren een uitgebreid gamma ventilatoren ontwikkeld die inzetbaar zijn in diverse sectoren en toepassingen. De ventilatoren zijn ontwikkeld met de volgende doelstellingen:

- Efficiënt
- Betrouwbaar
- Robuust
- 24/24 inzetbaar en onderhoudsvriendelijk
- Op uw maat gemaakt



Ventilator uit de beginjaren

Alle ventilatoren zijn opgebouwd uit gelaste onderdelen, die standaard verkrijgbaar zijn. De materiaalsoorten van de onderdelen kunnen variëren volgens de toepassing. Zo zijn er oplossingen voor diverse luchtstromen: gaande van zuivere lucht, abrasieve en agressieve luchtstromen, warme luchtstromen en rookgassen. Ook materiaaltransport is mogelijk met ventilatoren die uitgerust zijn met een open turbine.



Het gamma ventilatoren omvat:

- Axiaal ventilatoren
- Radiaal ventilatoren met:
 - Directe aandrijving
 - Aandrijving via riemoverbrenging
 - Aandrijving via flexibele koppeling

OPBOUW EN CONTRUCTIE VAN DE VENTILATOREN

Bij de opbouw van de ventilator is het belangrijk de juiste configuratie te kiezen.

-Ventilator huis:

Het ventilatorhuis kan in verschillende posities worden gemonteerd, afhankelijk van de lay-out van de installatie, dit in combinatie met de plaats van de motor ten opzichte van de aanzuig en uitblaasopening. (Zie fig. 1.1)

Het ventilatorhuis kan worden uitgerust met een nazichtdeur om eenvoudige inspecties toe te laten. Eveneens kan een afloop (drain) worden voorzien bij vochtige lucht indien condensatie in de luchtstroom kan optreden. Ingeval van agressieve luchtstromen wordt het huis vervaardigd uit inox 304 of 316. Bij ventilatoren die worden toegepast in abrasieve lucht of materiaaltransport, kan worden geopteerd om een vervangbare slijtplaat uit Semi-Manax of Creusbro te monteren. Bij alle ventilatorhuizen wordt speciale aandacht besteed aan de inlaatconus zodat een optimaal rendement wordt bekomen.

Bij grotere modellen kan het huis in 2 demonteerbare delen worden gemaakt om transportkosten te verminderen en eventueel het vervangen van een schoepenwiel eenvoudiger te maken.

-Ventilator Voet:

Bij de constructie van de ventilatorvoet (steunplaat aandrijfszijde) wordt steeds rekening gehouden met het nodige vermogen van de ventilator. Zo zal steeds een onderscheid worden gemaakt uit een gewone, zware als zeer zware uitvoering. Op deze manier worden trillingen tot een minimum herleid en bekomt men een betrouwbare en duurzame oplossing. Ook het grondkader wordt op deze manier uitgewerkt en is steeds warmbad gegalvaniseerd.

-Schoepenwiel:

Alle Typhoon schoepenwielen zijn het resultaat van meer dan 50 jaar ervaring en ontwikkeling. Zo is er een oplossing voor elke problematiek die een optimale efficiëntie nastreeft.

Typhoon beschikt over een 3D tekenpakket om alle mogelijke configuraties uit te werken. Zo hebben we eveneens de mogelijkheid bestaande schoepenwielen op te meten en vervangdelen te produceren voor uw bestaande ventilator.

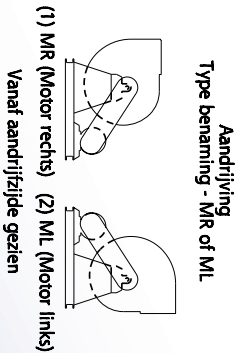
Afhankelijk van de toepassing kunnen speciale coatings aangebracht worden die de slijtweerstand verbeteren of eventueel het aanraken van materiaal verhinderen.

De ventilator as wordt vervaardigd uit CK45 materiaal, of eventueel roestvrij staal, en gelagerd met SKF lagers. Voor elke toepassing wordt de levensduur van de lagers geverifieerd waardoor wij garant staan voor een levensduur van minimum 20 000 uur bij correct gebruik.

Typhoon heeft de mogelijkheid schoepenwielen te produceren tot een diameter van 2600mm. Alle schoepenwielen worden dynamisch gebalanceerd volgens de norm ISO 1940/1 kwaliteitsgraad G6.3.

Motorstand	Standaard	Kaststanden

1.1 Oriëntatie van ventilatorhuis



TYPEBENAMINGEN VAN TYPHOON VENTILATOREN

OT	Open turbine voor transport van vezels en dergelijke
GT	Gesloten turbine voor ventilatie en eventueel transport van niet vezelachtige producten
DU	Directe aandrijving (DU) door voetmotor of door flensmotor
RU	Riemaandrijving
KU	Overbrenging via koppeling
Z of ZZ	Ventilator uitgerust voor hogere of zeer hoge vermogens en toerentallen. Enkel van toepassing bij ventilatoren met riemaandrijving (RUZ of RUZZ)
W	Extra optie voor ventilatoren, ontwikkeld voor ventilatoren bestemd op rookgassen of warme lucht (max. 300°C). Op de as is een koelschroef gemonteerd en de smering van de lagers gebeurt met een speciaal hittebestendig vet

S4-C of S6-C duidt op een slijtbestendige uitvoering voor toepassingen waarbij abrasief materiaal wordt getransporteerd:

S4-C	Het ventilatorhuis is uitgerust met een slijtplaat in Semi-Manax van 4 mm dikte. Het schoepenwiel is voorzien van schoepen in speciaal slijtbestendig staal van 6 mm dikte tot dia 700 mm. Voor schoepenwielen vanaf dia 800 mm is de schoepdikte 8 mm.
S6-C	Het ventilatorhuis is uitgerust met een slijtplaat in Semi-Manax van 6 mm dikte. Het schoepenwiel is voorzien van schoepen in speciaal slijtbestendig staal van 6 mm dik tot dia 700 mm. Voor schoepenwielen vanaf dia 800 mm is de schoepdikte 8 mm.

Bestelvoorbeeld: GT 550/56 RUZW S6-C

Het getal volgend op GT (of OT) komt overeen met de diameter (in mm) van de aanzuigopening in het ventilatorhuis en de typebenaming.

TYPES VENTILATOREN

Aandrijving

Afhankelijk van de toepassing van de ventilator kan gekozen worden uit 3 types van aandrijving:

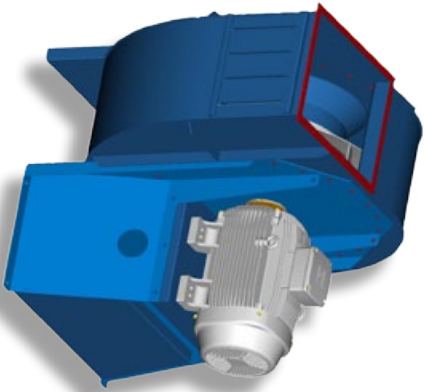
- Direct aangedreven (type DU)

Bij dit type wordt de turbine rechtstreeks gemonteerd op de as van de motor, in dit geval een flens- of voetmotor (naargelang het vermogen). Belangrijk is dus dat de turbine synchroon draait met de motor, maw een toerental van 1500rpm of 3000rpm voldoet aan de beoogde druk en debiet van de toepassing.

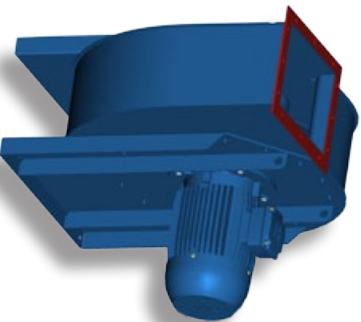
Voordeel:

- eenvoudige constructie
- lagere kost
- geen energieverliezen door de aandrijving
- geen mogelijkheid andere werkingpunten te kiezen
- de lagering is afhankelijk van de lagering van de motor

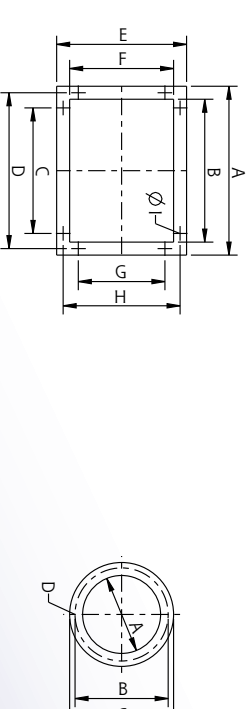
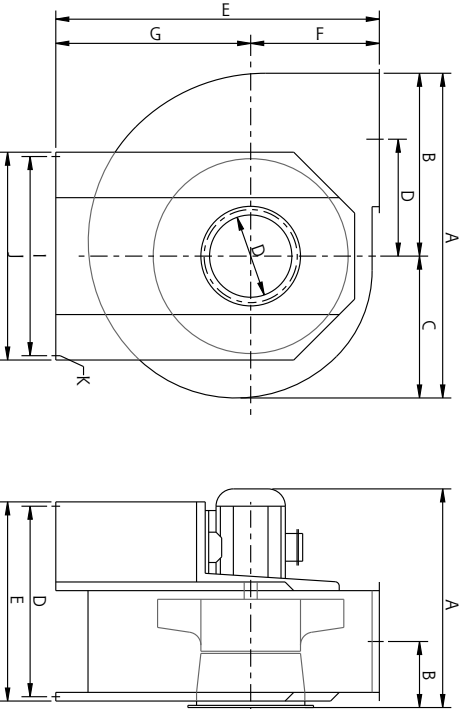
Nadeel:



Direct aangedreven ventilator met voetmotor.



Direct aangedreven ventilator met flensmotor.



* Maatschetsen en afmetingen zijn op aanvraag verkrijgbaar

TYPES VENTILATOREN

- Riem aangedreven (type RU)

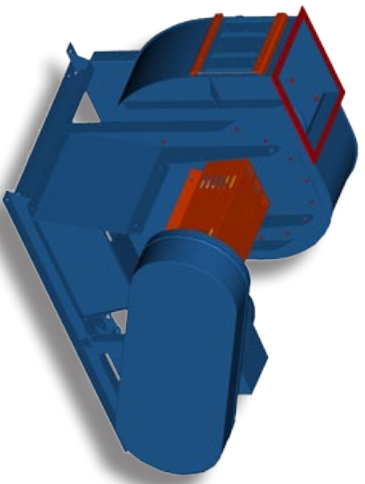
Een riemaangedreven ventilator wordt steeds gemonteerd op een robuust grondkader. De motor wordt met motorsleden gemonteerd (Typhoon ontwerp) om via riemen de as van het schoepenwiel aan te drijven. De riemoverbrenging wordt zodanig berekend dat het ideale werkingpunt van de ventilator wordt bereikt, met andere woorden het schoepenwiel kan asynchroon draaien tot de motor. Bij de keuze van de riemen en riemschijven zal steeds het motorvermogen, toerental en levensduur van de riemen in rekening gebracht worden.

Voordeel:

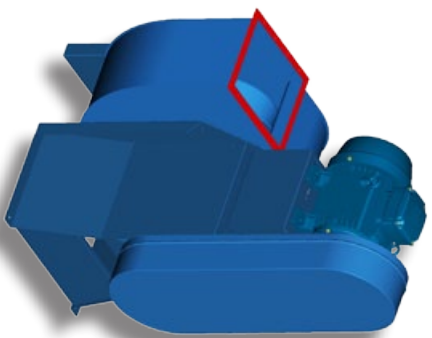
- keuze toerental en werkingpunt ventilator
- standaard opstelling
- eenvoudige constructie
- energieverliezen door riemoverbrenging bij grotere vermogens
- onderhoud aan riemen

Nadeel:

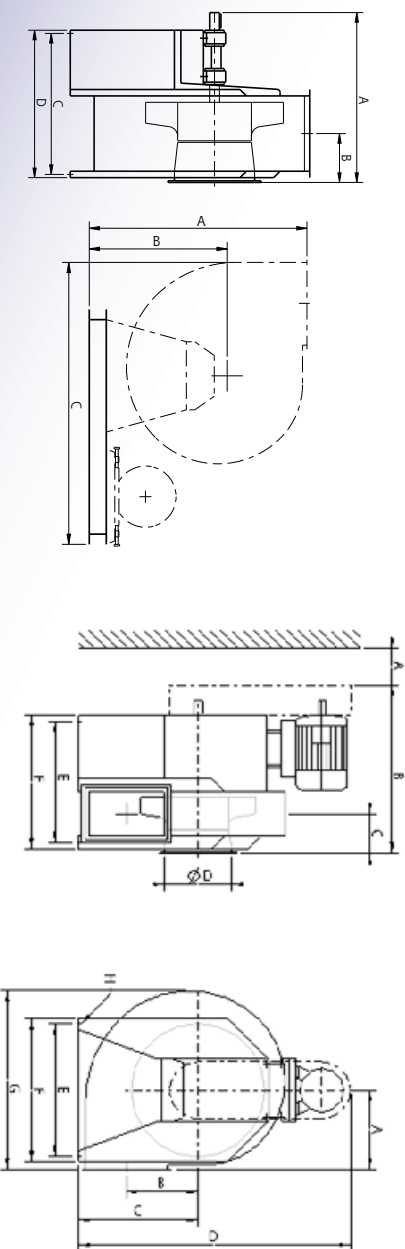
De compacte reeks **RUMB ventilatoren**, biedt een riemaangedreven uitvoering waar de motor bovenaan wordt geplaatst. Dit geeft het extra voordeel van plaatsbesparing.



Ventilator met standaard riemaandrijving



RUMB Ventilator (motor boven)



* Maatschetsen en afmetingen zijn op aanvraag verkrijgbaar

TYPES VENTILATOREN

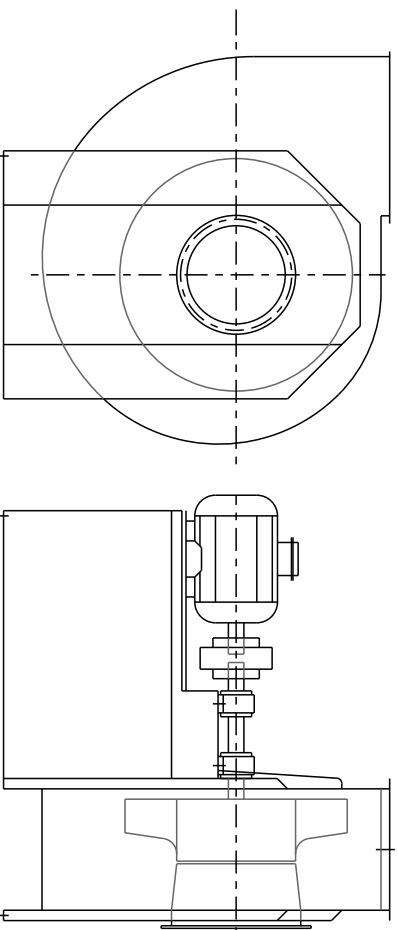
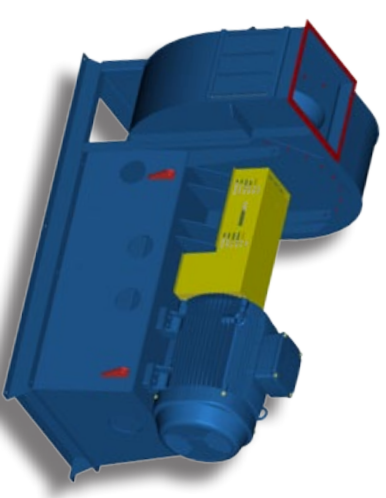
- Aangedreven via flexibele koppeling (type KU)

Van zodra grotere vermogens nodig zijn (vanaf 75kW) wordt een via koppel aangedreven ventilator de beste oplossing. De motor wordt op een versterkte voet geplaatst en drijft in-lijn de as van de ventilator aan via een flexibele koppeling. Deze ventilatoren zijn best geschikt voor een aansturing met een frequentieomvormer waardoor verschillen de werkingpunten mogelijk zijn om bijvoorbeeld met een variabel debiet te werken. Deze types zijn een alternatief voor de rechtstreeks aangedreven types, dit vooral wanneer het schoepenwiel te zwaar wordt voor de motor en dus extra lagering vereist is.

Voordeel:

- zeer betrouwbare en robuuste oplossing
- geen energieverliezen door de aandrijving
- geschikt voor frequentiesturing
- langere bouwvorm van de ventilatorstoel

Nadeel:



* Maatschetsen en afmetingen zijn op aanvraag verkrijgbaar

Ventilatoren op uw maat

Het is steeds mogelijk ventilatoren aan te passen of te ontwerpen die voldoen aan specifieke klantenvereisten. Zo kunnen klantspecifieke reeksen worden ontwikkeld die op afroep kunnen worden besteld.

SCHOEPENWIELEN

In elk type ventilator-aandrijvingen kunnen verschillende soorten turbines worden gemonteerd naar gelang de toepassing en het soort lucht/gas dat door de ventilator gaat. Alle turbines worden intern ontwikkeld en geproduceerd. Zo heeft Typhoon haar eigen gamma naven om de turbine te monteren op de as met behulp van een klembussysteem.

• Gesloten schoepenwiel (GT)

Het gesloten schoepenwiel GT geeft een hoog rendement voor de middendruk ventilatoren en is universeel inzetbaar in licht stoffige lucht. De zeer hoog rendement gesloten turbines zijn enkel in zuiver lucht inzetbaar. Voor hoge druk toepassingen is eveneens een gelaste versie van het gesloten schoepenwiel beschikbaar.

• Open schoepenwiel (OT)

De open turbine wordt ingezet in luchtstromen waar ook materiaaltransport gebeurt. Bij de open turbines kan gekozen worden uit verschillende materiaalsoorten:

- Gegoten aluminium met recht uitlopende schoepen, geschikt voor bijvoorbeeld transport van textielvezels
- Gelast met recht uitlopende schoepen
- Gelast met voorwaarts of achterwaarts gebogen schoepen, al dan niet met versterkingsring
- Gelast voor hoge druk toepassingen



Gesloten Schoepenwiel



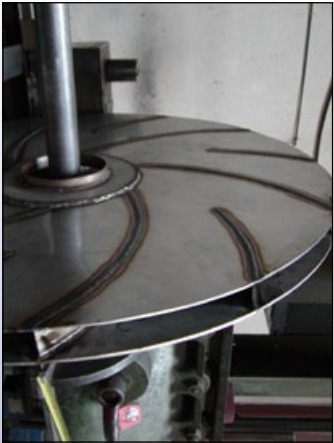
Open Schoepenwiel

UITGEBREID GAMMA SCHOEPENWIELEN STATISCH EN DYNAMISCH
UITGEBALANCEERD VOLGENS DE NORM ISO 1940/1 KWALITEITSGRAAD G 6,3

	Gesloten schoepenwiel voor hoog rendement middeldruk ventilatoren. Universeel inzetbaar.
	Open schoepenwiel voor transport van vezelachtige producten en moeilijk transporteerbaar materiaal.
	Open schoepenwiel van gegoten aluminium ingezet bij kleinere ventilatortypes voor moeilijk transporteerbaar materiaal zoals bv. textielvezels.
	Gesloten schoepenwiel voor hogedruktoepassingen.
	Open schoepenwiel voor hogedruktoepassingen.

Balanceren van een schoepenwiel

Ieder schoepenwiel word na het vervaardigen gecontroleerd op onbalans. Dit gebeurt met behulp van een machine die het gehele schoepenwiel uitbalanceert op de juiste rotatiesnelheden. Dit voorkomt storingen en trillingen op de ventilator en verlengt de levens-duur van het lager en motor.



MATERIALEN

Standard worden de ventilatoren vervaardigd uit staal, dat nadien wordt gelakt in industrielak. Bepaalde types worden gecoat in epoxyverf. De grondkaders worden steeds warmbadgealvaniseerd.

Op aanvraag is het mogelijk andere laklagen of kleuren te bekomen. Voor specifieke toepassingen zijn de ventilatoren verkrijgbaar in **inox 304L** of **316L**. Deze uitvoeringen kunnen volledig in inox zijn, of indien gewenst worden enkel de delen in contact met de luchtstroom in inox geproduceerd.

Slijtbestendige uitvoeringen voor toepassingen waarbij abrasief materiaal wordt getransporteerd bestaan uit:

Schoepenwielen zijn ook verkrijgbaar in verschillende materialen. Voor speciale toepassingen en hoge toerentallen, is het aangeraden om schoepenwielen uit aangepaste materialen te vervaardigen. Hiervoor vraagt u best de raad van onze ervaren ingenieurs.

Meest voorkomend:

- Staal
- Inox
- Aluminium
- Hardox / Creusabro (en andere slijtvaste materialen)

Accessoires op ventilatoren

-Nazichtdeuren

Deze deuren worden geplaat in het ventilatorhuis, zodat het mogelijk is om op een gemakkelijke manier de ventilator te controleren.

-Trillingsdempers

Deze trildempers worden geplaatst aan de voetsteun voor het voorkomen van trillingen.

-Soepele manchetten

Dit is een soepele verbinding die geplaatst kan worden tussen in-en/of uitgang ventilator en buisleidingsnet. Dit wordt toegepast om trillingen op het buisleidingsnet te voorkomen.



Voorbeeld van soepele manchetten

WARMTEUITVOERING

Bij warme luchtstromen en rookgassen (tot 350°C) wordt de ventilator uitgerust met een koelschroef op de as en zal steeds hittebestendig vet worden gebruikt in de lagers. Typhoon ontwikkelde eveneens een reeks schoepenwielen specifiek voor rookgas-ventilatoren.

MOTOREN

De keuze van de motor gebeurt in overleg met de klant. Zo worden de keuze van leverancier, efficiëntieklasse en bijkomende opties zoals temperatuursonde, geïsoleerd lager besproken. Bij hogere efficiëntieklasse kan een certificaat voor subsidie-aanvraag opgesteld worden. Onze ventilatoren kunnen ook voorzien worden van frequentiesturing op de motor.

Zo kan de rotatiesnelheid van het schoepenwiel traploos afgesteld worden op een optimaal werkpunt, zonder energieverlies van regelkleppen.

Dit zorgt voor een energiebesparing en een correcte debietregeling in het buizensysteem.

ATEX

TYPHOON produceert eveneens ventilatoren die volledig compatibel zijn met de ATEX-richtlijn 94/9/EG voor het gebruik in explosiegevaarlijke gebieden om ervoor te zorgen dat onze klanten in staat zijn om een veilige werkomgeving voor hun werknemers te garanderen.

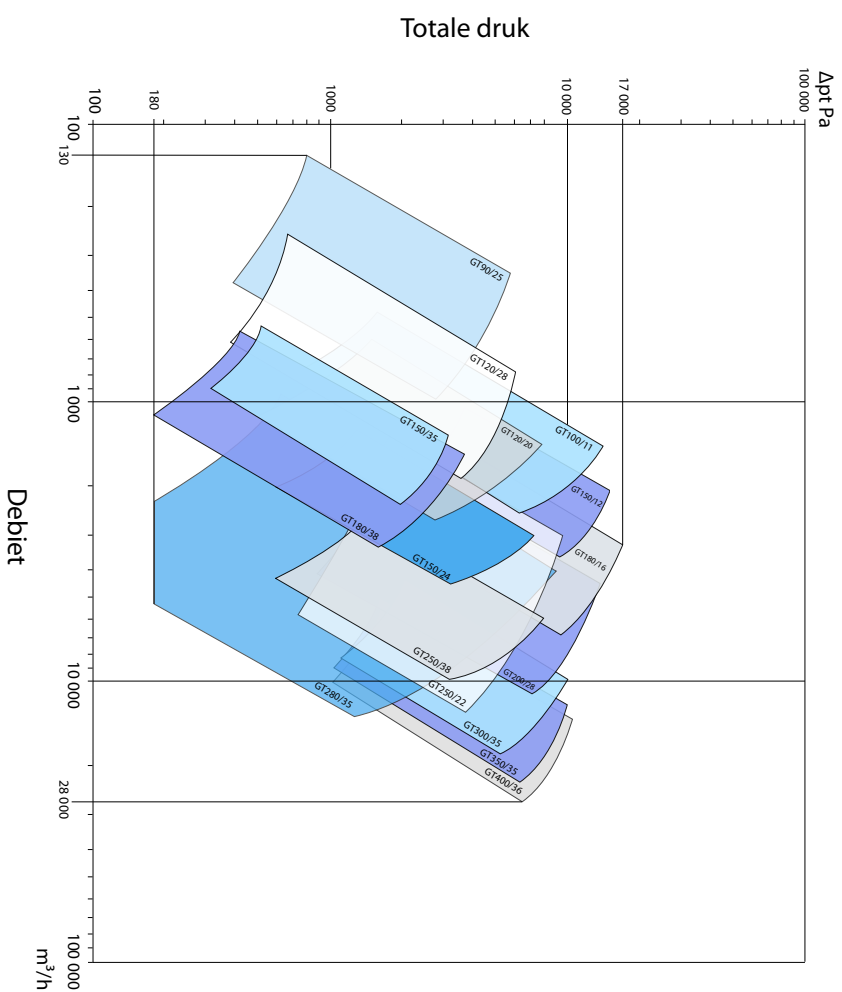
De Europese richtlijn 94/9/EG wordt aangeduid als "ATEX" (overgenomen van het Franse "Atmosphère Explosible"). Deze productrichtlijn heeft betrekking tot apparaten en beveiligingssystemen bedoeld voor plaatsen waar er een ontploffingsrisico heerst.

Het doel van deze richtlijn is het creëren van een reeks geharmoniseerde wettelijke veiligheidsnormen voor elektrisch en niet-elektrisch materiaal die worden gebruikt in explosieve atmosferen, en het vrije verkeer van dergelijke goederen in de Europese Unie (EU) en de Europese Economische Ruimte (EER) te vergemakkelijken. Er is ook een tweede ATEX-richtlijn inzake de veiligheid van bewerkingen, die ook in aanmerking moeten worden genomen door de eindgebruiker, Richtlijn 1999/92/EG (ATEX 137 of ATEX Workplace richtlijn).



Sinds 1 juli 2003 is deze richtlijn van toepassing op het gehele grondgebied van de EU en de EER. Alle nieuwe installaties moeten voldoen aan deze wetgeving. Daarnaast moeten alle bestaande installaties worden geanalyseerd en beoordeeld worden op risico met behulp van deze richtlijnen. Alle ventilatoren kunnen worden uitgevoerd voor toepassingen in explosie gevoelige omgevingen.

Bereik gesloten turbines voor hogedrukventilatoren



AXIAAL VENTILATOREN

Doormeter	Lengte in mm				Motor Kw.	Tr/min Vent.	Luchtdebiet in m³/h bij statische druk mm WK.					
	HVM	HSM	HVB	HSB			5	10	15	20	25	30
300	200	—	330	300	0,25	1500	2000	1200	—	—	—	—
300	200	—	330	300	0,37	3000	4200	3700	3000	—	—	—
400	240	—	330	300	0,37	1500	4150	3400	2000	—	—	—
500 (S)	200	—	330	—	0,25	1500	7066	3180	1945	—	—	—
500	240	240	330	300	0,75	1500	8100	7550	6500	—	—	—
600	240	240	420	335	1,50	1500	15100	13500	12900	11000	10000	—
700	240	300	420	420	2,20	1500	18000	16500	15500	13500	12000	—
800	300	—	450	—	4	1500	28500	27300	25900	24500	22000	—
800	300	—	450	—	2,20	1000	22000	20000	17500	15000	—	—
1000	550	—	670	—	7,5	1500	56000	54000	52000	50000	48000	46000
1000	550	—	670	—	4	1000	38000	35000	—	—	—	—
1200	500	—	750	—	3	500	39000	—	—	—	—	—

500 (S) Speciale uitvoering met laag geluidsniveau.

Gelieve in geval van bestelling te vermelden:
bv. type HSB.300 - 1500 T/min. - type HVB.800 - 1000 T/min.



Type HSB Ventilator met 2 flenzen voor inbouw tussen buisleiding.
Motor buiten luchtstroom, speciaal voor explosieve en bijtende gassen en dampen.

Type HVB Ventilator met 2 flenzen voor inbouw tussen buisleiding.

CO-ENGINEERING

Typhoon beschikt over een eigen studiedienst en jarenlange ervaring in luchttoepassingen en kan deze ten dienste stellen van uw specifieke project. Zo kunnen de nodige aanpassstukken, collectoren, regelkleppen, soepele manchettes mee worden voorzien en uitgewerkt. Desgewenst kunnen lay-out tekeningen worden gemaakt van de totale installatie en het leidingnet.



ONDERHOUD OP TYPHOON OF NIET TYPHOON VENTILATOREN

De installatieploegen van Typhoon kunnen ingezet worden voor zowel preventief als curatief onderhoud op de ventilatoren. Bij het preventieve onderhoud worden trillingsmetingen gedaan, uitlijning van lagers, vervangen van lagers, vervangen en balanceren van schoepenwielen. Herstellingen op maat aan ventilatorhuizen en andere onderdelen kunnen eveneens in onze werkplaats worden uitgevoerd. Zo kan er ook werk gemaakt worden om de standtijd van uw installatie te verhogen door inzetten van slijtbestendige materialen of coatings.



Bestelformulier voor ventilatoren

Datum _____

Bedrijf _____

Contact _____

Bereikbaar telefoonnummer _____

1. ONTWERPGEGEVENS

Bijtend materiaal ☐ Schurend ☐

Ontvlambaar ☐ Explosief ☐

Stof ☐ Houtkrullen ☐

Type stof: _____

Kwaliteit: _____

2. Gegevens

Debiet _____ m³ / h

Totale druk _____ Pa

Opvoerhoogte _____ m

Temperatuur: _____ °C

Werking _____ °C

Max: _____ °C

Min: _____ °C

ATEX: WEL/ NIET van toepassing ☐

Binnen in ventilator ☐

Buiten en rand ventilator ☐

Zonering : _____

Maximum geluidsdruk op 1 meter: 0,0 dB ☐

n.v.t. ☐

3. Accessoires

Nazichtdeur ☐ Condensafvoer ☐

Trildempers ☐

4. Materialen

Ventilatorhuis : _____

Schoepenwiel : _____

Naaf : _____

Klembus : _____

5. Orientatie

Motorstand	Kaststanden					
 MR	 R 0	 R 90	 R 270	 R 315	 R 45	 R 135
 ML	 L 0	 L 90	 L 270	 L 315	 L 45	 L 135

6. Opmerkingen

Contractuele voorwaarden van Tychphon

CONTRACTSVOORWAARDEN VAN DE FIRMA TYPHOON NV.

Alle overeenkomsten worden geregeld door de hierna volgende voorwaarden dit zalfe voor het geval dat deze modellellen worden verschillen van deze van de medecontractant. Afwijkingen van deze contractvoorwaarden kunnen slechts geldig worden ingetroepen na uitdrukkelijke en schriftelijke toestemming van onze leverancier.

Eventuele nietigheid of ongeldigheid van één van voornoemde clausules of onderdelen der clausules laat de andere gedeelten volkomen onaangetast.

1 – PRIJSTELLING

a) De prijzen worden vastgesteld op onze offertes zijn één maand geldig. Bij aanvraag of op twee maanden na het plaatsen van bestelling uitbaten. Al onze prijzen zijn „af fabriek“, zonder BTW en taksen, tenzij voortgaandelijk, uitdrukkelijk en schriftelijk anders overeengekomen.

b) Wij zijn steeds gerechtigd prijsverhogingen, ontstaan tussen het moment van de verkoopovergave en de levering ingevolge overheidsmatregelen, valutascommelingen op onze aankopen of prijsverhogingen vanwege onze leveranciers, door te rekenen.

2 – LEVERINGSVOORWAARDEN

a) De goederen worden beschouwd als geleverd vanaf het vertrek uit ons magazijn. Het vervoer gebeurt op risico van de medecontractant.

b) Hetzij anders vermeld, moeten de in de offerte opgegeven technische gegevens en bijkomende documentatie als benodigd worden beschouwd en zijn ze voor wijziging bij uitvoering vatbaar.

c) De in de bijzondere voorwaarden van het contract of bestelbon voorziene leveringstermijnen zijn indicatief van aard. Laatdijgheld bij de levering kan geen aanspraak worden gemaakt op annulatie van de bestelling noch tot schadevergoeding of strafrechtspraak, tenzij na ingevorderde en het verloop van een daaropvolgende gestelde termijn. Wijzigingen in de bestelling betekenen dat de voortgesette levering niet langer overeenkomstig is met de bestelling. Hetzelfde geldt voor wijzigingen in de omvang van de levering van het voorsteld en vanaf het oomblik dat de medecontractant alle dienelijke documenten heeft afgegeven en dat alle technische voorwaarden definitief gebond en goedgekeurd zijn.

3 – BESTELLING

Door te bestellen aanvaardt de medecontractant onze contractvoorwaarden. Niet onderkennen of parafieren van deze voorwaarden kan niet als reden worden aangehaald, om na de bestelling onze contractvoorwaarden te vervenpen of te bevestigen.

Van alle partijen die met ons overeenkomst aangaan, aanvaardt wij geen bestelvoorwaarden op bestels of andere geschriften die tegensprekend zijn met onze contractvoorwaarden.

Ieder contract dat niet binnen de 8 dagen na bestelling wordt gesloten wordt geannuleerd omval de sluitvrijgde aanvraag van onze contractvoorwaarden.

In geval dat de contractueel overeengekomen leveringstermijn dertijdig door de medecontractant wordt verlengd, behoudt Typhoon NV zich het recht voor de andere contractuele voorwaarden eveneens te herzien.

4 – BETALING

a) Betalingen anderszuidende schriftelijke overeenkomst, gelden volgende betalingsvoorwaarden.

b) Als betaling geldt de ontvangst van de betalingen te Beveeren, lée (België), tenzij in onze karabon tegen kwijting, hetzij door creditiering op onze Belgische bankrekening. De schuld is aldus draaibaar ten onzen maatschappelijke ziele. De betaling is slechts bevestigend nadat zij op onze rekening werd uitgevoerd.

c) Los geleverde goederen en diensten zijn betaalbaar binnen 30 dagen te rekenen vanaf het einde van de maand waarin de factuurdatum valt.

Voor installaties en maatwerk gelden volgende betalingsvoorwaarden :

30 % bij bestelling als bevestiging en voorschoot

30 % bij de levering der goederen en vóór aanvang van de montage

30 % bij het einde van de montagewerken

10 % op 30 dagen na inbedrijfname met een maximum van 3 maanden na plaatsing

tekennatie wordt een factuur bezorgd, betaalbaar als in vorige alinea

d) Verdriging in de betaling brengt automatisch opschorting van de leveringstermijn met zich mee.

e) In geval van gederde of gedeeltelijke nietbetaling van de schuld op de vervaldag zonder ernstige reden, wordt, na vergete ingebrekestelling, het schuldsaldo verhoogd met 12%, met een minimum van 75 EUR en een maximum van 1.480 EUR. Zelfs bij toekoming van termijnen van resp. als dekking van 75 EUR en 1.480 EUR.

f) In geval van nietbetaling op de vervaldag zal het bedrag van de factuur van rechtswege en zonder in gebrekestelling een interest optrengen van 1% per maand, en dit vanaf de hogerevermde vervall datum.

g) Iedere vertraging in de betaling van facturen op hun vervaldag kan aanleiding geven tot een orderbreking zonder schadeoosstelling of tot de annulering van het saldo van de lopende of nog uit te voeren bestellingen.

h) In geval van uitsel van betaling, van gerechtelijke verdeling, of van faillissement van de medecontractant, zal de levering van de lopende contracten noch door de medecontractant, noch door zijn rechthebenden kunnen worden geëist.

5 – EIGENDOMSVOORBEHOUD

Alle goederen en het materiaal blijven onze volle eigendom tot op de datum van volledige betaling van de prijs, zelfs indien zij onroerend geworden zijn door bestemming in order verzekering aan het recht op natekking. De medecontractant mag er dus op geen enkele manier over beschikken. Hij verbindt zich ertoe het materiaal te onderhouden als een goede huisvader en het ter beschikking te houden van Typhoon NV. In geval van inbedrijfname verbodt hij er zich toe kennis te geven van het contract, waarin de medecontractant is opgenomen, en Typhoon NV. Typhoon NV kan de goederen en het materiaal te goederen tijde van de levering van de medecontractant is verplicht de goederen te verzekeren. Typhoon NV kan het bewijs van deze verzekering en van de betaling van de premie eisen zolang de prijs niet volledig werd betaald.

6 – OVERMAGT

In geval van „vreemde oorzaak“ (art. 1147 B.W.), zelfs wanneer zij niet tot blijvende en/of vastreke onmogelijkheid van uitvoering leidt, zijn wij gerechtigd onze verplichtingen op te schorten of dertijdig te annuleren na de medecontractant hiervan te hebben verwittigd.

Wij kunnen uit hoogte hiervan dan ook niet tot schadevergoeding gehouden zijn tenzij de klant bewijst dat het feit in kwestie geen vreemde oorzaak uitmaakt. Worden order meer, door niet uitsluitend, conve-tioneel als „vreemde oorzaak“, beschouwd : oorlog,staking of lock-out, zware ongevallen, uitzonderlijke schraase van grondstoffen of energie, weersomstandigheden, natuur- en andere rampen, overheidse beslissingen die invloed hebben op de uitvoering van de door ons aangegane verbintenissen, en zelfs zowel bij ons als bij onze leveranciers.

7. De levering en de montagewerken vallen alleen onder onze aansprakelijkheid voor wat het door onze medewerkers of door andere personen van Typhoon NV wordt veroorzaakt. Hetzelfde geldt voor het aan uitsluitend onder aansprakelijkheid van deze laatste. Ons medecontractant levert onder de aansprakelijkheid van de medecontractant. Alle lijfwertes aan ons personeel door de medecontractant of zijn personeel veroorzaakt of welke hinder ook voort het in de kortst mogelijke tijd uitvoeren van onze montagewerken, wordt ten laste van de medecontractant gebracht.

8 – KLACHTEN / GEBREKEN

a) Elk zichtbaar gebrek of elke niet conformiteit betreffende onze leveringen of facturering dient binnen de acht dagen na levering schriftelijk en aangeleend aan ons te worden meegedeeld. Elke zichtbare of merkbare klacht betreffende de werking van onze installaties dient binnen de acht dagen na de eerste ingebruikname schriftelijk en aangeleend aan ons te worden meegedeeld.

b) Elke vordering wegens verborgen gebreken in het geleverde of in dienst gestelde materiaal moet op straffe van vervall binnen de 14 dagen na ontdekking van het gebrek ingediend worden maar maximaal ten laatste 6 maanden na levering of indienststelling van de installatie.

c) Gebreken buiten moeten duidelijk omschreven en schriftelijk worden meegedeeld, op straffe van onvooruitbetaald van de klacht. De klacht dient ook te vermelden naar de factuur onder besloten waarop de klacht is gericht.

d) Onze verantwoordelijkheid valt alleen het vervangen van foutieve door Typhoon NV geleverde stukken. Er kan uit hoogte van de waargenomen schadevergoeding worden geëist, het recht op schadevergoeding ontstaat slechts indien een fout vanwege Typhoon NV is aangetoond op tegenstelbare wijze.

9 – ASPECTEN TEN LASTE VAN DE MEDECONTRACTANT

Alle werken van burgerlijke bouwkunde :

o a., maar niet beperkend, het maken en dichten van dek- en/of muurovergangen, de nodige bevoensels voor het plaatsen van filters, ventilatoren, silo's enz.

- Het leveren en plaatsen van de elektrische kast en de bedrading voor de voeding van onze installaties :

- Ontbrekende of slecht werkende afzuigkapen op bestaande machines :

- Elektrische energie tijdens de montage :

- Alle formaliteiten om de voorgestelde installatie in de bestaande exploitatievergunning te laten opnemen ;

- De huur of het ter beschikking stellen van een heftruck, kraan en hoogwerker die door derden ter beschikking worden gesteld, van zware onderdelen, evenals het huren of ter beschikking stellen van een lokaal voor opslag van ons materiaal ;

- De werking voor de heftruck, kraan en hoogwerker die door derden ter beschikking worden gesteld, evenals de verzekering van het montage-materiaal dat eigendom is van Typhoon NV ;

- Extra kosten veroorzaakt door een moeilijke toegang tot de gebouwen of het niet klaar zijn van de burgerlijke werken ;

- Eventuele materialen voor het aansluiten van machines welke niet in onze aanbidding zijn opgenomen, worden als meerprijs aangerekend volgens de algemene catalogusprijs van Typhoon NV.

dit alles onverminderd uitdrukkelijke afwijking in de bestelling of bij aanvullende schriftelijke overeenkomst lopende de uitvoering.

10 – INBEDRIJFNAM

- De installatie mag slechts na goedkeuring van Typhoon NV in bedrijf worden genomen, anders vervalt de garantie.

- De medecontractant blijft onverminderd verantwoordelijk voor het gebruik van de afzuigkapen en lokale afzuiging op de machines.

- In het geval van overbelasting van de ventilatoren mag de bijstelling enkel door personeel van Typhoon NV worden uitgevoerd.

- Indien de elektrische last en de belasting door de medecontractant worden gemiddeld, en de volgende van de schakelingen niet volgens de richtlijnen van Typhoon NV worden uitgevoerd, is de medecontractant verantwoordelijk voor alle schadelijke gevolgen.

11 – VERZEKERINGEN

a. Transportverzekering valt volledig ten laste van de medecontractant en wordt enkel afgesloten op uitdrukkelijk verzoek.

b. Wat betreft de burgerlijke aansprakelijkheid uitbating, Onze waarborglimiet zijn beperkt tot 1.000.000 EUR per schadegeval, lichamelijke en materiële schade samengetomen.

c. Wat betreft de burgerlijke aansprakelijkheid na levering, Onze waarborglimiet, per schadegeval en per verzekeringjaar, zijn beperkt tot 1.000.000 EUR lichamelijke en materiële schade samengetomen.

d. Indien de medecontractant zou wensen dat de waarborgen hoger zouden zijn, dienen wij tenminste 14 dagen vóór de aanvang van de fabricatie of van de montage per aangeleend schrijven vermeldig te worden van de gewenste waarborgen. Anders verwerpen wij uitdrukkelijk alle schadeclaims welke hoger bedragen dan de bovengenoemde bedragen. De kosten voor de gebruikelijke bijpremie vallen dan ten laste van de medecontractant.

12 – GARANTIE ALGEMEEN

Onze garantietermijn bedraagt 12 maand na inbedrijfname en bij normale werking. Deze termijn wordt herdield tot 6 maand bij continuuwerk of driehoekseisbel.

De garantie geldt enkel voor constructiefouten aan de door Typhoon NV geleverde materialen.

Slijden in ventilatoren, cyclonen, sluzen of ingebouwde inleidingen en dergelijke zijn uitgesloten van elke garantie.

De producteekerheid is eveneens uitdrukkelijk uitgesloten uit onze garantie; productaverlies kan dus niet op Typhoon NV worden verhaal, evenals enige andere schade die het gevolg is van een foutieve werking tijdens de garantietijd.

GARANTIE VAN NIEUWE MACHINES EN ONDERDELEN EN VENTILATOREN

Wij garanderen de opdrachtgever alleen het correcte en goede mechanische functioneren van de complete machine binnen de hierna getoonde grenzen zonder de „vreemde elementen“, die aan onze machine aangebouw zijn.

Deze garantie is voor de ventilatoren, die in normale condities werken en op de voorgegeven spelheid en bij de normale werking. Hetzelfde geldt voor de ventilatoren die in andere omstandigheden worden gebruikt en slijden en corrosie. Eveneens uitgesloten van garantie zijn interventies naar aanleiding van oorschadigingen wegens schuldloosheid, gebrek aan controle of gebrek aan onderhoud van de gebruiker.

Toegedende garanties op de kenmerken van ventilatoren

Controle en proeven

a) Er kunnen proeven uitgevoerd worden op verzoek van de opdrachtgever. In de faciliteiten van Typhoon NV en vóór de levering. In dit geval zijn de kosten ten laste van de koper.

b) In het geval van bewijsing door de opdrachtgever van de prestaties van het materiaal na de levering, kan hij vragen dat er metingen uitgevoerd worden door Typhoon NV ter plaatse, voor zover het mogelijk is om uit te voeren tijdens de normale werking van de ventilator. In dat geval zijn de kosten ten laste van de opdrachtgever indien het bewijs geleverd wordt dat de voorgeschreven kenmerken van de ventilator wel degelijk gehaald worden binnen de hierna getoonde toleranties.

Debiet, rendement

De debieten en rendementen zijn deze volgens de norm DIN 24166 d. 2. De ventilator moet worden getest op de getoonde debieten en rendementen op een normale werking of op twee equivalente openingen die de equivalente opening voor normale werking ontastaren.

In bepaalde gevallen kan Typhoon NV kenmerken waargenomen die overeenstemmen met de ventilator op verschillende openingen. De toegelaten toleranties maken dan het voorwerp uit van een bijzondere overeenkomst met de koper. Ze zijn in principe ruimer dan deze opgelegd voor de opening tijdens normale werking.

Geluidsniveau van de ventilators

a) Voorwaarden

Het algemene geluidsniveau of de waarden in de verschillende octaven zijn het rekenkundige gemiddelde van de 7 meetpunten in het horizontale vlak gaande van de rotatie-as van de ventilator alleen gepaast in een oriëntie die wij veld. Deze bijzondere voorwaarden zijn immers de enige die we kunnen berekenen en bijgevoegde voorwerpen voor één enkele ventilator. Ze houden dus geen rekening met het weerkaatsingsgetied van het geluid dat gemaakt wordt door de aanrijfmaschine of door een storing stroomop- of stroomafwaarts (elbboogstuk- geperforeerde plaat- leischroep- afstelling- Ventur- verdeler- klep- blander - enz.).

b) Toegantes op onze garanties

De garanties en de geluidsniveaus zijn geldig op 3,4 db bovenop het gemiddelde algemene niveau, en op 4,5 db bovenop het niveau van de akoestische vermindering van de ventilator die alleen functioneert op de opening die overeenstemt met zijn gewaagde verminderingen.

De proeven voor de controle van de akoestische kenmerken gebeuren uitsluitend op kosten van de koper.

13 – GESCHILLENREGELING

In geval van betwisting zijn alleen de rechtbanken van het gerechtelijk arrondissement van Kortrijk bevoegd, tenzij wij verkiezen het geschil voor te leggen aan een andere rechter.

Op alle overeenkomsten is enkel het Belgisch recht van toepassing.

In geval het om internationale koop gaat, is het Weens Koopverdrag van toepassing uitgesloten.

Andere Typhoon componenten

- **Filters** (5000 tot 150 000 m³/h)
- **Doorvalsluizen**
 - Voor onder cycloon of filter
- **Doorvalsluizen** voor pneumatisch transport (500 kg -> 50 ton/ h)
 - met dichting in kunststof
 - met massive rotor
- **Messensluizen**
- **Cyclonen**
- **Dynamische condensors**
- **Hydrocyclonen**
- **Windzifters**
- **Buisleidingen in galva, staal en RVS**
- **Schuurtafels**
- **Spuitscabines**



Typhoon NV

8791 Beveren-Leie (Waregem)
België

tel: +32 (0)56 69 46 50
fax: +32 (0)56 75 46 60

www.typhoon.be

Info@typhoon.be

BE 0435.942.843



Bijlage 6: technische fiche warmtepompen

Viessmann België bvba
Hermesstraat 14
1930 Zaventem (Nossegem)
Tel.: 0800/999 40
Fax: 02/7251239
info@viessmann.be
www.viessmann.be

Viessmann Nederland B.V.
Lisbaan 8
2908 LN Capelle a/d IJssel
Postbus 322
2900 AH Capelle a/d IJssel
Tel.: 010-458 44 44
Fax: 010-458 70 72
E-mail : info@viessmann.nl
www.viessmann.nl

Technische gegevens Vitocal 300-G



Eentrapswarmtepomp Vitocal 300-G

Vitocal 300-G	Type	BW 121	BW 129	BW 145	WW 121	WW 129	WW 145
Vermogensgegevens (volgens EN 14511, Grond/water-warmtepomp: B0/W35 °C, spreiding 5 K of Water/water-warmtepomp: W10/W35 °C, spreiding 5 K)							
Nominaal vermogen	kW	21,2	28,8	42,8	28,1	37,1	58,9
Koelvermogen	kW	17,0	23,3	34,2	23,7	31,4	48,9
Elektrisch verbruik	kW	4,5	6,0	9,3	4,7	6,2	10,7
Rendement ε (COP) bij verwarming		4,7	4,8	4,6	5,9	6,0	5,5
Totale afmetingen							
Lengte x Breedte x Hoogte (met regeling)	mm	1085 x 780 x 1267					
Totaal gewicht	kg	282	305	345	282	305	345



Tweetrapswarmtepomp Vitocal 300-G

Vitocal 300-G	Type	BW 121 + BWS 121	BW 129 + BWS 129	BW 145 + BWS 145	WW 121 + WWS 121	WW 129 + WWS 129	BW 145 + WWS 145
Vermogensgegevens (volgens EN 14511, Grond/water-warmtepomp: B0/W35 °C, spreiding 5 K of Water/water-warmtepomp: W10/W35 °C, spreiding 5 K)							
Nominaal vermogen (Master/Slave)	kW	42,4	57,6	85,6	56,2	74,2	117,8
Koelvermogen	kW	34,0	46,6	68,4	47,4	62,8	97,8
Totale afmetingen							
Lengte x Breedte x Hoogte (met regeling)	mm	1085 x 780 x 1267					
Totaal gewicht							
Types BW / WW	kg	282	305	345	282	305	345
Types BWS	kg	277	300	340	277	300	340

Uw verwarmingsspecialist:

Verwarmen met natuurlijke warmte

VITOCAL 300-G

VIESSMANN

climate of innovation





De Vitocal 300-G is getest volgens het EHPA kwaliteitslabel voor warmtepompen.

Met de Vitocal 300-G kiest u voor een specialist voor grote eengezinswoningen en appartementsgebouwen. Deze warmtepomp maakt gebruik van de warmte die vlak voor uw deur voor het rapen ligt. En ze doet dat op maat van uw warmtebehoefte: als eentrapsgrond/water-warmtepomp van 21,2 tot 42,8 kW en als water/water-warmtepomp van 28,1 tot 58,9 kW.

Voor appartementsgebouwen of toepassingen die een hoog vermogen vragen, is de tweetraps Vitocal 300-G volgens het master/slave-principe de aangewezen oplossing. Deze haalt een verwarmingsvermogen van 42,4 tot 85,6 kW (grond/water) of van 56,2 tot 117,8 kW (water/water). Ook hier heeft men de keuze tussen grondwater of de aarde als warmtebron. Voor wie dit vermogen nog niet volstaat, kan via de in de regeling geïntegreerde cascadefunctie het vermogen worden opgevoerd tot maximaal 471,2 kW (water/water).

Doeltreffend en betrouwbaar

Het hart van de Vitocal 300-G is de krachtige Compliant Scroll-compressor. Deze overtuigt door zijn hoge bedrijfszekerheid en betrouwbaarheid. In combinatie met de ruim gedimensioneerde warmtewisselaars en de geïntegreerde koelmiddelverdeelinrichting, haalt de Vitocal 300-G hoge rendementswaarden en aanvoertemperaturen tot 60 °C.

Bijzonder stille werking en hoog rendement hoeven niet tegenstrijdig te zijn

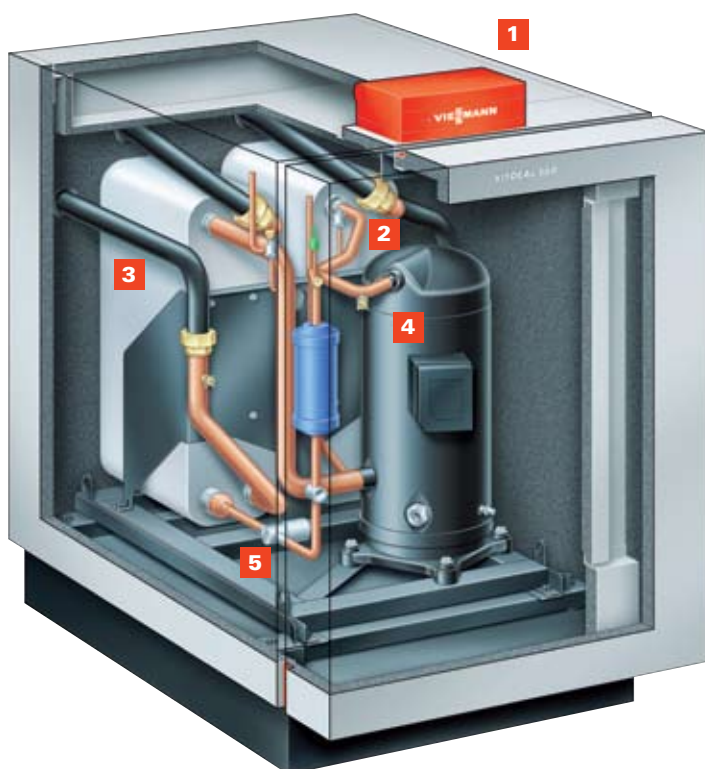
Dat bewijzen de Vitocal 300-G-toestellen overtuigend. Door de hermetisch afgedichte behuizing en een bijzonder geslaagde constructie werd een geluidsisolatie verkregen die de verwachtingen in dit vermogenssegment overtreft.

RCD-systeem: zorgt voor een optimale werking van de warmtepomp

RCD staat voor Refrigerant Cycle Diagnostic System. Het zorgt in de Vitocal 300-G voor een permanente controle van de koelkring en garandeert in combinatie met het elektronische expansieventiel de hoogste efficiëntie in elk werkpunt.

Ook perfect voor grote vermogens

Vooral bij een grotere warmtebehoefte is de Vitocal 300-G de beste keuze. Hiervoor kunnen verschillende aparte warmtepompen met elkaar worden verbonden via de toe- en afvoer van de verwarming. Dit zorgt niet alleen voor het gewenste hoge verwarmingsvermogen, ook de bedrijfszekerheid van de volledige installatie wordt op die manier verbeterd. De modulaire opbouw met aparte compressorkringen zorgt bovendien voor een bijzonder hoge efficiëntie in het deellastgebied en maakt gelijktijdige werking van verwarming en warmwaterbereiding mogelijk.



Vitocal 300-G

- 1 Weersafhankelijke, digitale warmtepomp-regeling Vitotronic 200, type WO1A
- 2 Condensator
- 3 Verdamper met grote oppervlakte voor efficiënte warmtewisseling
- 4 Hermetische Compliant Scroll-compressor
- 5 Elektronisch expansieventiel



Tweetraps Vitocal 300-G (master/slave) als grond/water- of water/water-warmtepomp

Modulaire oplossing voor hogere warmtebehoefte

Met drie beschikbare vermogenstrappen in master- of slave-uitvoering zijn talloze combinaties mogelijk die precies kunnen worden afgestemd op de warmtebehoefte. Deze grote variatiemogelijkheden en de behoeftegerichte configuratie optimaliseren de looptijden en garanderen een zuinige werking. De regeling van de slavemodule gebeurt door de mastermodule. Door verschillende vermogenstrappen te combineren, kan de gebruiker het milieuvriendelijke verwarmingssysteem met verschillende modules zo efficiënt mogelijk aanpassen aan zijn warmtebehoefte.

De voordelen op een rij

- Verwarmingsvermogen grond/water-warmtepomp eentrap: 21,2 tot 42,8 kW, tweetraps: 42,4 tot 85,6 kW, maximaal 342,4 kW
- Verwarmingsvermogen water/water-warmtepomp eentrap: 28,1 tot 58,9 kW, tweetraps: 56,2 tot 117,8 kW, maximaal 471,2 kW
- Hoge vermogenscoëfficiënten: COP*-waarde volgens EN 14511 tot 4,8 (primair 0 °C/water 35 °C)(COP = Coefficient of Performance = rendement)
- Aanvoertemperaturen tot 60 °C
- Monovalente werking voor verwarming en sanitair waterverwarming
- Lage werkingskosten en hoogste rendement in elk werkpunt door innovatief RCD-systeem (Refrigerant Cycle Diagnostic System) met elektronisch expansieventiel (EEV)
- Geluids- en trillingsarm door 3-D-geluidsconcept, geluidsniveau ≤ 44 dB(A)
- Met geïntegreerde energiebalans
- Menugestuurde warmtepompregeling Vitotronic 200 (type WO1A) voor weersafhankelijke verwarmingsregeling
- Eenvoudige plaatsing door kleine en lichte modules

* COP geeft de verhouding weer tussen de opgewekte "warmte energie" en de hoeveelheid "elektrische energie".

Grond/water warmtepomp
Water/water warmtepomp
VITOCAL 300-G

VIESSMANN
climate of innovation





De Vitocal 300-G pompen zijn gecertificeerd volgens het EHPA-kwaliteitslabel.

De warmtepomp Vitocal 300-G maakt gebruik van de hernieuwbare warmte uit de grond en het grondwater. Voor hoge vermogens is een tweetrapsversie verkrijgbaar.

De Vitocal 300-G haalt als eentraps grond/water-warmtepomp de warmte uit de grond. Hiervoor wordt een aardsonde of een aardcollector in de grond geplaatst. In beide gevallen neemt de warmtepomp ook op koude dagen moeiteloos de volledige energiebehoefte voor haar rekening.

Afhankelijk van de plaats van de woning bestaat eventueel ook de mogelijkheid de warmte uit het grondwater te benutten. Dan wordt de Vitocal 300-G gewoon voor werking als water/water-warmtepomp geconfigureerd. De warmtepomp is geschikt voor nieuwbouw en renovatie van een eengezinswoning of appartementsgebouw.

Hoog vermogen, stille werking

De krachtige Compliant Scroll-compressor van de warmtepomp Vitocal 300-G overtuigt door een hoge bedrijfszekerheid, betrouwbaarheid en een bijzonder stille werking. Dit is vooral te danken aan de dubbele geluidsisolatie die bestaat uit een trillingsisolatie tegen impactgeluid en een behuizingsisolatie tegen luchtgeluid. Tegelijkertijd garandeert de compressor ook een maximaal rendement (COP tot 5,0) en aanvoertemperaturen tot 65 °C (COP = Coefficient of Performance).

Het Refrigerant Cycle Diagnostic System (RCD) zorgt in de Vitocal 300-G voor een permanente controle van de koelkring en garandeert in combinatie met het elektronische expansieventiel het hele jaar een maximale efficiëntie.

Vitotronic 200 met energiebalans

Dankzij het tekst- en grafische display is de bediening van de Vitotronic 200 regeling eenvoudig en intuïtief. Daarnaast biedt ze ook de mogelijkheid van een geïntegreerde en gedifferentieerde energiebalans.

Modulaire oplossing voor hogere warmtebehoefte

Voor gebouwen met een wat hogere warmtebehoefte is de tweetraps Vitocal 300-G volgens het master/slave-principe de aangewezen oplossing. Deze installatie kan ook geconfigureerd worden voor grond en grondwater als warmtebronnen. In dit geval worden twee warmtepompen met elkaar verbonden. Dit zorgt niet alleen voor het gewenste hoge verwarmingsvermogen, maar ook de bedrijfszekerheid van de volledige installatie wordt op die manier verbeterd. De modulaire opbouw met aparte compressorkringen zorgt bovendien voor een bijzonder hoge efficiëntie in het deellastgebied en maakt gelijktijdige werking van verwarming en warmwaterbereiding mogelijk.

Met vijf vermogenstrappen in master- of slave-uitvoering zijn talloze combinaties mogelijk die precies zijn afgestemd op de warmtebehoefte. Deze grote variatiemogelijkheden optimaliseren de looptijden en garanderen een zuinige werking. De regeling van de slavemodule gebeurt door de mastermodule. Bovendien kan het volledige systeem worden uitgerust met zeer efficiënte circulatiepompen op gelijkstroom (energielabel A).



Vitocal 300-G

- 1** Warmtepompregeling Vitotronic 200
- 2** Condensor
- 3** Verdamer met groot oppervlak voor efficiënte warmtewisseling
- 4** Zeer efficiënte pomp
- 5** Hermetische Compliant Scroll-compressor



Display van de warmtepompregeling Vitotronic 200

De voordelen op een rij

- Maximale efficiëntie voor nieuwbouw en renovatie van eengezinswoningen of appartementsgebouwen
Grond/water-warmtepomp:
Vermogen: eentrap: 5,7 tot 17,2 kW, tweetrap: 11,4 tot 34,4 kW
Water/water-warmtepomp:
Vermogen: eentrap: 7,5 tot 22,6 kW, tweetrap: 15 tot 45,2 kW
- Lage bedrijfskosten door hoog vermogen: COP*-waarde volgens EN 14511 tot 5,0 (Grond 0 °C/Water 35 °C) (COP = Coefficient of Performance) en geïntegreerde zeer efficiënte pompen (bij Vitocal 300-G, Type BWC en WWC)
- Maximale aanvoertemperatuur tot 65 °C
- Het hele jaar door een hoge efficiëntie dankzij het innovatieve RCD-systeem met elektronische expansieklep
- Uiterst stille werking < 45 dB (A) door geluidsoptimaliseerd ontwerp
- Vitotronic 200 regeling met energiebalans
- Master/Slave-oplossingen voor een zeer grote variabiliteit, bv. combinatie van Vitocal 300-G en 350-G
- Voorbereid voor SmartGrid en gebruik van zelf opgewekte stroom via fotovoltaïsche installatie

* COP geeft de verhouding weer tussen de opgewekte "warmte-energie" en de hoeveelheid "elektrische energie".

Viessmann België bvba
Hermesstraat 14
1930 Zaventem (Nossegem)
Tel.: 0800/999 40
Fax: 02/7251239
info@viessmann.be
www.viessmann.be

Viessmann Nederland B.V.
Lisbaan 8
2908 LN Capelle a/d IJssel - Postbus 322
2900 AH Capelle a/d IJssel
Tel.: 010-458 44 44 - Fax: 010-458 70 72
E-mail : info@viessmann.nl
www.viessmann.nl

Technische gegevens Vitocal 300-G



Entraps grond/water-warmtepomp Vitocal 300-G

Vitocal 300-G	Type	BW 301.B06 BWC 301.B06	BW 301.B08 BWC 301.B08	BW 301.B10 BWC 301.B10	BW 301.B13 BWC 301.B13	BW 301.B17 BWC 301.B17
Vermogensgegevens (volgens EN 14511, B0/W35 °C, spreiding 5 K)*						
Nominaal warmtevermogen	kW	5,69	7,64	10,36	12,99	17,24
Koelvermogen	kW	4,54	6,13	8,43	10,57	13,85
Elektrisch verbruik	kW	1,24	1,62	2,07	2,60	3,65
Rendement ε (COP) bij verwarmen		4,60	4,71	5,01	5,00	4,73
Aanvoertemperatuur	°C	65	65	65	65	65
Afmetingen						
Lengte (diepte)	mm	844	844	844	844	844
Breedte	mm	600	600	600	600	600
Hoogte (bedieningseenheid opengeklapt)	mm	1155	1155	1155	1155	1155
Gewicht						
Type BW	kg	113	117	129	135	148
Type BWC	kg	123	127	139	145	158



Entraps water/water-warmtepomp Vitocal 300-G**

Vitocal 300-G	Type	BW 301.B06 BWC 301.B06	BW 301.B08 BWC 301.B08	BW 301.B10 BWC 301.B10	BW 301.B13 BWC 301.B13	BW 301.B17 BWC 301.B17
Vermogensgegevens (volgens EN 14511, W10/W35 °C, spreiding 5 K)*						
Nominaal warmtevermogen	kW	7,51	10,18	13,51	16,89	22,59
Koelvermogen	kW	6,35	8,74	11,60	14,46	19,17
Elektrisch verbruik	kW	1,24	1,55	2,05	2,61	3,68
Rendement ε (COP) bij verwarmen		6,05	6,58	6,58	6,46	6,15
Aanvoertemperatuur	°C	65	65	65	65	65
Afmetingen						
Lengte (diepte)	mm	844	844	844	844	844
Breedte	mm	600	600	600	600	600
Hoogte (bedieningseenheid opengeklapt)	mm	1155	1155	1155	1155	1155
Gewicht						
Type BW	kg	113	117	129	135	148
Type BWC	kg	123	127	139	145	158



Vitocal 300-G als 2e trap (slave)

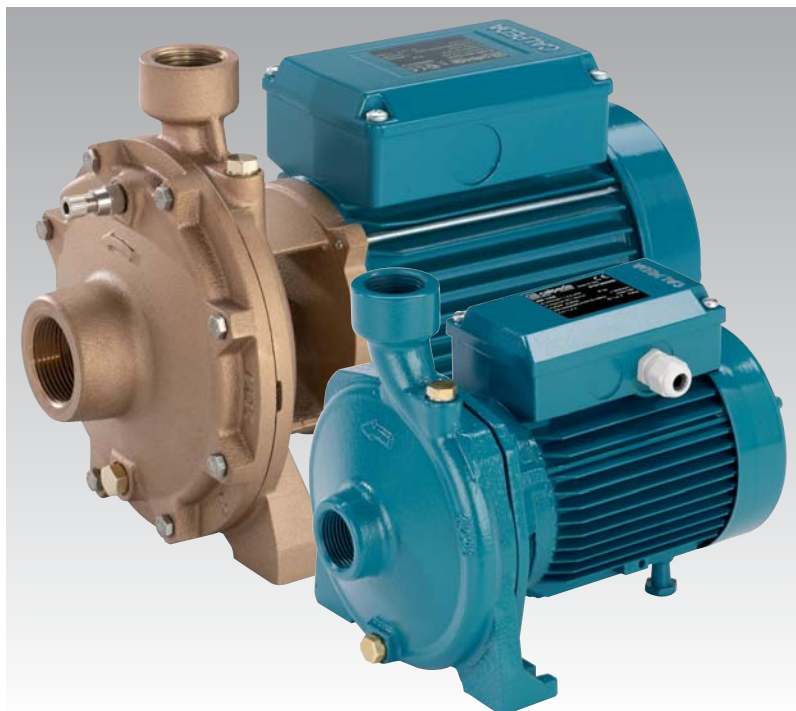
Vitocal 300-G	Type	BWS 301.B06	BWS 301.B08	BWS 301.B10	BWS 301.B13	BWS 301.B17
Vermogensgegevens (volgens EN 14511, B0/W35 °C, spreiding 5 K)*						
Nominaal warmtevermogen	kW	5,69	7,64	10,36	12,99	17,24
Koelvermogen	kW	4,54	6,13	8,43	10,57	13,85
Elektrisch verbruik	kW	1,24	1,62	2,07	2,80	3,65
Rendement ε (COP) bij verwarmen		4,60	4,71	5,01	5,00	4,73
Aanvoertemperatuur	°C	65	65	65	65	65
Afmetingen						
Lengte (diepte)	mm	844	844	844	844	844
Breedte	mm	600	600	600	600	600
Hoogte (bedieningseenheid opengeklapt)	mm	1155	1155	1155	1155	1155
Gewicht						
	kg	109	113	125	131	144

* in combinatie met zeer efficiënte pomp

** grond/water-warmtepomp met aanpassingskit (toebehooren) voor omschakeling op water/water-warmtepomp

Uw installateur:

Bijlage 7: technische fiche circulatiepompen



Construction

Close-coupled, centrifugal pumps; electric motor with extended shaft directly connected to the pump.

NM: single-impeller

NMD: with two back-to-back impellers (with axial thrust balancing).

Connections: threaded ports ISO 228/1 (BS 2779).

NM, NMD: version with pump casing and lantern bracket in cast iron.

B-NM, B-NMD: version with pump casing and lantern bracket in bronze.
(the pumps are supplied fully painted).

Applications

- For clean liquids without abrasives, which are non-aggressive for the pump materials (solids content up to 0.2%).
- For water supply.
- For heating, air-conditioning, cooling and circulation plants.
- For civil and industrial applications.
- For fire fighting applications.
- For irrigation.

Operating conditions

Liquid temperature from -10 °C to +90 °C.

Ambient temperature up to 40° C.

Total suction lift up to 7 m.

Maximum permissible working pressure up to 10 bar
(16 bar for pumps NMD 25/190; NMD 32/210; NMD 40/180).
Continuous duty.

Motor

2-pole induction motor, 50 Hz (n = 2900 rpm).

NM, NMD: three-phase 230/400 V $\pm$ 10% up to 3 kW;
400/690 V $\pm$ 10% from 4 to 9,2 kW;

NMM, NMDM: single-phase 230 V $\pm$ 10%, with thermal protector.
Insulation class F. Protection IP 54.

Classification scheme IE2 for three-phase motors from 0,75 kW.
Constructed in accordance with EN 60034-1; EN 60034-30.
EN 60335-1, EN 60335-2-41.

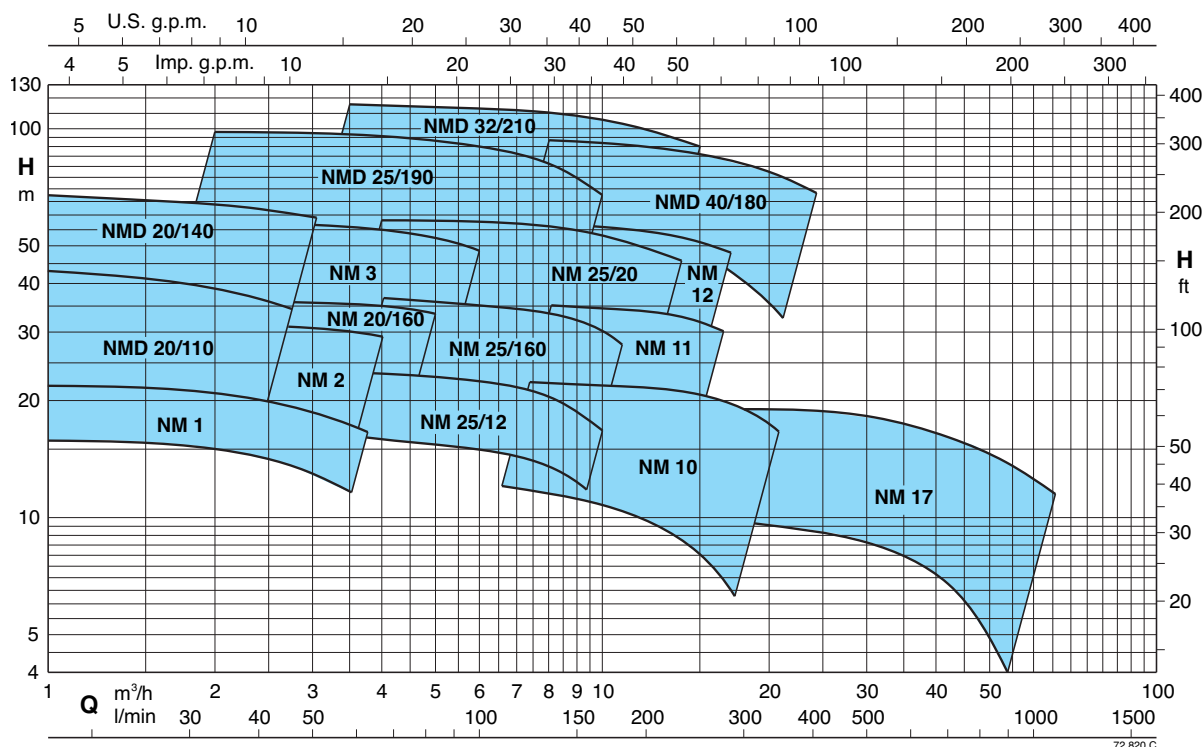
Special features on request

- Other voltages.
- Frequency 60 Hz (as per 60 Hz data sheet).
- Protection IP 55.
- Special mechanical seal
- Higher or lower liquid or ambient temperatures.
- Motor suitable operation with frequency converter.

Materials

Components	NM, NMD	B-NM, B-NMD
Pump casing Lantern bracket	Cast iron GJL 200 EN 1561	Bronze G-Cu Sn 10 EN 1982
Impeller	Brass P- Cu Zn 40 Pb 2 UNI 5705	
NM 17	Cast iron GJL 200 EN 1561	Bronze G-Cu Sn 10 EN 1982
Shaft	Cr steel AISI 430 Cr Ni steel AISI 303 1,1 -1,5 - 2,2 kW	Cr Ni Mo steel AISI 316
Mechanical seal	Carbon - Ceramic - NBR	

Coverage chart n $\approx$ 2900 rpm



Performance $n \approx 2900$ rpm

	NM	P ₂		Q m³/h	1	1,2	1,5	1,89	2,4	3	3,6	4,2	4,8	5,4	6	6,6	7,5	8,4
		kW	HP		16	20	25	31,5	40	50	60	70	80	90	100	110	125	140
				l/min														
	NM 1/AE●	0,37	0,5	H m	22	21,6	21,3	20,9	20,3	19,4	18,1	16,3						
	NM 2/B/A●	0,55	0,75		27	26,5	26	25,5	25	24	23	22	20					
	NM 2/S/A●	0,55	0,75		31	30,5	30	29	27,5	25,5	23,5	20	16					
	NM 2/A/A●	0,75	1		33,5	33	32,5	32	31,5	30,5	29,5	28,5	27	26	24			
	NMM 3/CE	1,1	1,5			37,5	37,5	37	36,5	36	35	34	32					
	NM 3/CE	1,1	1,5			37,5	37,5	37	36,5	36	35	34	32	30,5*	28,5*			
	NMM 3/BE	1,5	2			42	42	41,5	41	40,5	40	39	37	35*	32*			
	NM 3/BE	1,5	2			47	47	46,5	46	45,5	45	44	43	41,5*	40*	37,5*	33*	26*
	NMM 3/A	1,8	2,5			47,5	47,5	47	46,5	46	45,5	44,5	43,5	42*	40,5*	38*	33,5*	26,5*
	NM 3/A/A	2,2	3			56	55,5	55,5	55	54,5	53,5	52,5	51,5	50*	48*	46*	42*	36*

B-NM B-NMD	NM NMD	P ₂		Q m³/h	1	1,2	1,5	1,89	2,4	3	3,6	4,2	4,8	5,4	6	6,6	7,5	8,4
		kW	HP		16	20	25	31,5	40	50	60	70	80	90	100	110	125	140
				l/min														
B-NMD 20/110B/A●	NMD 20/110B/A●	0,45	0,6	H m	33	32	31	29	26,5	23	18							
B-NMD 20/110Z/A●	NMD 20/110Z/A●	0,55	0,75		37	36	35	33	30,5	27,5	23	18*						
B-NMD 20/110A/A●	NMD 20/110A/A●	0,75	1		43	42	40,5	39	36,5	33	29	25*						
B-NMDM 20/140BE	NMDM 20/140BE	1,1	1,5		52	51,5	51	50	48,5	47	45							
B-NMD 20/140BE	NMD 20/140BE	1,1	1,5		53	52,5	52	51	50	48	46	43,5	40					
B-NMDM 20/140AE	NMDM 20/140AE	1,5	2		57,5	57	56,5	55,5	54	51,5	49	46	43	40	36			
B-NMD 20/140AE	NMD 20/140AE	1,5	2		67	66,5	66	64,5	63	61,5	59	57	53,5	50	46			
B-NM 20/160BE●	NM 20/160BE●	0,75	1					30,5	30	29,5	28,5	27,5	26,5	25,5	24	22*		
B-NM 20/160AE●	NM 20/160AE●	1,1	1,5					36	35,5	35	34,5	33,5	32	30,5	29	27*		

B-NM B-NMD	NM NMD	P ₂		Q m³/h	2,4	3	3,6	4,8	6	6,6	7,5	8,4	9,6	10,8	12	13,2	15	16,8
		kW	HP		40	50	60	80	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280
				l/min														
B-NM 25/12B/A●	NM 25/12B/A●	0,55	0,75	H m	20	19,9	19,8	19,3	18,5	18	17,3	16,3	15*	13,2*	11*			
B-NM 25/12A/A●	NM 25/12A/A●	0,75	1		23,5	23,4	23,3	22,9	22,1	21,7	20,9	20	18,7*	17,1*	15,2*			
B-NM 25/160BE●	NM 25/160BE●	1,1	1,5			31	30,7	30	28,5	28	27	26	23					
B-NM 25/160AE●	NM 25/160AE●	1,5	2			36,5	36,2	35,5	34,5	34	33,5	32,5	31	28,5*	26*			
B-NM 25/200B/A	NM 25/20B/A	2,2	3			42,5	42	41	40	39,5	38,5	37,5	36	33*	29*			
B-NM 25/200A/A	NM 25/20A/A	3	4			50	49,7	49	48	47,5	47	46,5	45,5	44*	42*	39*		
B-NM 25/200S/A	NM 25/20S/A	4	5,5			59	58,5	58	57,5	57	56,5	55,5	54,5	53	51,5	49*	44,5*	37*
B-NMD 25/190C/A	NMD 25/190C/A	2,2	3		62	60,5	59	55,5	51	48,5	44	38*						
B-NMD 25/190B/A	NMD 25/190B/A	3	4		76	75	74	70	66	64	60	54	46*					
B-NMD 25/190A/A	NMD 25/190A/A	4	5,5		98	97	96	93,5	90	88	84	79	70*					

	NM	P ₂		Q m³/h	6,6	7,5	8,4	9,6	10,8	12	13,2	15	16,8	18,9	21	24	27	30
		kW	HP		110	125	140	160	180	200	220	250	280	315	350	400	450	500
				l/min														
	NM 10/FE●	0,55	0,75	H m	12,5	12,5	12	11,5	11	10	9	7,5						
	NM 10/DE●	0,75	1		18	18	17,5	17	16,5	16	15,5	14						
	NM 10/AE●	1,1	1,5		23	23	22,5	22	21,5	21	20,5	19						
	NM 10/SE●	1,5	2		23,5	23,5	23	22,5	22	21,5	21	20,5	19*	18,5*	16,5*	13*		
	NMM 11/BE	1,5	2		26,5	25,5	25	24	23	22,5	21,5	19,5	17,5					
	NM 11/BE	1,5	2		29,5	29,5	29	28,5	27,5	27	26	25*	22,5*					
	NM 11/A/A	2,2	3		35,5	35,5	35	34,5	34	33,5	33	32*	30*					
	NM 12/D/A	2,2	3		38	37,5	37	36	35	33,5	32							
	NM 12/C/A	3	4		45	44,5	44	43,5	42,5	41	40	38	36*					
	NM 12/A/A	4	5,5		57,5	57	56	55,5	55	54,5	53,5	51,5	49*					

Performance $n \approx 2900$ rpm

B-NMD	NMD	P ₂		Q m³/h l/min	5,4	6	6,6	7,5	8,4	9,6	10,8	12	13,2	15	16,8	18,9	21	24
		kW	HP		90	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	315	350	400
B-NMD 32/210D/A	NMD 32/210D/A	4	5,5	H m	71	69	67,5	65	62,5	58	53	46	37*					
B-NMD 32/210C/A	NMD 32/210C/A	5,5	7,5		84	83	82	81	79	76	73	69	64*	54*				
B-NMD 32/210B/A	NMD 32/210B/A	7,5	10		104	103	102	100	98	95	92	88	84*	76*				
B-NMD 32/210A/A	NMD 32/210A/A	9,2	12,5		114	113	112	110	108	105	103	99	96*	90*				
B-NMD 40/180D/A	NMD 40/180D/A	4	5,5					60	59,5	57	56	53	51,5	48	44	39	34*	25*
B-NMD 40/180C/A	NMD 40/180C/A	5,5	7,5					69	68	67	66	64,5	63	60	57	53	48*	40*
B-NMD 40/180B/A	NMD 40/180B/A	7,5	10					87	86	85	84	82,5	81	78	75	71	66*	59*
B-NMD 40/180A/A	NMD 40/180A/A	9,2	12,5					94	93	92	91	89,5	88	85	82	78	74*	67*

B-NM	NM	P ₂		Q m³/h l/min	21	24	27	30	33	37,8	42	48	54	60	66	75	84	96
		kW	HP		350	400	450	500	550	630	700	800	900	1000	1100	1250	1400	1600
B-NM 17/HE●	NM 17/HE●	1,1	1,5	H m	9,5	9,2	9	8,6	8,2	7,5	6,7	5,5	3,5*					
B-NM 17/GE●	NM 17/GE●	1,5	2		12	11,7	11,5	11,2	11	10,3	9,7	8,5	7*	4*				
B-NM 17/F/A	NM 17/F/A	2,2	3			16	16	15,5	15	14,5	14	13	11,5*	10*	8*			
B-NM 17/D/A	NM 17/D/A	3	4				18	18	17,5	17	16,5	15,5	14*	13*	11,5*			

NM, NMD Standard construction.
B-NM, B-NMD Bronze construction.

P₂ Rated motor power output.
H Total head in m.

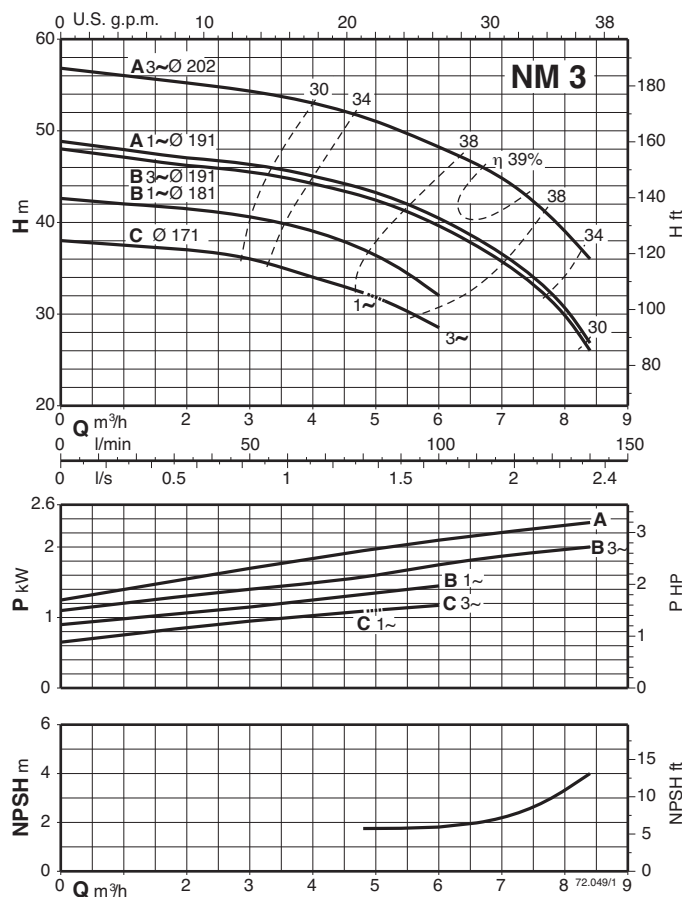
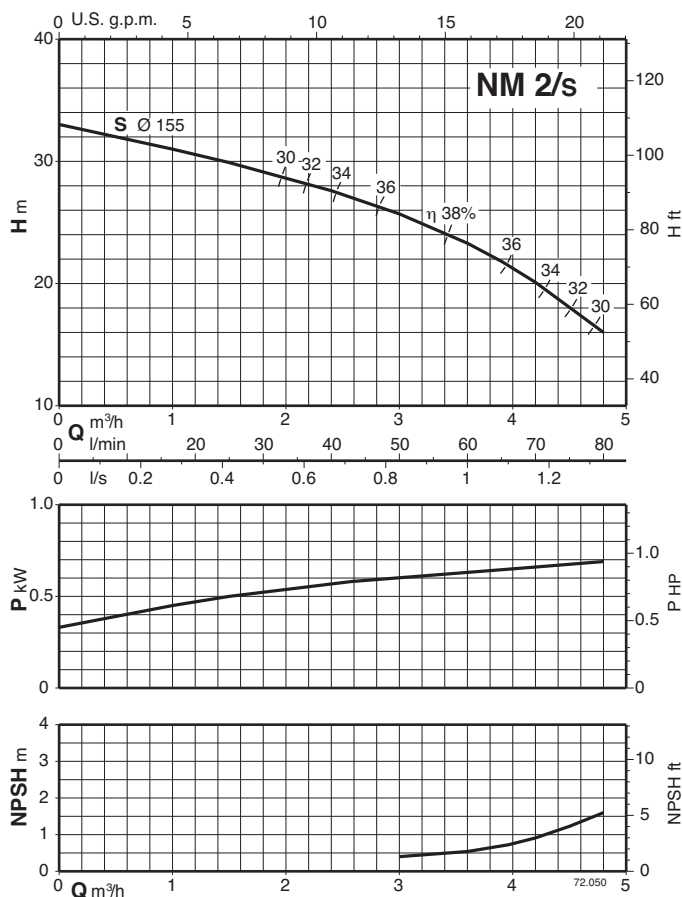
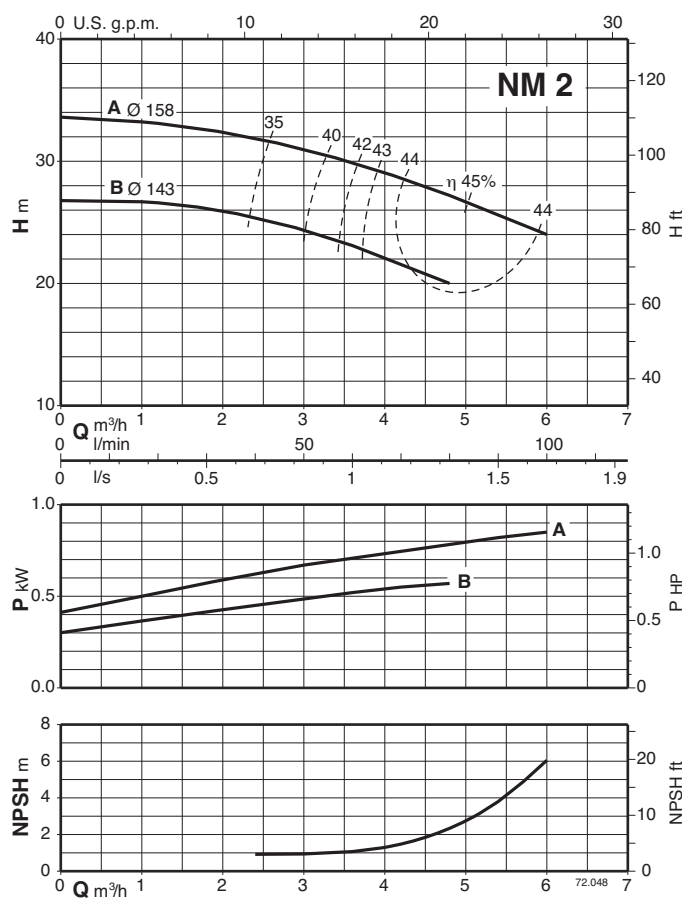
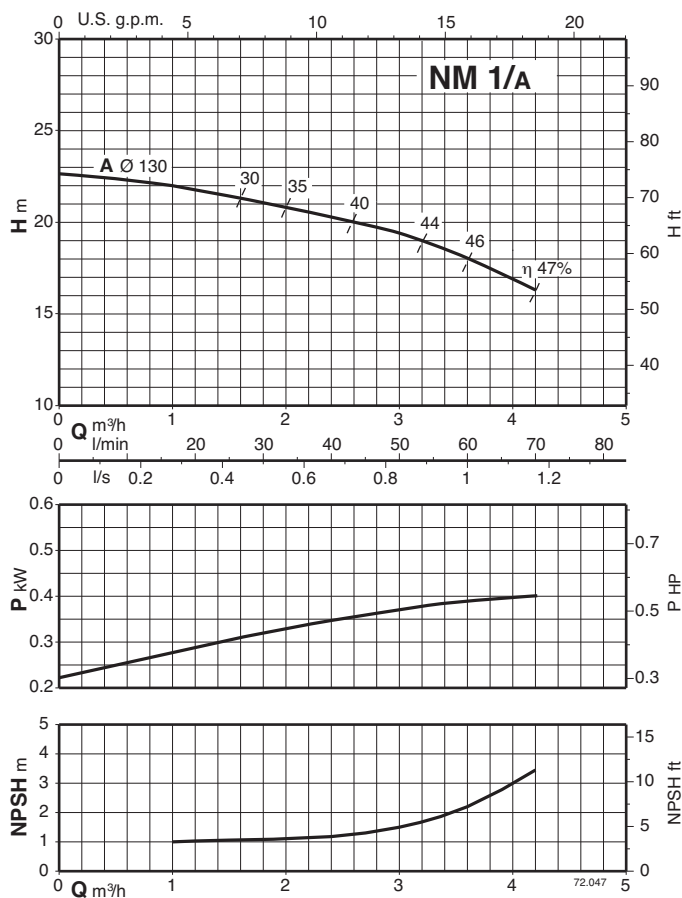
● With single-phase motor = NMM - NMDM.
* Maximum suction lift 1-2 m.
Tolerances according to ISO 9906, annex A.

Rated currents

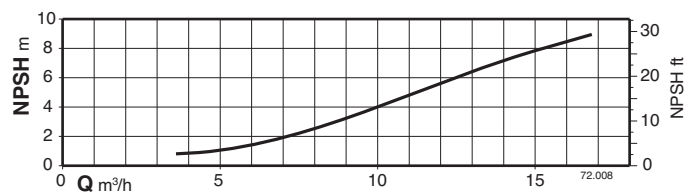
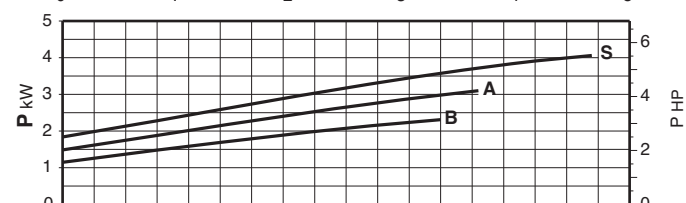
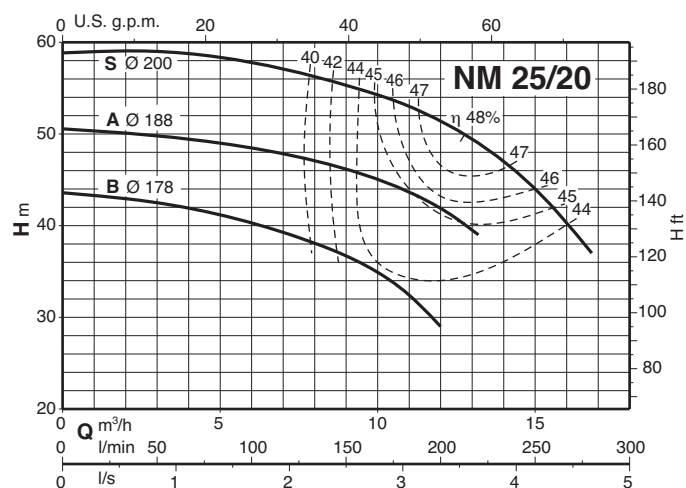
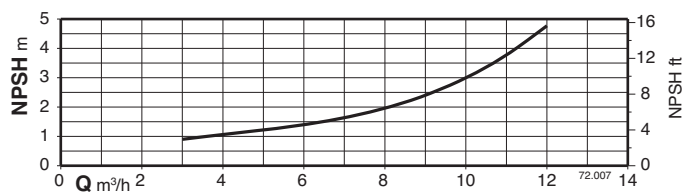
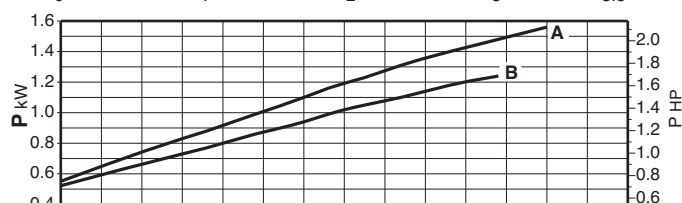
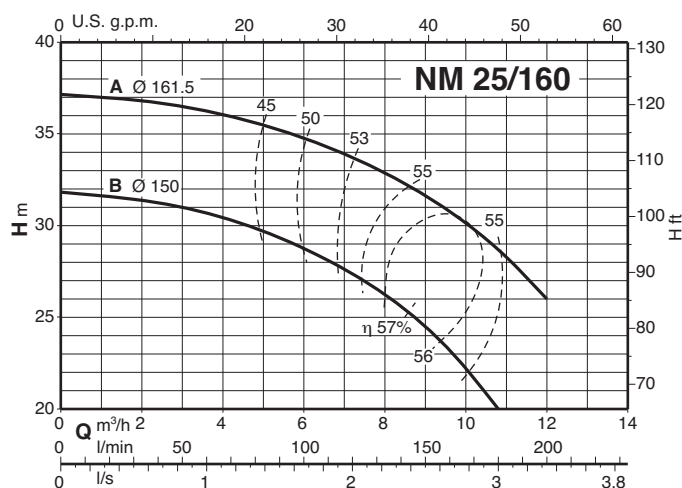
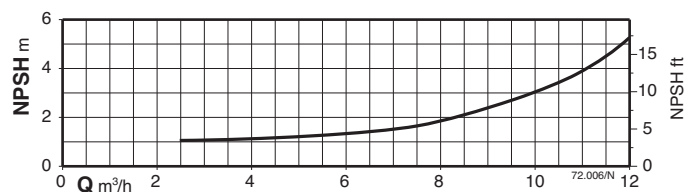
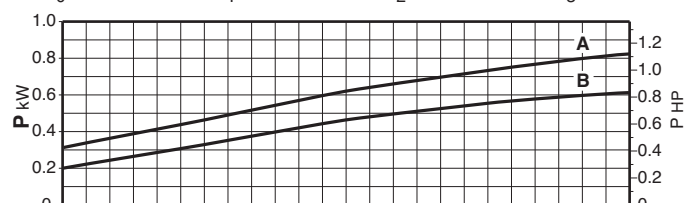
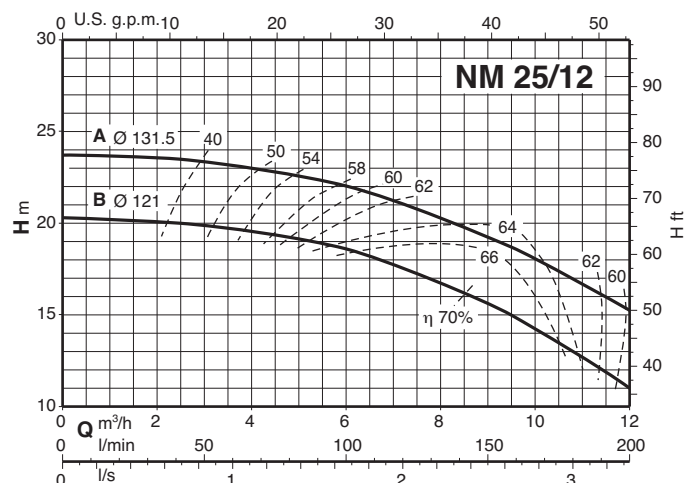
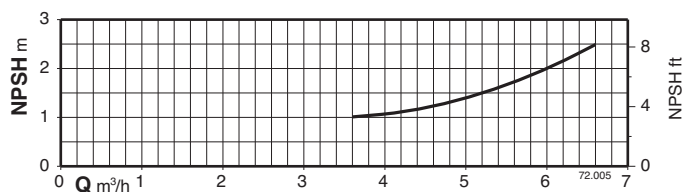
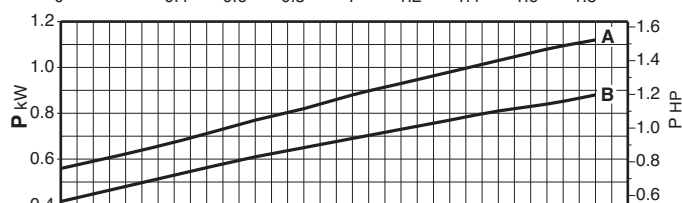
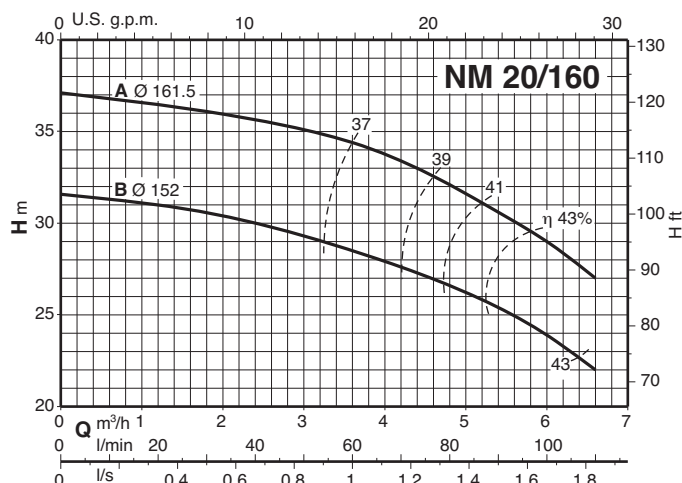
P ₁ kW	P ₂		230 V 1~ I _N A	I _A /I _N	P ₂		230 V Δ / 400 V Y 400 V Δ / 690 V Y			I _A /I _N
	kW	HP			kW	HP	I _N A	I _N A	I _N A	
0,62	0,37	0,5	3	2,7	0,37	0,5	2,3	1,3		3,8
0,72	0,45	0,6	3,6	2,9	0,45	0,6	2,3	1,3		3,5
0,91	0,55	0,75	4,5	3,1	0,55	0,75	3	1,7		4,3
1,2	0,75	1	5,8	3	0,75	1	3,7	2,2		3,9
1,6	1,1	1,5	7,4	3	1,1	1,5	4,6	2,7		5,6
2	1,5	2	9,2	3,8	1,5	2	7,5	4,3		5,5
2,5	1,8	2,5	11,2	4,5	2,2	3	9,15	5,3		7,4
					3	4	11,5	6,6		8,2
					4	5,5		9,6	5,5	7,6
					5,5	7,5		10,9	6,3	9,1
					7,5	10		14,3	8,3	9,1
					9,2	12,5		18,5	10,7	8,2

P₁ Maximum power input.
P₂ Rated motor power output.
I_A/I_N D.O.L. starting current / Nominal current

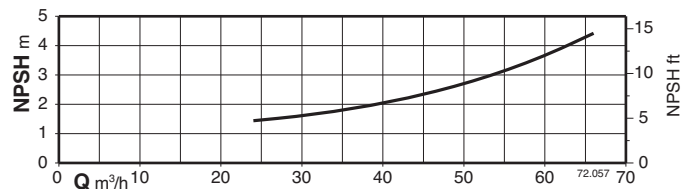
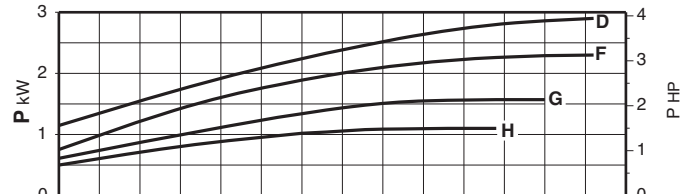
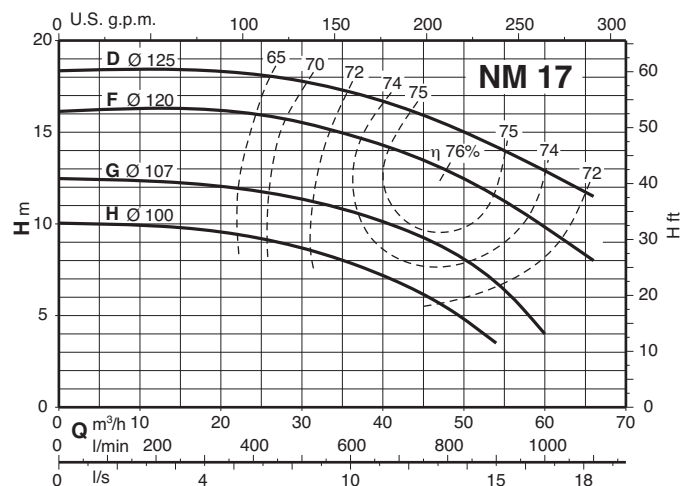
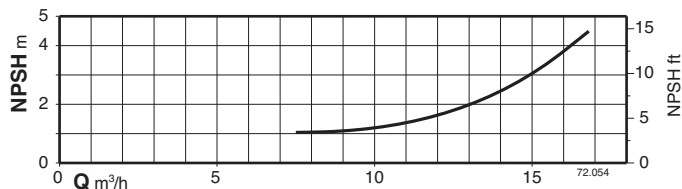
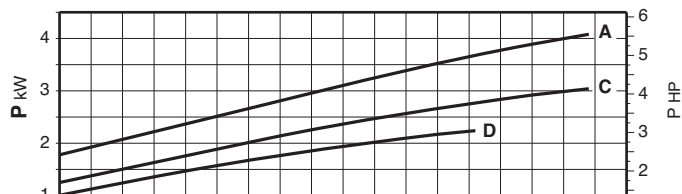
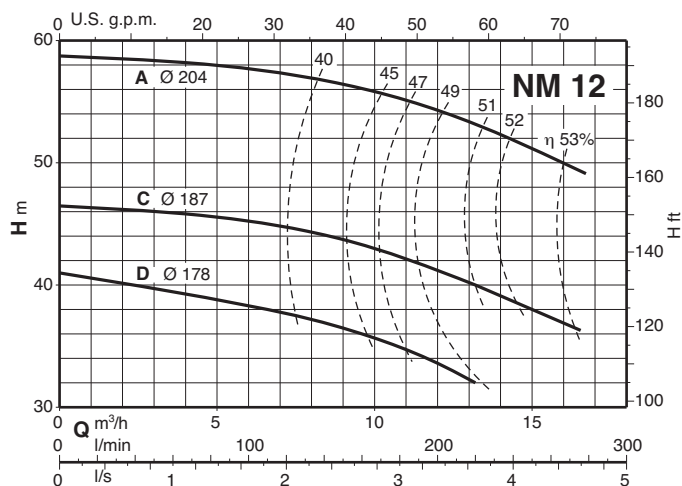
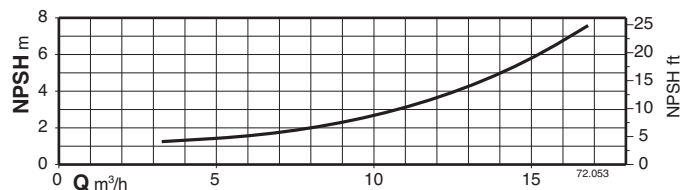
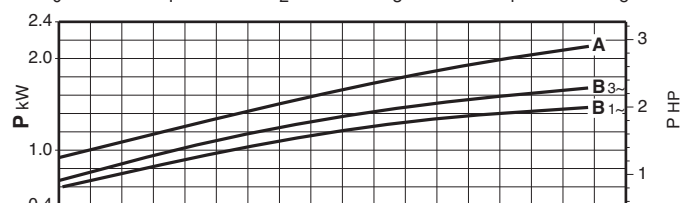
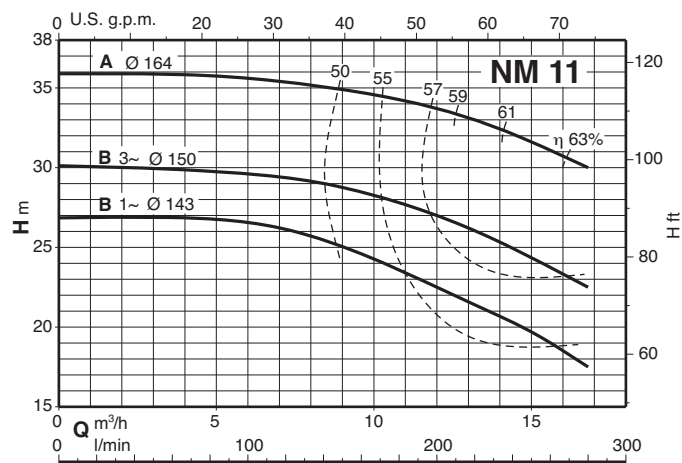
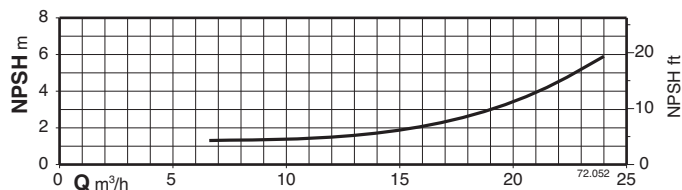
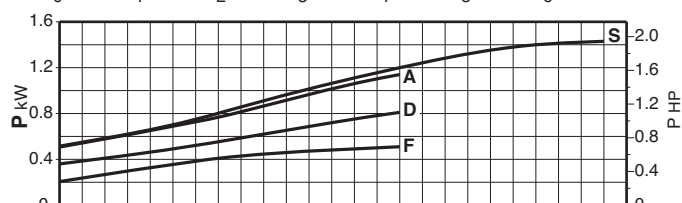
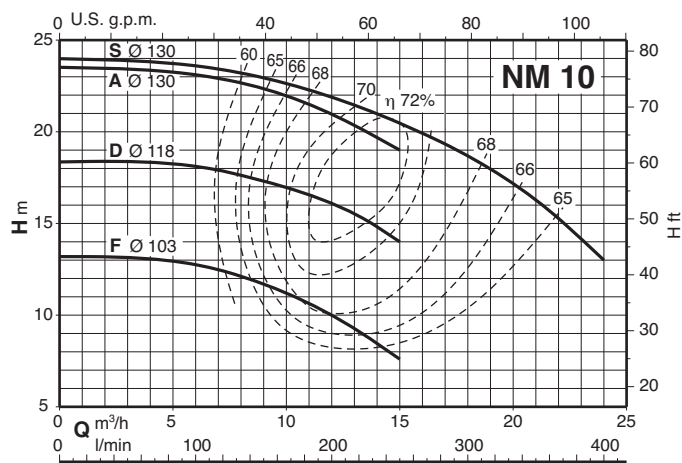
Characteristic curves $n \approx 2900$ rpm



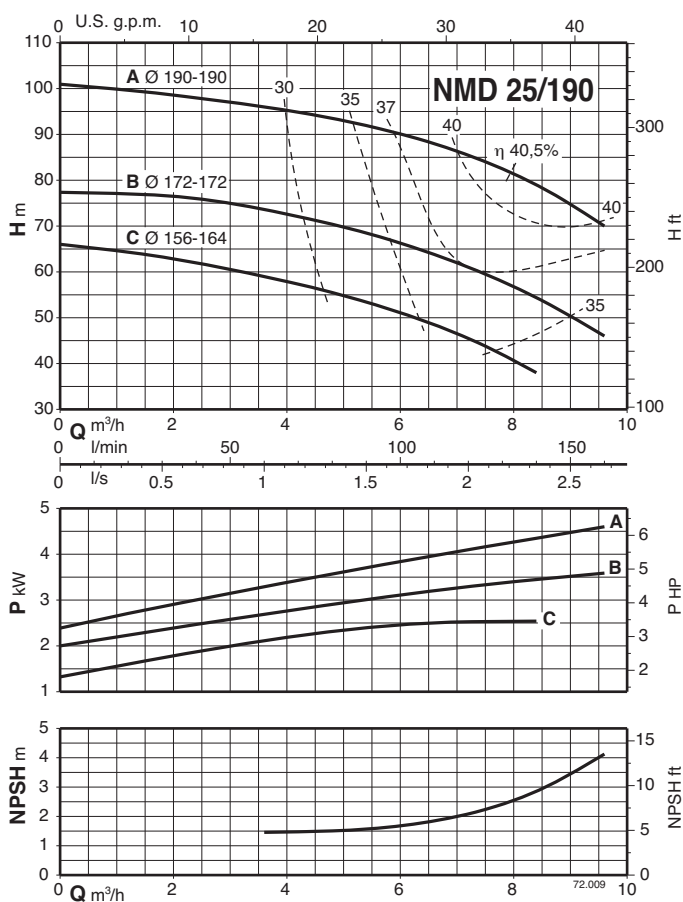
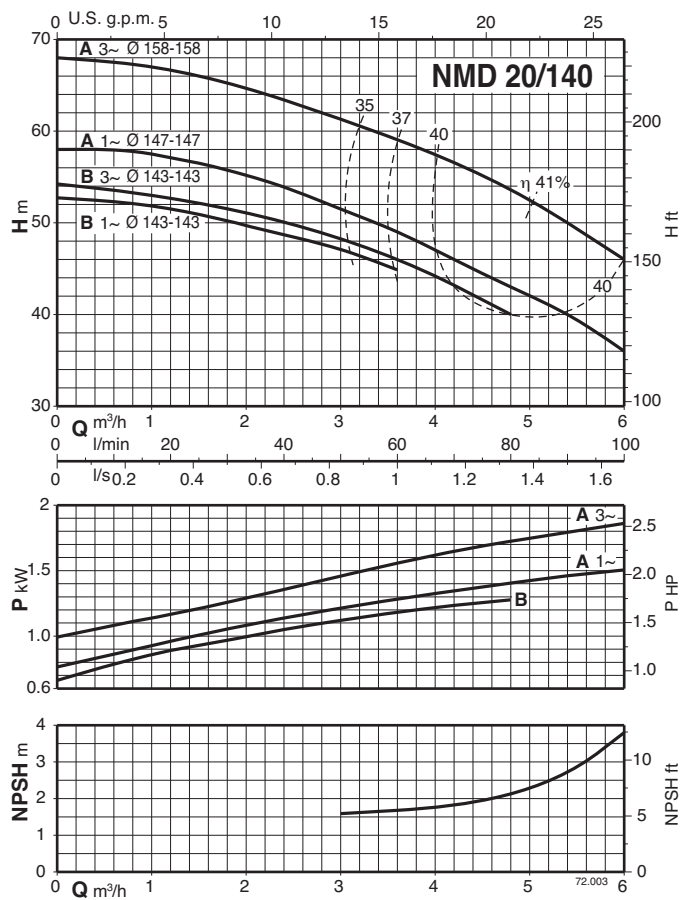
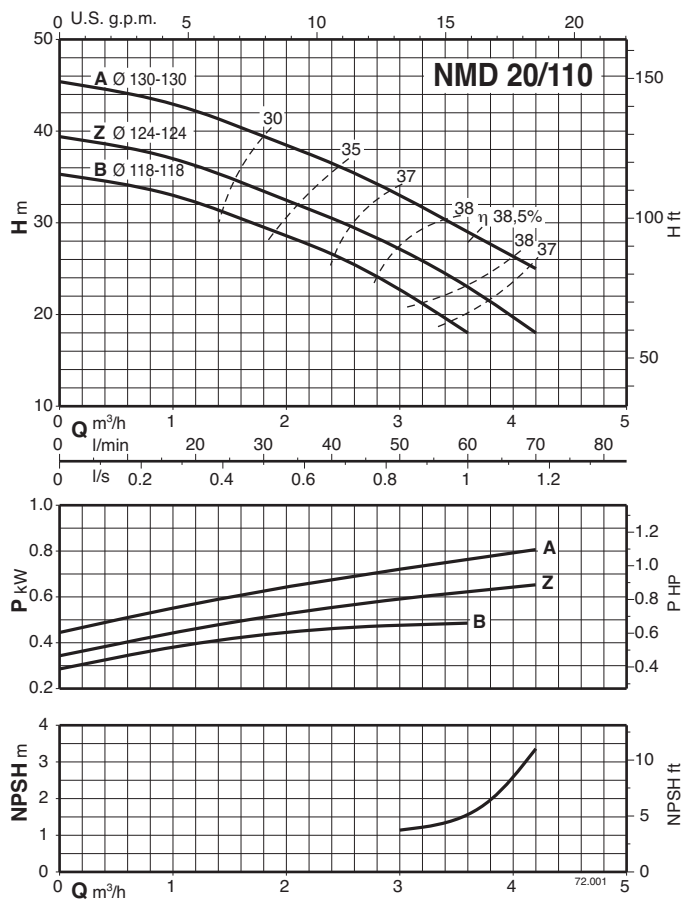
Characteristic curves $n \approx 2900$ rpm



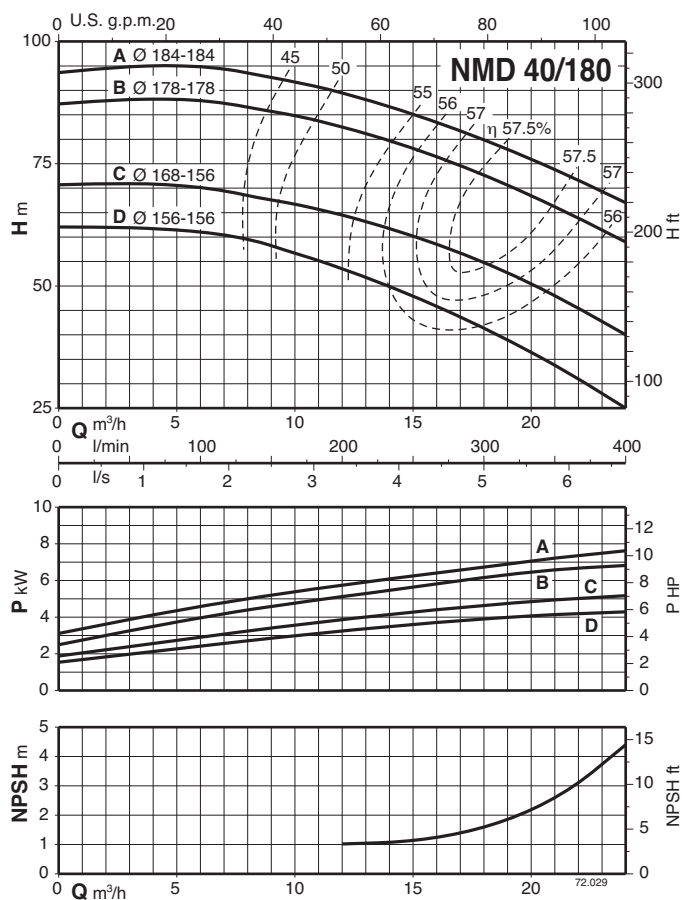
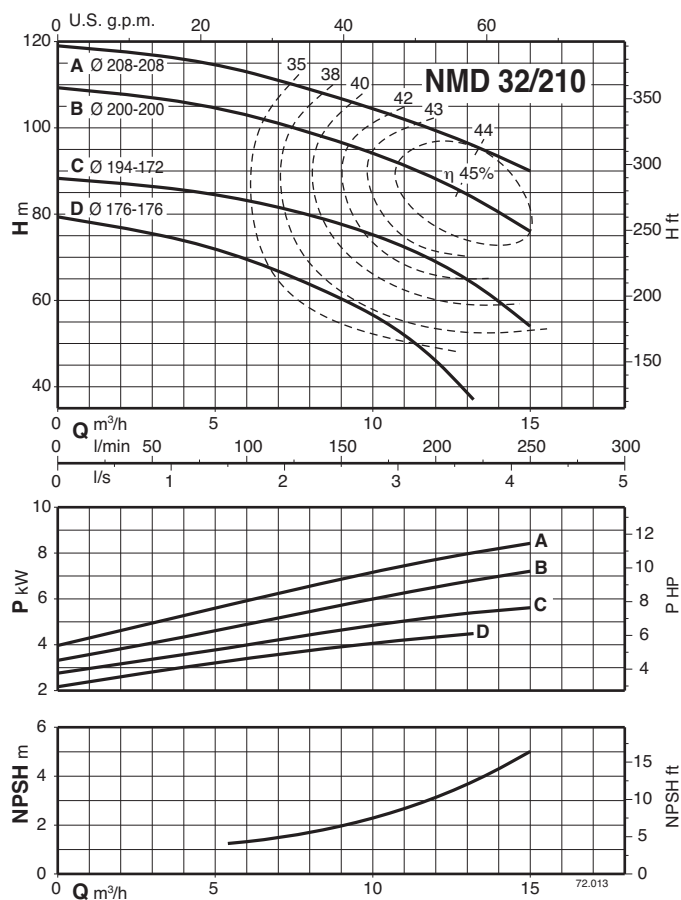
Characteristic curves $n \approx 2900$ rpm



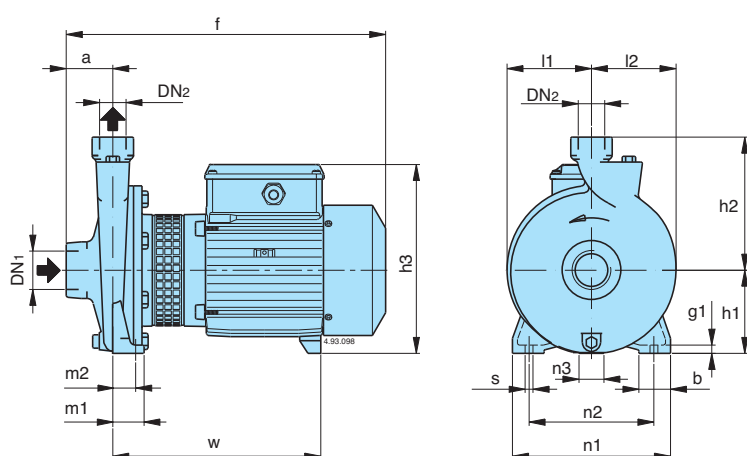
Characteristic curves $n \approx 2900$ rpm



Characteristic curves $n \approx 2900$ rpm



Dimensions and weights

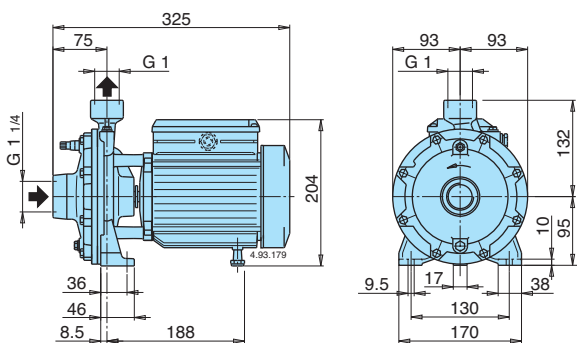


TYPE	NMM kg	NM kg	B-NM kg
NM 1/AE	8,7	8,6	
NM 2/B/A	14	13,1	
NM 2/S/A	14,2	13,3	
NM 2/A/A	15,1	14,2	
NM 3/CE	24	22,9	
NM 3/BE	26	25,1	
NM 3/A/A	30,4	29,1	
B- NM 20/160BE	19,9	18,4	21
B- NM 20/160AE	20,7	19,7	22,5
B- NM 25/12B/A	13,2	12,3	13,5
B- NM 25/12A/A	14,2	13,3	14,5
B- NM 25/160BE	20,4	19,7	22,8
B- NM 25/160AE	22,5	21,5	24
NM 25/20B/A		31,6	
NM 25/20A/A		40,9	
NM 25/20S/A		42,2	
B- NM 25/200B/A			35,7
B- NM 25/200A/A			43,7
B- NM 25/200S/A			45,2
NM 10/FE	19,3	18,5	
NM 10/DE	19,4	18,8	
NM 10/AE	20,2	19,3	
NM 10/SE	22,1	21,5	
NM 11/BE	24,7	24,1	
NM 11/A/A		28,1	
NM 12/D/A		33,5	
NM 12/C/A		42	
NM 12/A/A		43,5	
B- NM 17/HE	23	22,2	29,2
B- NM 17/GE	24,2	23,2	30,2
B- NM 17/F/A		28,2	35,2
B- NM 17/D/A		36,2	43,2

B-NM	NM	DN1 ISO 228	DN2 ISO 228	mm															
				a	f	h1	h2	h3	m1	m2	n1	n2	n3	b	s	l1	l2	w	g1
	NM 1/AE	G 1	G 1	40	261	80	132	176	40	32	170	140	17	35	9,5	77	81	171	10
	NM 2/A/A-S/A-B/A	G 1	G 1	45	305	95	150	207	40	32	190	160	17	35	9,5	87	90	203	10
	NM 3/BE-CE	G 1	G 1	50	375	112	180	240	55	43	245	205	37	45	11,5	110	113	244	12
	NM 3/A/A				415													284	
B- NM 20/160AE-BE	NM 20/160AE-BE	G 1 1/4	G 3/4	53	375	100	150	228	37,5	27,5	190	150	30	38	9,5	102	102	246	10
B- NM 25/12A/A-B/A	NM 25/12A/A-B/A	G 1 1/2	G 1	56	313	90	140	199	37,5	27,5	170	130	9	38	9,5	85	88	195	10
B- NM 25/160AE-BE	NM 25/160AE-BE	G 1 1/2	G 1	56	380	100	160	228	37,5	27,5	190	150	30	38	9,5	102	102	246	10
	NM 25/20B/A	G 1 1/2	G 1	63	433	125	180	253	45	32,5	245	200	49	45	11,5	125	125	291	11
	NM 25/20A/A-S/A				460			263					42					295	
B- NM 25/200B/A		G 1 1/2	G 1	63	445	125	180	253	45	32,5	245	200	49	45	11,5	125	125	303	11
B- NM 25/200A/A-S/A					460			263					42					295	
	NM 10/SE-AE-DE-FE	G 2	G 1 1/4	63	382	100	150	228	50	35	190	140	30	50	13	90	97	239	14
	NM 11/BE	G 2	G 1 1/4	70	400	112	170	240	50	35	210	160	37	50	15	103	110	247	14
	NM 11/A/A				440													287	
	NM 12/D/A	G 2	G 1 1/4	70	440	132	190	260	50	35	240	190	47	50	15	125	127	287	14
	NM 12/A/A-C/A				470			270					45					300	
B- NM 17/GE-HE	NM 17/GE-HE				417			240					37					257	
B- NM 17/F/A	NM 17/F/A	G 2 1/2	G 2 1/2	80	457	112	160	240	50	35	210	160	37	50	14	96	113	287	14
B- NM 17/D/A	NM 17/D/A				480			250					20					295	

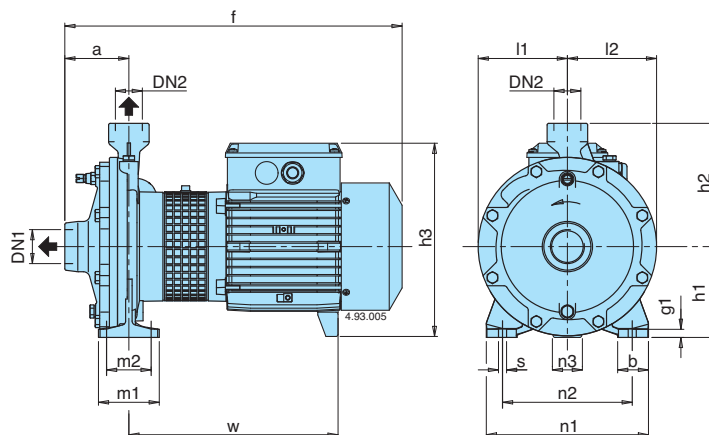
Dimensions and weights

NMD 20/110



TYPE	NMDM kg	NMD kg	B-NMD kg
B- NMD 20/110B/A	13	12,1	13,4
B- NMD 20/110Z/A	14	13	14,2
B- NMD 20/110A/A	15,1	14,2	17,4

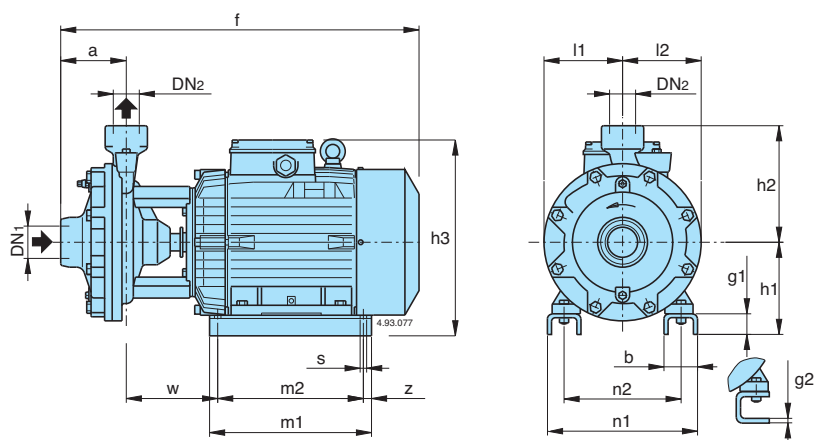
NMD 20/140
NMD 25/190



TYPE	NMDM kg	NMD kg	B-NMD kg
B- NMD 20/140BE	23,9	22,7	25,2
B- NMD 20/140AE	25,2	24,8	27,6
B- NMD 25/190C/A		42	45,7
B- NMD 25/190B/A		49,7	54
B- NMD 25/190A/A		51,5	55,5

B-NMD	NMD	DN1	DN2	mm															
		ISO 228		a	f	h1	h2	h3	m1	m2	n1	n2	n3	b	s	l1	l2	w	g1
B-NMD 20/140AE-BE	NMD 20/140AE-BE	G 1¼	G 1	80	417	112	152	243	75	55	200	160	37	38	9,5	110	110	256	10
B-NMD 25/190C/A	NMD 25/190C/A	G 1½	G 1	97	487	140	180	268	100	70	240	190	50	50	14	133	133	314	13
B-NMD 25/190A/A-B/A	NMD 25/190A/A-B/A				500			278					49					306	

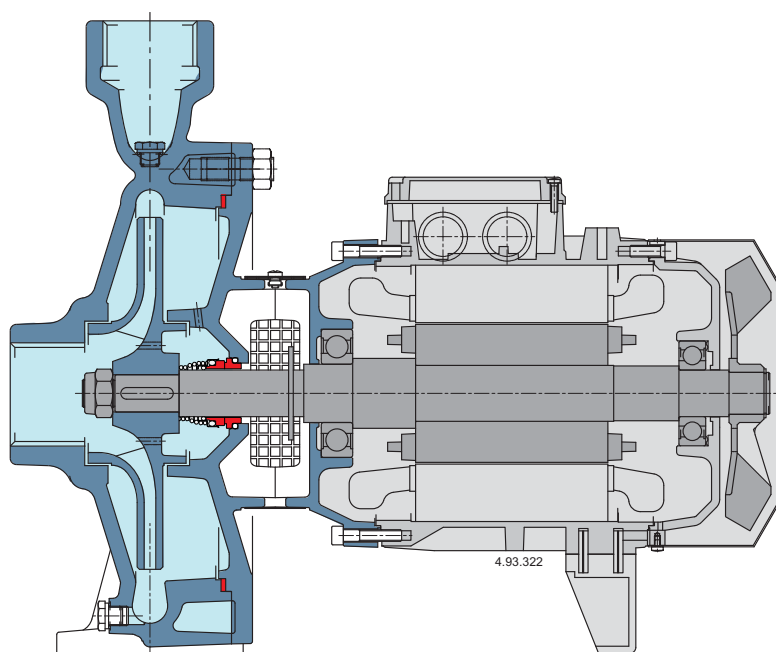
NMD 32/210
NMD 40/180



TYPE	NMD kg	B-NMD kg
B- NMD 32/210D/A	60,5	66,5
B- NMD 32/210C/A	71	77
B- NMD 32/210B/A	77	82,5
B- NMD 32/210A/A	99	105
B- NMD 40/180D/A	59,5	65,5
B- NMD 40/180C/A	70	76
B- NMD 40/180B/A	76	81,5
B- NMD 40/180A/A	97	102

B - NMD	NMD	DN ₁ ISO 228	DN ₂ 228	mm																
				a	f	h1	h2	h3	m1	m2	n1	n2	z	b	s	l1	l2	w	g1	g2
B- NMD 32/210D/A	NMD 32/210D/A	G 2	G 1¼	110	530	155	215	293	205	175	194	140	15	54	10	150	150	139	-	6
B- NMD 32/210B/A -C/A	NMD 32/210B/A -C/A				550	150		310	280	250	258	190		68	12			108	38	-
B- NMD 32/210A/A	NMD 32/210A/A				625	170		355	298	268	286	216		70	12			152	38	-
B- NMD 40/180D/A	NMD 40/180D/A	G 2	G 1½	121	535	155	215	293	205	175	194	140	15	54	10	145	145	133	-	6
B- NMD 40/180B/A -C/A	NMD 40/180B/A -C/A				555	150		310	280	250	258	190		68	12			102	38	-
B- NMD 40/180A/A	NMD 40/180A/A				630	170		355	298	268	286	216		70	12			145	38	-

Features



Compact Design

The compact design allows for easy installation even in confined spaces.

Robustness

The mechanical structure of the hydraulic parts in contact with the pumped liquid are dimensioned to guarantee the maximum resistance to mechanical stress.

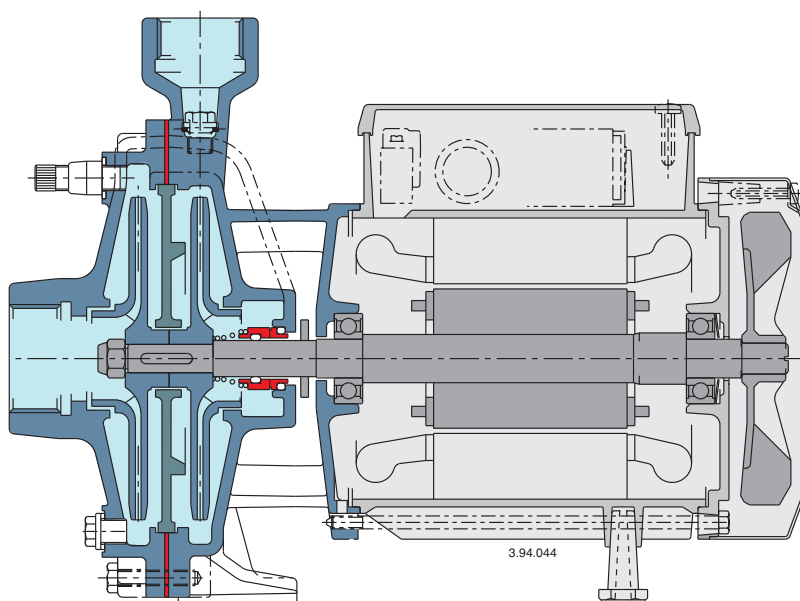
A unique design

The lantern bracket design prevents contact with the pumps rotating parts, providing protection to the end user whilst allowing for inspection of the mechanical seal.

Reliability

The bearing and shaft are designed to ensure the reduction of the stress, providing high reliability under all operating conditions.

Features



Flexibility

The option to choose between cast iron and bronze materials for the hydraulic parts in contact with the pumped liquid allows NMD series pumps to be selected for use with different types of liquids.

Robustness

The mechanical structure of the hydraulic parts in contact with the pumped liquid are dimensioned to guarantee the maximum resistance to mechanical stress.

Reliability

The bearing and shaft are designed to ensure the reduction of the stress, providing high reliability under all operating conditions.

Bijlage 8: technische fiche zonnewering

Harol verticale zonwering



A photograph of a modern living room. In the foreground, a low, rectangular glass coffee table with a dark metal frame sits on a light-colored wooden floor. On the table is a clear glass vase filled with a bouquet of pink and white flowers. Behind the table, a dark-colored sofa with large cushions is visible. To the right of the sofa, a black plastic basket holds some papers or magazines. The background is dominated by a large, multi-paned window with dark frames. The window looks out onto a lush green landscape with trees and a clear sky. Bright sunlight streams in from the left side of the window, creating a strong glare and casting long, soft shadows across the wooden floor.

Wees de zon te slim af,
waar u ook bent

Ook al snakken we naar de zon, de zomer heeft natuurlijk ook zijn schaduwkantjes. Om het binnen aangenamer te maken, perfectioneerde Harol door de jaren zijn zonweringen. **Screens, uitvalschermen, buitenjaloezieën**: de Harol producten bieden heel wat troeven op het vlak van binnenklimaat, energiebesparing, esthetiek en comfort, en dat zonder ingrijpend kap- of breekwerk. Zo blijft het thuis of op kantoor heerlijk koel, zelfs tijdens de warmste zomerdagen.

Bij Harol vindt u de **meest aantrekkelijke voordelen én kwaliteitsgaranties** onder de zon:



- Uw woning blijft binnen **altijd behaaglijk**
- Uw meubilair, behang, vloer en gordijnen worden **beschermd tegen verkleuring**
- U bent zeker van **vakkundig geplaatst maatwerk**
- Uw doeken zijn gemaakt volgens de normen die zijn vastgelegd door **VEROZO** en **ROMAZO** (Beroepsverenigingen in de Benelux)
- U weet dus dat uitsluitend **zeer duurzame materialen** werden gebruikt
- U kiest uit alle mogelijke **technische hoogstandjes**
- U beschikt over het **modernste bedieningscomfort**, van manuele bediening tot domotica
- U kiest uit een **oneindig kleurenpalet tegen standaardprijs**
- U geniet **tot 5 jaar garantie**



pag. **4**

>> Harol
screens
(renovatie)



pag. **16**

>> Harol
screens
(nieuwbouw)



pag. **22**

>> Harol
uitvalschermen



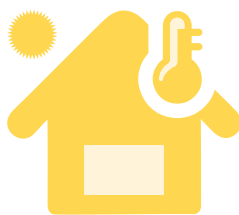
pag. **30**

>> Harol
buitenjaloezieën



Kwaliteit

Met screens tot 18 m² groot die één uniform en strak geheel vormen biedt Harol de hoogste kwaliteit in de grootste vormen. Een innovatief spansysteem in de geleider houdt het doek op zijn plaats, waardoor wapperende doeken, bewegende onderlatten of hinderlijk zonlicht voorkomen worden. De SC900 ISO voegt daar nog een unieke isolatiewaarde van maar liefst 1,3 W/m²k en een buitengewone akoestische isolatiewaarde aan toe.



Comfort

Om het op warme dagen binnen aangenamer te maken, ontwikkelde Harol zijn screens. Screens houden uw woning op temperatuur én maken ze energiezuiniger. U bespaart immers op luchtkoeling omdat ze 90% van de warmte tegenhouden vóór die het venster bereikt. De screen 'SC1000 ENVIRO' zit zelfs onzichtbaar in de spouw verborgen en beantwoordt aan de strengste energie-eisen. Bovendien zijn het ideale filters voor hinderlijk zonlicht op tv- of computerschermen, terwijl het zicht naar buiten toch mogelijk blijft.



Kleuren

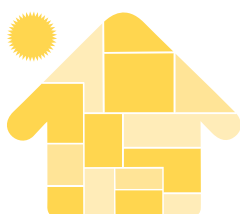
Harol biedt een uniek aanbod van kleuren: naast natuurkleurig geanodiseerd aluminium is er keuze uit maar liefst 300 smaakvolle RAL-kleuren. Zo kunt u uw screen perfect afstemmen op de stijl en kleur van de gevel van uw woning of kantoorgebouw. Eveneens zijn er trendy kleuren mogelijk met een korrelige structuur. Deze structuurlak is bijzonder slijt- en krasvast, vuilafstotend en daardoor heel onderhoudsvriendelijk. Structuurlak geeft het screen een stijlvolle, eigentijdse uitstraling.

Het zonnetje in huis? Of houdt u warmte en licht liever buiten?

Screens

Uitvalschermeren

Buitenjaloerieën



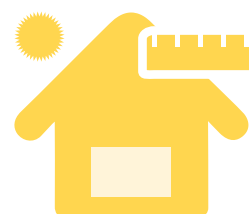
Design

Screens zijn eenvoudig te monteren op elk raamprofiel of elke gevel. De hoofdonderdelen van een screen zijn de kast, de onderlat, het doek en de geleiders. Die bestaan uit geëxtrudeerd aluminium, voorzien van een poedercoating of natuurkleurig geanodiseerd. Voor een extra strakke gevelaanblik is er de keuze uit de opbouwscreen SC900 **ISO**, SC910 **PURE** en de SC1000 **ENVIRO** waarvan de kast aan de buitenkant onzichtbaar is.



Bediening

U kunt uw Harol-screen op 2 manieren in- en uitrollen: handmatig of dankzij een elektrische motor met één druk op een knop. Aan een elektrische bediening kunt u verschillende domoticsystemen koppelen. Naargelang de zon- of windintensiteit kan de bediening zelfs automatisch geregeld worden. Zo is uw woning lekker fris als u 's avonds terug thuis komt van het werk.



Maatwerk

Harol biedt 5 verschillende types screens die u perfect kunt afstemmen op uw noden. Voor de renovatiemarkt bestaat er de SC700 **BASIC** en de SC800 **AERO** met zijn windvaste screen. Voor de nieuwbouwmarkt biedt Harol de opbouwscreen SC900 **ISO** aan die met zijn hoge isolatiewaarde uniek is in de markt. Zelfs voor passief woningen is er een gepast product met de SC910 **PURE** en de SC1000 **ENVIRO**. Hiermee biedt Harol oplossingen voor elke behoefte.



Screens op maat van uw behoefte

Bouwen en verbouwen is een zaak van energiebeheer geworden. Onze zomers worden warmer met een oververhitte woning tot gevolg. Zonwering maakt vandaag integraal deel uit van een energiezuinige woning, en innovatie zorgt ook hier voor steeds betere prestaties op het vlak van thermische en akoestische isolatie. Nooit eerder kreeg je zo veel terug voor de investering in een screen.

De screens SC700 **BASIC** en SC800 **AERO** zijn oplossingen voor renovaties en bestaande ramen. De SC900 **ISO** behoorde al tot de nieuwe generatie met zijn unieke isolatiewaarde en gaat al een stap verder. Met de SC910 **PURE** en SC1000 **ENVIRO** mikt Harol resoluut op de markt van nieuwbouw en de allerhoogste energie-eisen. Kortom, van renovatie tot passiefbouw, er is nu voor elke behoefte een passende oplossing.

Nodig een Harol Specialist uit

voor advies dat 100% aan uw specifieke situatie beantwoordt.

SC700 BASIC



RENOVATIE



- > kast bevindt zich voor het raam
- > 2 versies: afgerond en recht
- > perfect instapmodel



- > kast bevindt zich voor het raam
- > 2 versies: afgerond en recht
- > doek met ritsprincipe (grote windbestendigheid)
- > ideaal voor grote oppervlakten

NIEUWBOUW + GROTERE RENOVATIES



- > kast bevindt zich op het raam
- > geen koudebrug
- > met thermische (uniek) en akoestische isolatie



- > kast bevindt zich op het raam
- > isolatie zelf te voorzien



- > kast bevindt zich in de spouw, voor het raam
- > perfect voor lage energie en passief woningen
- > géén perforatie bouwschil



Harol screen met Cristal-Clear vensters

Doeken die **blijven stralen**

Vooraf het doek is bepalend voor het uitzicht. Bij Harol kunt u kiezen uit een brede waaier van **één- of tweekleurige doeken**. Of u nu gaat voor een neutrale of een opvallende kleur, u vindt beslist het doek dat perfect past bij de kleur van het frame en de stijl van uw woning.

De zonnwerende screendoeken bestaan uit **polyester of glasvezel**. Ze zijn bestand tegen weer en wind, zijn rot- en schimmelwerend én zijn vuilafstotend. In tegenstelling tot het doek van de verduisteringsscreens is een screendoek altijd wat **transparant** zodat het zicht naar buiten behouden blijft. Voor een mooi uitzicht op de tuin, zelfs als de screens naar beneden zijn, kunt u bij buitentoepassingen in de tuin of op uw terras **Cristal-Clear vensters** in het doek voorzien.

In de slaapkamer of in een projectiezaal vormen **Harol verduisterings-screens** dé oplossing. Het **polyester met coating** in combinatie met het ritssysteem in de geleiders houdt licht volledig buiten.

Type doek: **polyester 86/92**

- > **samenstelling:** polyesterdraden, omhuld met pvc
- > **kleuren:** unikleuren volgens collectieboek
- > **dikte: 86:** 0,43 mm
92: 0,45 mm
- > **doorlaatbaarheid van directe zonnestralen:** 14% of 4%
- > **eigenschappen:** uitstekende ventilatie-eigenschappen, bescherming tegen uv-stralen, vuilafstotend, brandklasse M1

Type doek: **glasvezel**

- > **samenstelling:** glasvezeldraden, omhuld met pvc
- > **kleuren:** uni- of tweekleurige doeken volgens collectieboek
- > **dikte:** 0,55 mm
- > **doorlaatbaarheid van directe zonnestralen:** 5%
- > **eigenschappen:** uitstekende ventilatie-eigenschappen, bescherming tegen uv-stralen, vuilafstotend, brandklasse M1

Type doek: **raamdoek**

- > **samenstelling:** Cristal-Clear + STAM (pvc)
Cristal-Clear + glasvezel
- > **kleuren: STAM:** beschikbaar in 16 kleuren
Cristal-Clear: in transparant
Glasvezel: uni- of tweekleurige doeken volgens collectieboek
- > **dikte: STAM:** 0,55 mm
Cristal-Clear: 0,50 mm
Glasvezel: 0,55 mm
- > **eigenschappen:** brandklasse M2, bescherming tegen uv-stralen, vuilafstotend

Type doek: **verduisteringsdoek B92**

Alle screens* kunnen ook dienst doen als verduisteringsscreen wanneer het screen voorzien wordt van een verduisteringsdoek.

- > **samenstelling:** polyesterdraden, omhuld met pvc
- > **kleuren:** één zijde steeds grijs, andere zijde: unikleuren volgens collectieboek
- > **dikte:** 0,60 mm
- > **ondoorschijnend doek:** doorlaatbaarheid van directe zonnestralen 0%
- > **eigenschappen:** bescherming tegen uv-stralen, vuilafstotend, brandklasse M2

* uitgezonderd SC700 **BASIC**



SC700 BASIC

Bediening

De screens zijn bijzonder makkelijk te bedienen. Je kan ze **manueel** openen of sluiten met een slingerstang, of via **elektrische bediening**, eventueel geïntegreerd in een domoticasysteem. Naargelang de zon- of windintensiteit kan de bediening zelfs automatisch geregeld worden.

- Voor de **SC700 BASIC** kunt u kiezen uit de volgende systemen:
 - > Manuele bediening met een lint, koord of slingerstang
 - > Elektrische bediening van de ingebouwde buismotor met een muurzender, afstandsbediening of domotica & automatisering (wind- en/of zonsensor)
- Voor de **SC800 AERO** kunt u kiezen uit de volgende systemen:
 - > Manuele bediening met een slingerstang
 - > Elektrische bediening van de ingebouwde buismotor met een standaardschakelaar, muurzender, afstandsbediening of domotica & automatisering (wind- en/of zonsensor)
- Voor de **SC900 ISO**, **SC910 PURE** en **SC1000 ENVIRO** is de bediening steeds elektrisch. Net als bij de SC800 AERO kunt u uw screen voorzien van wind- en/of zonsensor. Die stuurt uw screen naargelang de zonintensiteit en de windsnelheid.



wind- en/of zonsensor



afstandsbediening



Smoove zender

Onderlat

In de onderlat zit een **verzwarringsijzer**, waardoor het doek goed geleid en gespannen wordt. Geen doorhangende doeken dus. Bij een regelmatig onderhoud zal na jaren gebruik uw Harol doek er nog zo goed als nieuw uitzien.

De onderlat van de screen* is onderaan voorzien van een **rubber**. Dat vangt eventuele oneffenheden in de dorpel op en voorkomt dat er licht onder de onderlat schijnt.

* optioneel voor de SC700 **BASIC**

SC700 **BASIC**



Het robuuste screen
dat zich overal thuisvoelt

SC700 **BASIC**

U wilt alle comfort van een screen, zonder ingrijpende installatiewerken? De SC700 **BASIC** is **eenvoudig te monteren** op elk raamprofiel of elke gevel en houdt overdadig zonlicht en warmte buiten. De kast, onderlat en geleiders bestaan uit geëxtrudeerd aluminium, voorzien van een poedercoating, of zijn uitgevoerd in natuurkleurig geanodiseerd aluminium. De **verzwaarde onderlat** is beschikbaar in 2 hoogten. Dit screen is verkrijgbaar in groottes tot **9 m² in 1 deel** en voldoet aan windklasse 2.

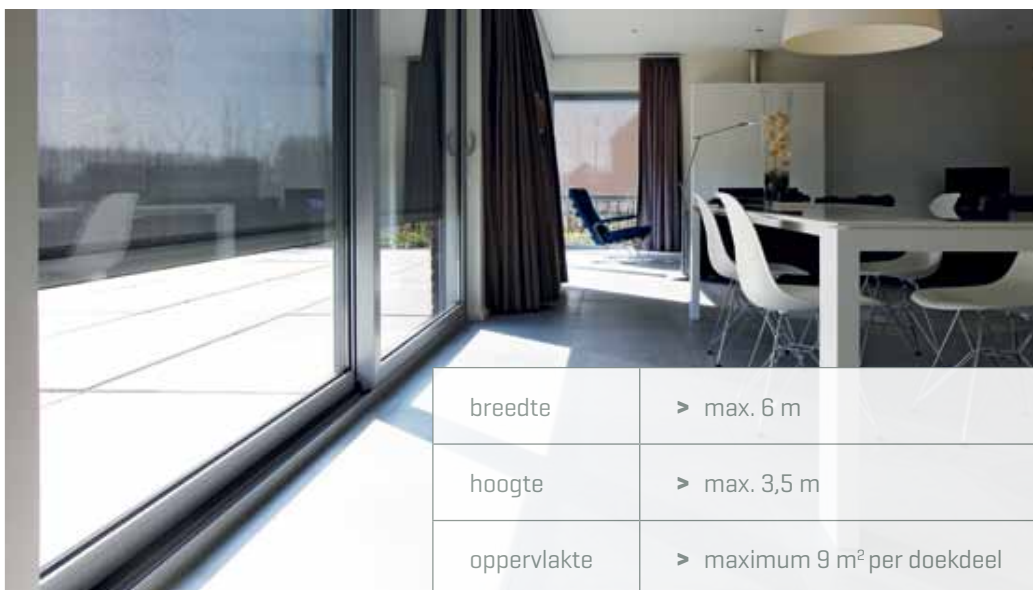
Afmetingen

Enkelvoudig screen



breedte	> max. 3,5 m
hoogte	> max. 3,5 m
oppervlakte	> maximum 9 m ²

Meervoudige screens



breedte	> max. 6 m
hoogte	> max. 3,5 m
oppervlakte	> maximum 9 m ² per doekdeel

Keuze uit 7 types geleiders. In 1 screenkast kunnen **2 of 3 doeken gecombineerd** worden, tot een maximum kastbreedte van 6 m. Er zijn 2 combinatietypes mogelijk:

- > met de doeken direct naast elkaar (DVC)
- > met een tussenruimte van minimum 25 mm en maximum 500 mm tussen de screens (DVS)

Deze gecombineerde doeken kunnen naar keuze **samen of afzonderlijk bediend** worden.



Het windvaste screen
met praktische insectenwering

SC800 **AERO**

U bent op zoek naar een uiterst stabiel screen, maar u wilt ook de insecten buitenhouden? Met de **SC800 AERO** slaat u **twee vliegen in één klap**. Eigen aan dit screen is het **ritssysteem**. Dat maakt het screen windvast en houdt het doek perfect gespannen op z'n plaats in de geleiders. De rits aan het doek schuift met haar verdikking in een kunststof geleidingsprofiel dat op zijn beurt in het aluminium geleiderprofiel geschoven zit. De SC800 **AERO** is bovendien een praktische **insectenwering**, omdat de ruimte tussen de kast, de geleiders en het doek volledig afgesloten wordt. Met dit screen – dat voldoet aan windweerstandklasse 3 – schermt u een oppervlakte **tot 18 m² in 1 doekdeel** af.

Afmetingen

Enkelvoudig screen



breedte	max. 5 m
hoogte	max. 6 m
oppervlakte	maximum 18 m ²

Meervoudige screens



breedte	max. 6 m
hoogte	max. 6 m
oppervlakte	maximum 18 m ² per doekdeel

Keuze uit 6 types standaardgeleiders en 6 smalle geleiders. In 1 screenkast kunnen **2 of 3 screendoeken gecombineerd** worden, tot een maximum kastbreedte van 6 m. Er zijn 2 combinatietypes mogelijk:

- met de screendoeken direct naast elkaar (DVC)
- met een tussenruimte tussen de screendoeken (DVS)
- van min. 90 mm tot max. 500 mm (indien gekoppelde doekdelen)
- van min. 25 mm tot max. 500 mm (indien elk doek afzonderlijk bediend wordt)

Deze gecombineerde screens kunnen naar keuze **samen of afzonderlijk bediend** worden.



De superisolerende
buitenzonwering, verticaal
te plaatsen op elk raamkozijn

SC900 ISO

De **SC900 ISO** van Harol combineert het beste van 2 werelden: een **strak en modern uiterlijk** met prestaties die moeiteloos **voldoen aan de huidige EPB-normen**. Dit screen houdt de zon én nieuwsgierige blikken op afstand. Bovendien is het makkelijk te onderhouden en biedt het uitgebreide domoticamogelijkheden.

Met zijn **hoge isolatiewaarde** [$1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$] en **buitengewone akoestische isolatie-eigenschappen** is het zelfs uniek op de markt.

Het screen is steeds uitgerust met **elektrische bediening**, is verkrijgbaar in alle RAL-kleuren en structuurlakken. Het doek zit dankzij het ritsprincipe stormvast* in de geleiders. De SC900 **ISO** is bovendien dankzij zijn doordacht ontwerp zeer eenvoudig te monteren en te onderhouden.

* [zie p.21]

SC910 PURE

De '**SC910 PURE**', die **zonder isolatie** geleverd wordt, is een 'naakte' versie als het ware van de SC900 **ISO**, waarbij de isolatie naar wens of behoefte zelf kan invullen. Beide screens zijn windvast*

* [zie p.21]

Afmetingen

Het opbouwscreen is monteerbaar op alle raamchassis van 65 mm tot 135 mm.

Opbouwscreen SC900 ISO/SC910 PURE



breedte	max. 5 m
hoogte	max. 4 m
oppervlakte	max. 16 m ²
Raamtype	hout, pvc of aluminium

Technische details van de SC900 ISO/SC910 PURE

- > **Uniek:** De SC900 ISO heeft een zeer hoge isolatiewaarde* [1,3 W/m²K] en buitengewone akoestische isolatie-eigenschappen.
- > Zowel het opbouwscreen SC900 ISO als de SC910 PURE worden **rechtstreeks op het raam gemonteerd**.
- > **Stevige winddichte kast in aluminium** met thermische onderbrekingen. De verborgen kast leent zich uitstekend voor moderne architectuur, met strakke doeken **tot 14 m² groot**.
- > Beschikbaar in **alle RAL-kleuren en structuurlakken**.
- > Geen wapperende doeken of opwaaiende onderlatten dankzij het **innovatieve spansysteem in de geleider**.



SC900

Zeer hoge isolatiewaarde [1,3 W/m²K]



SC900



SC910

* De SC910 PURE wordt geleverd zonder isolatie.



Opvallend
Onopvallend

SC1000 **ENVIRO**

De screen 'SC1000 **ENVIRO**' zit **onzichtbaar in de spouw verborgen**. Er is **geen perforatie van de bouwschil**, geen koudebrug, geen invloed op het pleister- of schilderwerk. Opvallend handig is het **clipsysteem om eventueel een hor te plaatsen**. De **onderlat is volledig geïntegreerd** hetgeen betekent dat de screen in opgerolde toestand onzichtbaar is aan de buitenkant van uw woning. Zin in een nieuwe screendoek? Dan kan dit zeer efficiënt en makkelijk via de onderkant waarbij de doekrol en motor eenvoudig uitgeschoven kunnen worden.

Afmetingen

Opbouwscreen SC1000 ENVIRO		
	breedte	max. 4,5 m
	hoogte	max. 4,4 m
	oppervlakte	max. 14 m²
	Raamtype	hout, pvc of aluminium

Dé oplossing voor passief bouwen

Bouwen is een zaak van energiebeheer geworden: oververhitting zal in de zomer meer voorkomen. Met de SC1000 ENVIRO kijkt Harol naar de markt van nieuwbouw en de allerhoogste energie-eisen. Zo bevindt de SC1000 ENVIRO zich letterlijk in de spouw zodat er geen perforatie van de bouwschil mogelijk is.

Technische details van de SC1000 ENVIRO

- Het screen zit onzichtbaar in de spouw verborgen.
- Geen perforatie van de bouwschil.
- Voorzien van een clipsysteem om eventueel een hor te plaatsen.
- Volledig geïntegreerde onderlat in opgerolde toestand.
- Makkelijk toegankelijk.

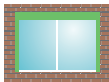


- Moderne oplossing voor strenge EPB eisen bij passieve en lage rendementswoningen.



Technische eigenschappen

Harol biedt u 5 verschillende types zodat u uw screen precies kunt afstemmen op uw noden:

	Renovatie		Nieuwbouw	
Karakteristieken	SC700 BASIC	SC800 AERO	SC900 ISO / SC910 PURE	SC1000 ENVIRO
Max. aantal m ² in één deel	9 m ²	18 m ²	16 m ²	14 m ²
Max. breedte	3,5 m	5 m	5 m	4,5 m
Max. hoogte	3,5 m	6 m	4 m	4,4 m
Gekoppelde screens mogelijk	Ja	Ja	Neen	Neen
Ritssysteem	Neen	Ja	Ja	Ja
Windvastheid volgens norm EN13561 : 2004	Windweerstandklasse 2 [tot 5 Beaufort]	Windweerstandklasse 3 [tot 6 Beaufort]	Windweerstandklasse 3 [tot 6 Beaufort]	Windweerstandklasse 3 [tot 6 Beaufort]
Extra verduisteringsdoek mogelijk	Neen	Ja	Ja	Ja
Insectenwerend	Neen	Ja	Ja	Ja
Montage	voorzet	voorzet	opbouw	in de spouw
Zichtbaarheid				
Isolatie	n.v.t. [geen perforatie bouwschil]	n.v.t. [geen perforatie bouwschil]	SC900 ISO : 1,3 W/m ² K SC910 PURE : Zelf voorzien	n.v.t. [geen perforatie bouwschil]

Windtesten

Testresultaat bij constante druk [1000 Pa]

				Beaufort windschaal		
				Beaufort	Beschrijving	Gemiddelde snelheid km/u
NORM	SC700	SC800	SC900/ SC910	0	Windstil	< 1
				1	Vrij zwak	1 - 5
				2	Zwak	6 - 12
				3	Vrij matig	13 - 19
				4	Matig	20 - 27
TEST				5	Vrij krachtig	28 - 37
				6	Krachtig	38 - 48
				7	Hard	49 - 62
				8	Windstoten	63 - 73
				9	Stormachtig	74 - 87
				10	Zware storm	88 - 102
				11	Zeer zware storm	103 - 117
				12	Orkaan	> 118

* Windklasse 3 volgens norm EN13561 : 2004

Testresultaten volgens WTCB gaan bij constante druk tot 1000Pa [tot 145km/u] en een gemiddelde afmeting van 3,5 x 3m.

Meer informatie over Harol screens?

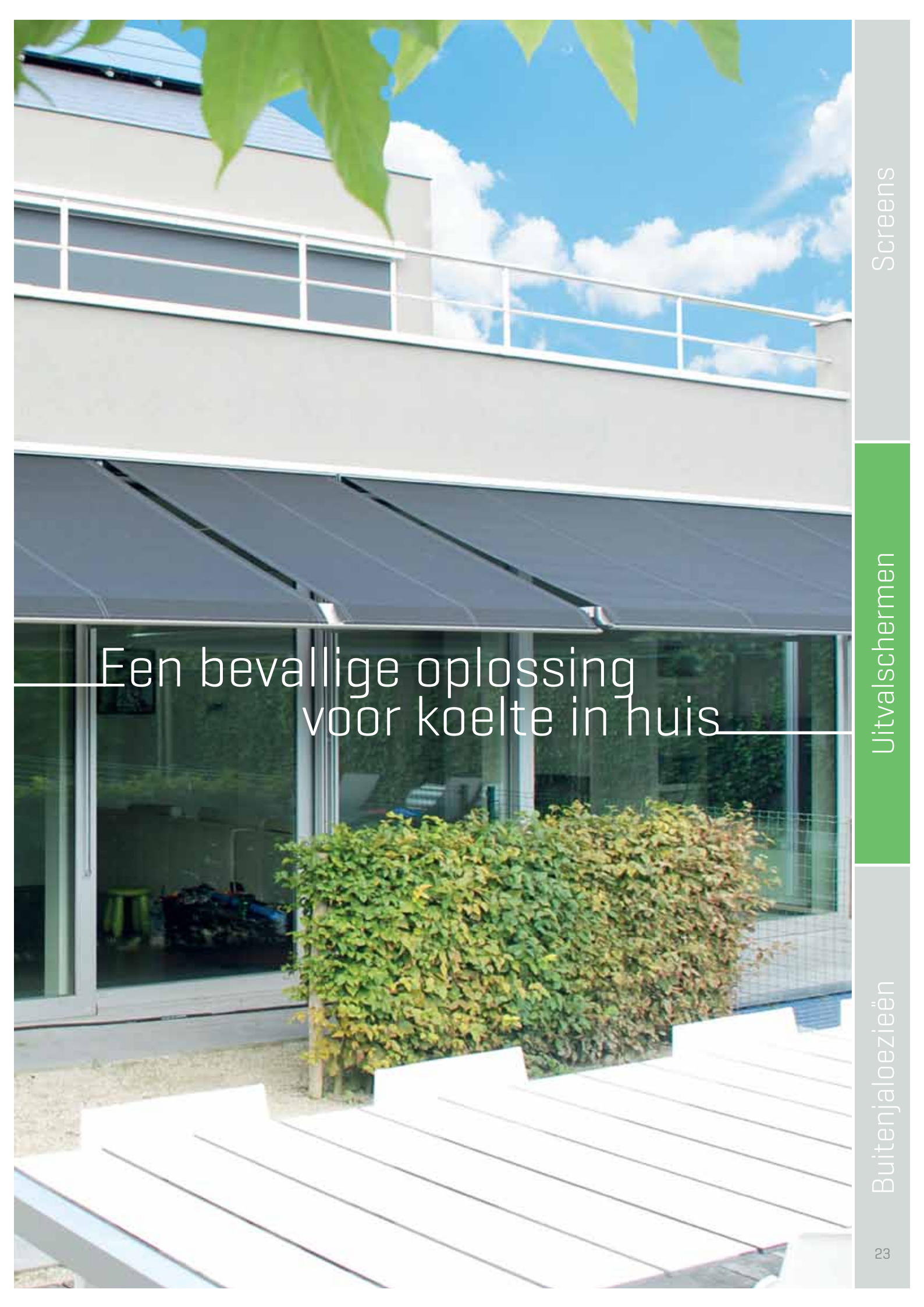
- Surf naar www.harol.be of www.harol.nl
- Of contacteer vrijblijvend uw Harol Specialist. U vindt zijn gegevens op de achterzijde van deze brochure.



Harol Uitvalschermen

Een Harol uitvalscherm houdt als de beste de warmte buiten.

Dit type gevelzonwering wordt aan uw vensters geplaatst en is een erg **voordelig alternatief** voor een zonnescrm. Deze gevelzonwering met variabele uitvalshoek verbetert niet alleen de **look** van uw woning, maar schept vooral een **aangenaam klimaat binnen**. U bepaalt zelf de zonlichtinval en u creëert een unieke sfeer in uw leefruimte dankzij enerzijds de combinatie van uitvalshoek, zon en doek en anderzijds de doekkleur die u kiest.



Een bevallige oplossing
voor koelte in huis

Screens

Uitvalschermeren

Buitenjaloezieën



De troeven

- > **Variabele uitvalshoek** (van 0 tot 120°) om zelf te bepalen hoeveel zon u binnenlaat
- > **Extreem windbestendig** dankzij de aparte opbouw en de sterke uitvalarmen
- > **Eenvoudige bediening**
- > **Kwalitatieve** doeken
- > **Past op alle gebouwen** en elk type raam (van 0,63 tot 5 m breed)
- > De schermen kunnen aan elkaar **gekoppeld worden tot 10 m**
- > Steeds **op maat** gemaakt

Technische details

- > **Hoogwaardige materialen:** robuuste gemoffelde aluminiumprofielen, kunststof delen, rot- en schimmelvrije doeken en een gestileerde cassette
- > Keuze uit **4 valarmen:** vaste armen, stormvaste armen, glij-armen of gasveearmen:
 - > **Stormvaste armen (SA):** armen met een vast scharnierpunt en roestvrijstalen trekveer
 - > **Gasveearmen (WGA):** armen met vast scharnierpunt en sterke gasveer
 - > **Glijarmen (GA):** de uitvalschermen glijden mee naar boven
 - > **Vaste armen (VA):** armen met vast scharnierpunt met uitwerpbladveertje

Keuze tussen 2 verschillende types uitvalschermen: US701 en US702

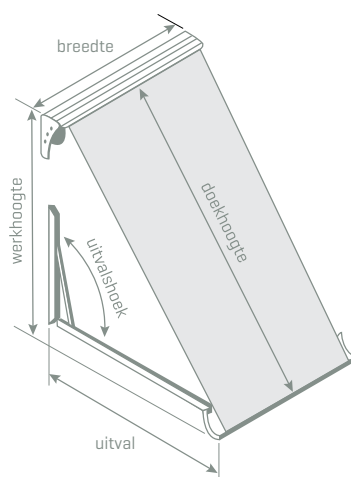


Karakteristieken	US701	US702
Extra muurbeugels nodig	Vanaf 4 m	Ja
Min. breedte	0,63 m	1 m
Max. breedte	5 m	5 m
Max. breedte in 2 delen	10 m	10 m

Afmetingen

Harol maakt uw zonwering altijd op maat. Resultaat? U bepaalt zelf hoe breed uw uitvalscherm wordt. Voor een uitvalscherm zijn dit de mogelijkheden:

Uitval in mm	SA	WGA	GA	VA	Doekhoogte in mm				
					1400	1600	1950	2200	2500
900	x	x	-	x	90°	120°			
1050	x	x	-	x		90°	120°		
1250	x	x	-	x			90°	120°	
1400	x	x	-	x				90°	120°
1650	-	-	x	-			90°		
1950	-	-	x	-				90°	
stand van de armen (max. uitvalshoek)									





3 montagemogelijkheden

U hebt de keuze uit **verschillende montagemogelijkheden**:

- op de **gevel**
- in de **dagopening**
- op het **raam**

> **US701**

Uitgerust met hoge zijconsoles voorzien van vaste bevestigingsposities. Dit type kan uitermate snel en rechtstreeks bevestigd worden op een ondergrond die voldoende stevig is.

> **US702**

Uitgerust met lage zijconsoles die geen dragende functie hebben. Er dienen bijgevolg steeds muurbeugels te worden gebruikt. Dit type is bedoeld voor de montage op een minder vaste ondergrond [zoals cement of hout]. Er zijn meerdere verplaatsbare montagepunten mogelijk zodat het scherm op de meest geschikte plaats kan bevestigd worden.

Bediening van uw uitvalschermb

U kunt uw Harol uitvalschermb op 2 manieren in- en uitrollen: handmatig of, dankzij een elektrische motor, met één druk op de knop. Bij een elektrische bediening zijn bovendien verschillende domoticasystemen mogelijk.

Verschillende bedieningsmogelijkheden:

- **Manueel:** met afneembare slingerstang (aan de buitenkant) of met stangbediening (aan de binnenkant)
- **Elektrisch:** met buismotor gekoppeld aan een elektronische schakelklok of een wind-zon besturing
- **Elektronisch:** elektrische buismotor gekoppeld aan een tijdschakelaar (op een vast tijdstip), een gegroepeerde bediening (voor alle schermen) of domotica

Automatisatiemogelijkheden:

- **Windsensor:** als er te veel wind is, wordt uw uitvalschermb automatisch ingerold
- **Zonnesensor:** bent u binnen druk bezig en begint de zon uitbundig te schijnen? Dan wordt het scherm automatisch opengerold
- **Regensensor:** bij regen wordt het uitvalschermb automatisch opgerold



Smoove zender



afstandsbediening



wind- en/of zonsensor

Blijf bij met de laatste trends.

Bezoek www.harol.be of www.harol.nl en klik op 'nieuws'.

Duurzame doeken in een stijlvol tintje

Het doek bepaalt hoe uw uitvalscherf eruit ziet. Harol levert u enkel doeken van topkwaliteit:

- > **Eindeloze keuzemogelijkheden:** effen kleuren, blokstrepen of fantasiestrepen? U kiest zelf welk doek het best past bij de kleur van het frame en de stijl van uw woning. En hebt u een handelszaak? Dan kunt u uw doek ook laten bedrukken of beletteren. De armen en de kast zijn verkrijgbaar in alle RAL-kleuren en structuurlakken zonder dat u daarvoor meer voor hoeft te betalen.
- > **Lange levensduur:** uw doek blijft lekker lang mooi, want Harol werkt enkel met speciaal behandelde acryl- en polyesterdoeken die schimmelwerend én vuilafstotend zijn.



Verschillende soorten uitvalscherf	Acryl	Polyester
Materiaal	In de massa gekleurde acrylvezels	Polyesterdraden omhuld met pvc
Dikte	+ 0,5 mm	+ 0,45 mm
Kleuren	Fantasie, blok- en unikleuren volgens collectieboek	Unikleuren volgens collectieboek
Troeven	> Eenvoudig onderhoud dankzij behandeling tegen rotting, schimmel en vuil > 100% kleurvast > Totale blokkering van uv-stralen [indien label UPF 50+] > Visueel comfort	> Uitstekende ventilatie-eigenschappen > Bescherming tegen uv-stralen > Gemakkelijk afwasbaar > Extreem bestand tegen weer en wind > Visueel comfort



Meer informatie over Harol uitvalschermen?

- Surf naar www.harol.be of www.harol.nl
- Of contacteer vrijblijvend uw Harol Specialist. U vindt zijn gegevens op de achterzijde van deze brochure.



Minder warmte, meer licht:
een combinatie om ja

Harol buitenjaloezieën

Buitenjaloezieën met **lamellen** (ARO 65, AR 80 en AR 92) blokkeren de warmte optimaal omdat ze de hitte van de voorgevel terugkaatsen, maar tegelijk meer licht binnenlaten. De constructie heeft een **strakke, eigentijdse look** en wordt langs de buitenkant op uw raam gemonteerd. Ze is ideaal voor **woningen, kantoorgebouwen en horecazaken** en kan naar keuze voorzien worden van manuele of elektrische bediening.

loers op te worden...

Screens

Uitvalschermen

Buitenjaloezieën



Verschillende types buitenjaloezieën				
		AR 63 ECN ARO 65	AR 80 ECN ARO 80	AR 92
Breedte lamellen		65 mm	80 mm	92 mm
Max. breedte		5000 mm	5000 mm	4000 mm
Max. hoogte		5200 mm	5200 mm	4600 mm
Extra windbescherming*		Ja	Ja	Ja
Max. oppervlakte		14 m ²	14 m ²	11,5 m ²
Max. pakkethoogte	1000	-	-	150
	2000	235	220	205
	3000	305	285	260
	4000	390	345	320
	5000	460	405	345

* optioneel is het mogelijk om extra spankabels te bekomen om uw buitenjaloezie beter te beschermen tegen wind.

Hoogwaardige materialen

- **Bovenrail:** verzinkt, U-vormig geprofileerd en koudgewalst profiel met flens aan beide zijden.
- Ladderkoord uit **duurzaam teryleenpolyester:** krimpvrij, thermisch gefixeerd, kleurvast.
- Optrekband met glijlaag voor **slijtvaste loop** en **maximale uv-bescherming**.
- Lamellen in **Z-, C- of S-vorm**.
- **Onderrail:** gesloten profiel uit **geëxtrudeerd aluminium**.
- Dankzij **omegavorming stansgat** is er een nog **langere levensduur** en wordt de **ladderkoord beter geleid**.



Bediening van uw buitenjaloezieën

U kunt de buitenjaloezieën van Harol bedienen met een stang. Maakt u het zich graag gemakkelijk? Kies dan voor een elektrische bediening, eventueel geïntegreerd in een domoticasysteem:

- **Afstandsbediening:** dankzij de bediening met scroltoets kan u de lamellen op elke positie laten stilstaan zodanig dat u zelfs het licht naar binnen kunt laten reflecteren. Optioneel kunt u er zelfs voor opteren om de onderste lamellen dicht te kantelen en de bovenste te laten openstaan. Zo vermijdt u vervelende zonnestralen op uw computerscherm of tv.
- **Windsensoren** beveiligen uw buitenjaloezieën tegen onverwachte windvlagen en hevige stormen.
- **Zonnesensoren** zorgen ervoor dat uw buitenjaloezieën worden neegerold bij zonneshijn.
- **Combinatie van wind-zonautomatisatie** zorgt ervoor dat de buitenjaloezieën automatisch worden gestuurd bij wind of zon.

Kleurmogelijkheden voor uw buitenjaloezieën

Voor uw buitenjaloezieën kiest u bij Harol zowel voor de lamellen als voor de geleiders en de kast uit verschillende kleuren:

- **Lamellen:** u kiest uit een twintigtal standaardkleuren.
- **Geleiders en kast:** u hebt de keuze uit alle RAL-kleuren.

Meer informatie over Harol buitenjaloezieën?

- Surf naar www.harol.be of www.harol.nl
- Of contacteer vrijblijvend uw **Harol Specialist**. U vindt zijn gegevens op de achterzijde van deze brochure.



5

redenen waarom Harol uw vertrouwen waard is



1 Plaatsing door **Specialisten**

Alle zonweringen van Harol worden bij u geplaatst door experts uit gespecialiseerde vakbedrijven. Stuk voor stuk kunnen zij een **jarenlange ervaring** in de branche voorleggen. Bovendien volgen ze op regelmatige basis **opleidingen bij Harol** inzake montagetechnieken, onderhoud en advies.

2 100% gegarandeerde kwaliteit

Niet alleen beantwoorden alle producten van Harol aan de **strengste kwaliteitseisen**, dat geldt ook voor de manier waarop ze vervaardigd en geleverd worden. Harol biedt u dan ook een kwaliteitsgarantie van vijf jaar!

3 Enkel maatwerk

Alle Harol zonweringen kunnen maximaal aangepast worden **aan uw behoeften**. Wilt u manuele of elektrische bediening? Met of zonder domoticsysteem? Vertel **uw wensen** aan uw Harol Specialist, en hij maakt ze waar. Zin in een apart kleurtje? Ook hier hebt u keuze genoeg. De doeken kiest u uit een ruim palet aan stoffen, kleuren en motieven. Kortom: **bij Harol vindt u gegarandeerd uw gading**.



4 Makkelijk te bedienen

Onze zonweringen zijn leverbaar met **manuele of elektrische bediening**, en kunnen desgewenst uitgerust worden met een **wind-zonautomaat** en/of **regensensor**. Zo bepaalt u zelf hoe u de temperatuur in uw woning onder controle wenst te houden, en kunt u uw zonwering automatisch beschermen tegen weer en wind.



5 Full service van begin tot einde

Een zonwering kiest u niet zomaar. Daarom staat uw Harol Specialist **steeds voor u klaar**. Op basis van uw wensen en noden wijst hij u de weg naar de ideale oplossing. Als expert met een jarenlange ervaring zorgt hij voor een **perfecte plaatsing**. U kunt bij hem terecht voor vragen over materialen, kleuren en onderhoud. En ook op zijn **dienst na verkoop** kunt u voor de volle 100% vertrouwen. Bij Harol koopt u meer dan een product: u krijgt er een uitstekende service bij!



je mee ?

Bijna-Energie-Neutraal bouwen is zorgen voor morgen

BEN wordt vanaf 2021 de standaard in heel Europa. Heeft u bouwplannen, bouw dan nu al BEN. Want met BEN-bouw maakt u de slimste keuze: zodat u heel **energiezuinig** kunt wonen, met **groene energie** én een **lage energiefactor**. BEN bouwen da's zorgen voor morgen en nu al genieten van **stevige premies** en een **voordelig krediet**.

Kijk op www.energiesparen.be/ben

HAROL

Meer gegevens over Harol zonneschermen?

- Surf naar www.harol.be of www.harol.nl
- Of contacteer vrijblijvend uw **Harol Specialist**. U vindt zijn gegevens op de achterzijde van deze brochure.

HAROL België nv

Industrieterrein 1/3
I.Z. Webbekom 1025 - 3290 Diest
Tel. 013/38 01 11
Fax 013/31 48 03
www.harol.be

HAROL Nederland bv

Paardeweide 12 NL - 4824 EH Breda
Tel. 076/542 70 69
Fax 076/541 84 58
www.harol.nl

Uw Harol Specialist:

HAROL®