

# Energiestudie van een gebouw

Keuze van de verwarmings- en koelinstallatie

**Rani GAMBY**

Promotor: Ir. J. Ver Elst

Co-promotor: *Ing. Inne Bertels*

Masterproef ingediend tot het behalen van de  
graad van master of Science in de industriële  
wetenschappen: *energie*

Academiejaar 2018-2019



© Copyright KU Leuven

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van zowel de promotor(en) als de auteur(s) is overnemen, kopiëren, gebruiken of realiseren van deze uitgave of gedeelten ervan verboden. Voor aanvragen i.v.m. het overnemen en/of gebruik en/of realisatie van gedeelten uit deze publicatie, kan u zich richten tot KU Leuven Campus Geel, Kleinhoefstraat 4, B-2440 Geel, +32 14 72 13 00 of via e-mail [iiw.geel@kuleuven.be](mailto:iiw.geel@kuleuven.be).

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

# Voorwoord

Als laatstejaarsstudent in de industriële wetenschappen: energie, behandelt deze masterproef een juiste keuze maken van een koelinstallatie en het bepalen van energieverbruiken van gebouwen.

Deze masterproef is bepaald in het kader van het behalen van het diploma master in de industriële wetenschappen: energie. Graag wil ik enkele personen bedanken die hebben bijgedragen om deze masterproefscriptie tot een goed eind te brengen.

In de eerste plaats wil ik graag mijn stagebedrijf Studiebureau Forté bedanken voor al de mogelijkheden die ze me gegeven hebben. In het bijzonder wil ik mijn bedrijfspromotor Inne Bertels bedanken voor de goede begeleiding gedurende deze periode. Graag wil ik de collega's van Studiebureau Forté en de collega's van het Geels Architectenbureau bedanken voor de fijne samenwerking.

Verder wil ik mijn stagebegeleider Jan Ver Elst bedanken voor de goede opvolging, raad en tips. Mijn ouders en broer wil ik graag bedanken om me te steunen gedurende mijn opleiding.

# Inleiding

Deze masterproef is gerealiseerd op studiebureau Forté te Geel. Studiebureau Forté is opgericht in 2000 door Fons Backx met de nadruk op stabiliteitsstudies. Na enkele jaren is er steeds meer vraag naar studies van technieken in gebouwen. Op dit moment specialiseert studiebureau Forté zich in zowel stabiliteitsstudies als studies van technieken. Deze masterproef situeert zich op de afdeling technieken van studiebureau Forté onder leiding van Inne Bertels.

De volledige studie van de technieken in een gebouw hangt nauw samen met het verbruik van een gebouw. Om een goede inschatting te kunnen maken van het verbruik zal in deze masterproef een rekenblad worden opgesteld. Met het rekenblad zal op een eenvoudige manier een nauwkeurige inschatting gemaakt worden van het verbruik aan verwarming en koeling van een gebouw.

Om tot het rekenblad te bekomen wordt er eerst besproken hoe de berekeningen gemaakt worden en waarop deze steunen. Als eerste toepassing zal het piekverbruik in koeling worden berekend van een kantoorgebouw. Met behulp van dynamische gebouwsimulatiesoftware worden er simulaties uitgevoerd om van het kantoorgebouw het jaarverbruik en piekvermogen in verwarming en koeling te bekomen. Als tweede toepassing worden bouwkundige optimalisaties zoals het plaatsen van zonwering bekeken. Dit wordt toegepast op een raadhuis met behulp van dynamische gebouwsimulatiesoftware.

Er wordt een vergelijking gemaakt tussen de resultaten bekomen uit de berekeningen en simulaties met software. Hierna zullen simulaties worden uitgevoerd voor een standaard school- en kantoorgebouw waarmee het rekenblad zal worden opgesteld. Als controle van de correctheid van het rekenblad wordt deze getest op verschillende gebouwen.

Om een gebouw te voorzien van verwarming en koeling zijn er tal van mogelijkheden in systemen. In deze masterproef zal een vergelijking tussen de meest voorkomende systemen en hun verbruikers worden opgesteld. De keuze naar de juiste verwarmings- en koelinstallaties is niet enkel afhankelijk van de kostprijs van de installatie maar van het gewenste comfort, de esthetiek, het onderhoud, de levensduur en de verbruikskost van de installatie.

Om een goede keuze te kunnen maken in installatie zal er een *life cycle cost* worden bepaald op 15 jaar. De installatie die voldoet aan het gewenste comfort, het gewenste esthetisch effect en met de laagste *life cycle cost* na 15 jaar zal de beste keuze zijn voor het gebouw. De juiste keuze in installatie wordt toegepast op het kantoorgebouw uit de voorgaande hoofdstukken.

# Samenvatting

Vandaag de dag is het energieverbruik in gebouwen steeds belangrijker. Dit heeft als gevolg dat isolatie in nieuwbouwprojecten steeds efficiënter wordt. Hierdoor wordt de warmte in een gebouw gedurende de zomerperiode beter vastgehouden met een grotere koelvraag als gevolg.

Het grootst aantal projecten binnen Studiebureau Forté zijn kantoor- en schoolgebouwen. Per ontwerp dient er rekening gehouden te worden met de specifieke eisen van de bouwheer. Er wordt gekeken naar het comfort, het budget en de technische mogelijkheden van het gebouw. Deze masterproef focust zich op de koelinstallatie. De meest voorkomende opwekkers van koeling worden besproken, alsook de verschillende verbruikers die voor de koeling in het gebouw zorgen.

Om een goede systeemkeuze te maken dient het piekverbruik van een gebouw bepaald te worden. Het piekverbruik bepaalt de grootte van de installatie en zo de installatiekost. Er worden berekeningen uitgevoerd naar het warmteverlies van een gebouw. Deze zijn telkens opgesteld per ruimte wat een nauwkeurig resultaat met zich meebrengt. Verder wordt er een koellastberekening gemaakt van het gebouw. De koellastberekening houdt rekening met interne warmtewinsten afkomstig van computers, printers, personen, verlichting, etc. De koellastberekening houdt tevens rekening met externe warmtewinsten, afkomstig van zoninstraling.

Bouwkundige optimalisaties van gebouwen zorgen voor een reductie in de koelvraag van een gebouw. Hierbij wordt nagegaan wat het effect is van zonwering op een gebouw. Dient er zonwering op elk raam geplaatst te worden of is het voldoende enkel de zuid-gerichte ramen te voorzien? Welk type zonwering wordt het best geplaatst en dient hier vooraf rekening mee gehouden te worden? In deze masterproef worden verschillende types van zonwering besproken alsook wordt de levensduur en de onderhoudskost in kaart gebracht.

Met dynamische gebouwsimulatie software worden gebouwen gesimuleerd om zowel het piekverbruik als het jaarverbruik te kennen. Dynamische gebouwsimulatie software houdt rekening met de stand van de zon op elk moment waaruit schaduwvorming kan worden afgeleid. De interne warmtewinsten kunnen uitgebreid worden ingevoerd zoals de verlichting, bezetting of het werk dat verricht wordt in de ruimtes. Het jaarverbruik dat bekomen wordt zal de verbruikskost van een installatie bepalen.

Het bekomen verbruik uit de simulatie moet in theorie hetzelfde zijn als het verbruik bekomen uit berekeningen. Om het energieverbruik van een gebouw snel te kunnen inschatten wordt een eenvoudig rekenblad opgesteld. Dit rekenblad zal rekening houden met de grootte van het gebouw, het aantal ramen en de oriëntatie naar waar deze gericht zijn. Alsook de verschillende interne en externe warmtewinsten.

Een handige rekentool die het energieverbruik van gebouwen kan weergeven reduceert het studiewerk. Er wordt een controle uitgevoerd naar de juistheid van de rekentool door het rekenblad op verschillende gebouwen toe te passen.

De keuze naar de verwarmings- en koelinstallatie is niet enkel afhankelijk van de kostprijs van de installatie maar van het gewenste comfort, de esthetiek, het onderhoud, de levensduur en de verbruikskost. De installatiekost, verbruikskost en onderhoudskosten worden op een periode van 15 jaar bekeken, deze totaal kost wordt de *life cycle cost* genoemd. Er wordt geopteerd voor het systeem met de laagste *life cycle cost*.

# Abstract

Nowadays the energy consumption of buildings is becoming increasingly important. New construction projects therefore have more efficient isolation. Because of the better isolation, heat is being trapped in the building during a hot period which leads to an increase in cooling demand of that building.

Most projects of the study bureau Forté are office and school buildings. For each design, the client's specific requirements for the comfort, budget and technical possibilities of the building must be considered to make a good choice in the heating and cooling system. This Thesis focuses specifically on cooling installations. The most common generators of cooling are discussed, as well as the various energy consumers who provide the cooling in the building.

To pick the right system, the peak consumption of a building must be determined. The peak consumption determines the size of the installation and therefore also the installation cost. Calculations are performed on the heat loss of a building. These are always arranged per room in the building, which results in an accurate result. Furthermore, a cooling load calculation is made for the building. A cooling load calculation considers internal heat gains from computers, printers, specific devices, people, lightning etc. The cooling load calculation also considers external heat gains that come from solar radiation.

Architectural optimization of a building leads to a decrease in demand of cooling. With architectural optimization the effect of sun block is investigated on a building. Should every window be sun blocked or only those oriented in southern direction? Which type of sun block should be used for best result and is it necessary to take this into account on preparatory level? For each type of sun block it is also necessary to take the maintenance costs and life time into account.

With the use of dynamic simulation software, the peak- and annual consumption is simulated. This software always considers the positioning of the sun and the forming of the shadow. The internal heat gain can also be considered, such as lightning, occupation, the type of work that is being carried out, etc. The annual consumption that is obtained this way will determine the consumption cost of an installation.

The obtained consumption from the calculation tool should be the same as the consumption obtained from the simulations. To quickly estimate the energy consumption of a building, a simple tool is set up. This tool considers the size of the building, the amount of glass combined with its orientation. It also considers the different internal and external heat gains. A handy calculation tool that displays the energy consumption of a building reduces the study work. A check is performed of the correctness of the calculation tool by testing it on several buildings.



To make a choice in the different systems to cool a building, the maintenance cost of each system must be considered. The installation cost, consumption costs and maintenance costs are reviewed over a period of 15 years. This total cost is also called the life cycle cost. We opt for the system with the lowest life cycle cost.

**Keywords:** system choice, cooling demand, heating system, cooling system, life cycle cost

# INHOUD

|                                              |           |
|----------------------------------------------|-----------|
| Voorwoord .....                              | i         |
| Inleiding .....                              | ii        |
| Samenvatting.....                            | iii       |
| Abstract .....                               | v         |
| AFBEELDINGEN.....                            | x         |
| TABELLEN .....                               | xii       |
| Symbolenlijst.....                           | xiv       |
| Lijst met afkortingen .....                  | xv        |
| <b>1 Ontwerpkeuzes.....</b>                  | <b>1</b>  |
| 1.1 Productie.....                           | 1         |
| 1.1.1 Koelmachine .....                      | 1         |
| 1.1.2 Warmtepomp .....                       | 1         |
| 1.2 Verbruikers.....                         | 2         |
| 1.2.1 Lucht.....                             | 2         |
| 1.2.2 Water .....                            | 3         |
| <b>2 Berekening piekvermogen.....</b>        | <b>6</b>  |
| 2.1 Warmteverliesberekening.....             | 9         |
| 2.1.1 Norm .....                             | 9         |
| 2.2 Koellastberekening.....                  | 9         |
| 2.2.1 Norm .....                             | 9         |
| 2.2.2 Thermische massa.....                  | 10        |
| 2.2.3 Ventilatie .....                       | 12        |
| 2.2.4 Infiltratie .....                      | 13        |
| 2.2.5 Verlichting .....                      | 13        |
| 2.2.6 Berekening warmtewinsten .....         | 14        |
| 2.3 Piekvermogen van een kantoorgebouw ..... | 15        |
| 2.3.1 Verwarming.....                        | 17        |
| 2.3.2 Koellastberekening.....                | 18        |
| <b>3 Simulatie jaarverbruik.....</b>         | <b>19</b> |
| 3.1 Bouwkundige optimalisatie.....           | 19        |
| 3.1.1 Bepalen van het koelvermogen .....     | 20        |

|          |                                                   |           |
|----------|---------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.2    | Overschrijdingsuren bepalen.....                  | 30        |
| 3.1.3    | Samenvatting warmtewinsten .....                  | 35        |
| 3.1.4    | Algemeen besluit .....                            | 36        |
| 3.2      | <i>Bepalen van het jaarverbruik</i> .....         | 38        |
| 3.2.1    | Functie van het gebouw .....                      | 38        |
| 3.2.2    | Constructie van het gebouw .....                  | 41        |
| 3.2.3    | Koelregime 26/32°C .....                          | 43        |
| 3.2.4    | Koelregime 24/32°C .....                          | 45        |
| 3.2.5    | Algemene conclusie .....                          | 46        |
| 3.3      | <i>Bepalen van het piekvermogen</i> .....         | 46        |
| 3.3.1    | Bespreking resultaten .....                       | 47        |
| <b>4</b> | <b>Vergelijking berekening en simulatie</b> ..... | <b>48</b> |
| 4.1      | <i>Vergelijking</i> .....                         | 48        |
| 4.1.1    | Gebruiksuren .....                                | 48        |
| 4.1.2    | Ventilatie .....                                  | 49        |
| 4.1.3    | Verlichting .....                                 | 50        |
| 4.1.4    | Apparatuur .....                                  | 51        |
| 4.1.5    | Metabolisme.....                                  | 51        |
| 4.1.6    | Infiltratie .....                                 | 51        |
| 4.1.7    | Constructie van het gebouw .....                  | 52        |
| 4.1.8    | Verwarming.....                                   | 53        |
| 4.1.9    | Koeling.....                                      | 56        |
| 4.1.10   | Zonwering.....                                    | 57        |
| 4.1.11   | Algemene conclusie .....                          | 61        |
| 4.2      | <i>Controle</i> .....                             | 62        |
| 4.2.1    | Gebruiksuren .....                                | 62        |
| 4.2.2    | Ventilatie .....                                  | 62        |
| 4.2.3    | Verlichting .....                                 | 62        |
| 4.2.4    | Bezetting .....                                   | 62        |
| 4.2.5    | Apparatuur .....                                  | 63        |
| 4.2.6    | Constructie.....                                  | 63        |
| 4.2.7    | Infiltratie .....                                 | 63        |
| 4.2.8    | Resultaten.....                                   | 64        |
| 4.2.9    | Conclusie .....                                   | 66        |

|          |                                               |           |
|----------|-----------------------------------------------|-----------|
| 4.3      | <i>Toepassing verschillende gebouwen.....</i> | 66        |
| 4.3.1    | <i>Bespreking resultaten .....</i>            | 67        |
| <b>5</b> | <b>Keuze van het systeem .....</b>            | <b>68</b> |
| 5.1      | <i>Comfort .....</i>                          | 68        |
| 5.2      | <i>Esthetiek .....</i>                        | 68        |
| 5.3      | <i>Kost van een systeem.....</i>              | 71        |
| 5.3.1    | <i>Dimensionering .....</i>                   | 72        |
| 5.3.2    | <i>Installatiekost .....</i>                  | 73        |
| 5.3.3    | <i>Onderhoudskosten.....</i>                  | 78        |
| 5.3.4    | <i>Verbruikskosten .....</i>                  | 78        |
| 5.3.5    | <i>Stilstandsverliezen .....</i>              | 80        |
| 5.4      | <i>Levensduur .....</i>                       | 81        |
| 5.5      | <i>Vergelijking .....</i>                     | 81        |
| 5.6      | <i>Besluit.....</i>                           | 83        |
|          | <b>REFERENTIES .....</b>                      | <b>85</b> |
|          | <b>BIJLAGEN .....</b>                         | <b>86</b> |

# AFBEELDINGEN

---

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Figuur 1-1 Koelmachine [1] .....                                      | 1  |
| Figuur 1-2 Schematische voorstelling warmtepomp [2].....              | 1  |
| Figuur 1-3 Wandmodel [3] .....                                        | 2  |
| Figuur 1-4 Opbouw unit [3] .....                                      | 2  |
| Figuur 1-5 Inbouw unit [3].....                                       | 3  |
| Figuur 1-6 Inbouw satelliet [3].....                                  | 3  |
| Figuur 1-7 Klimaatplafond [5].....                                    | 4  |
| Figuur 2-1 Architecturale schets Raadhuis [8] .....                   | 6  |
| Figuur 2-2 Grondplan Raadhuis [8] .....                               | 6  |
| Figuur 2-3 Architecturale tekening kantoorgebouw .....                | 15 |
| Figuur 2-4 Grondplan kantoorgebouw .....                              | 16 |
| Figuur 2-5 Visualisatie kantoorgebouw.....                            | 17 |
| Figuur 3-1 Schematische voorstelling Raadhuis .....                   | 19 |
| Figuur 3-2 Situatie 1 .....                                           | 21 |
| Figuur 3-3 Temperatuursverloop en warmtewinsten situatie 1 [11].....  | 21 |
| Figuur 3-4 Situatie 2 .....                                           | 22 |
| Figuur 3-5 Temperatuursverloop en warmtewinsten situatie 2 [11].....  | 22 |
| Figuur 3-6 Situatie 3 .....                                           | 23 |
| Figuur 3-7 Temperatuursverloop en warmtewinsten situatie 3 [11].....  | 23 |
| Figuur 3-8 Situatie 4 .....                                           | 24 |
| Figuur 3-9 Temperatuursverloop en warmtewinsten situatie 4 [11].....  | 24 |
| Figuur 3-10 Situatie 5 .....                                          | 25 |
| Figuur 3-11 Temperatuursverloop en warmtewinsten situatie 5 [11]..... | 25 |
| Figuur 3-12 Situatie 6 .....                                          | 26 |
| Figuur 3-13 Temperatuursverloop en warmtewinsten situatie 6 [11]..... | 26 |
| Figuur 3-14 Situatie 7 .....                                          | 27 |
| Figuur 3-15 Temperatuursverloop en warmtewinsten situatie 7 [11]..... | 27 |
| Figuur 3-16 Situatie 8 .....                                          | 28 |
| Figuur 3-17 Temperatuursverloop en warmtewinsten situatie 8 [11]..... | 28 |
| Figuur 3-18 3D model [11].....                                        | 29 |
| Figuur 3-19 3D model met schaduw [11] .....                           | 29 |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Figuur 3-20 Situatie 1 .....                                     | 30 |
| Figuur 3-21 Operatieve temperatuur situatie 1 [11].....          | 31 |
| Figuur 3-22 Overschrijdingsuren situatie 1 [11] .....            | 31 |
| Figuur 3-23 Situatie 3 .....                                     | 32 |
| Figuur 3-24 Operatieve temperatuur situatie 3 [11].....          | 32 |
| Figuur 3-25 Overschrijdingsuren situatie 3 [11] .....            | 32 |
| Figuur 3-26 Situatie 4 .....                                     | 33 |
| Figuur 3-27 Operatieve temperatuur situatie 4 [11].....          | 33 |
| Figuur 3-28 Overschrijdingsuren situatie 4 [11] .....            | 33 |
| Figuur 3-29 Situatie 8 .....                                     | 34 |
| Figuur 3-30 Operatieve temperatuur situatie 8 [11].....          | 34 |
| Figuur 3-31 Overschrijdingsuren situatie 8 [11] .....            | 34 |
| Figuur 3-32 Piekvermogen maand juli [11] .....                   | 46 |
| Figuur 4-1 Verbruiksprofiel school [11] .....                    | 48 |
| Figuur 4-2 Verbruiksprofiel kantoor [11].....                    | 49 |
| Figuur 4-3 Verloop warmteverliezen ifv zonwerend glas.....       | 54 |
| Figuur 4-4 Warmteverliezen ifv niet zonwerend glas .....         | 55 |
| Figuur 4-5 Zonnedoek .....                                       | 57 |
| Figuur 4-6 Lamellen 50% .....                                    | 58 |
| Figuur 4-7 Oversteek 50%.....                                    | 58 |
| Figuur 4-8 Besparingen koelverbruik geïsoleerd gebouw .....      | 59 |
| Figuur 4-9 Besparingen koelverbruik niet geïsoleerd gebouw ..... | 60 |
| Figuur 5-1 Voorstelling opbouw unit .....                        | 69 |
| Figuur 5-2 Inbouw satelliet voorstelling [14].....               | 69 |
| Figuur 5-3 Inbouw unit voorstelling [14] .....                   | 69 |
| Figuur 5-4 Statische koelbalk voorstelling [4].....              | 70 |
| Figuur 5-5 Dynamische koelbalk voorstelling [16].....            | 70 |
| Figuur 5-6 Klimaatplafond voorstelling [17].....                 | 70 |
| Figuur 5-7 Betonkernactivering voorstelling [18] .....           | 70 |

# TABELLEN

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2-1 Samenvattende tabel EPB voorschriften .....          | 7  |
| Tabel 2-2 Thermische massa van een muur.....                   | 10 |
| Tabel 2-3 Thermische massa doorzichtige constructies .....     | 11 |
| Tabel 2-4 Thermische massa dak .....                           | 12 |
| Tabel 2-5 Samenvatting warmtewinsten .....                     | 14 |
| Tabel 2-6 Piekvermogen verwarming .....                        | 17 |
| Tabel 2-7 Piekvermogen koeling .....                           | 18 |
| Tabel 3-1 Situaties .....                                      | 20 |
| Tabel 3-2 Vergelijking van de warmtewinsten.....               | 35 |
| Tabel 3-3 Overzicht koelvermogen.....                          | 37 |
| Tabel 3-4 Samenvatting overschrijdingsuren.....                | 37 |
| Tabel 3-5 Bezettingsgraad .....                                | 39 |
| Tabel 3-6 Verbruik sanitair warm water .....                   | 39 |
| Tabel 3-7 Temperaturen in het kantoorgebouw .....              | 40 |
| Tabel 3-8 Apparatuur in het kantoorgebouw.....                 | 41 |
| Tabel 3-9 U-waardes kantoren .....                             | 41 |
| Tabel 3-10 U-waardes magazijn.....                             | 41 |
| Tabel 3-11 Toevoerdebieten ventilatie.....                     | 43 |
| Tabel 3-12 Jaarverbruiken per zone .....                       | 44 |
| Tabel 3-13 Verschil in koelregime .....                        | 45 |
| Tabel 3-14 Koelvermogen per zone maand juli .....              | 47 |
| Tabel 4-1 Warmteverlies door ventilatie .....                  | 50 |
| Tabel 4-2 Metabolisme .....                                    | 51 |
| Tabel 4-3 Infiltratie.....                                     | 52 |
| Tabel 4-4 Bijkomende warmteverbruiken geïsoleerd gebouw.....   | 53 |
| Tabel 4-5 Bijkomend warmteverlies niet geïsoleerd gebouw ..... | 54 |
| Tabel 4-6 Bijkomend koelverbruik geïsoleerd gebouw.....        | 56 |
| Tabel 4-7 Bijkomend koelverbruik niet geïsoleerd gebouw .....  | 56 |
| Tabel 4-8 Effect van zonwering op het koelverbruik .....       | 58 |
| Tabel 4-9 Constructie van het gebouw .....                     | 63 |
| Tabel 4-10 Warmteverlies .....                                 | 64 |
| Tabel 4-11 Koellast .....                                      | 64 |

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 4-12 Jaarverbruik verwarming .....                     | 64 |
| Tabel 4-13 Interne warmtewinsten berekening .....            | 65 |
| Tabel 4-14 Interne warmtewinsten rekenblad .....             | 65 |
| Tabel 4-15 Jaarverbruik koeling .....                        | 65 |
| Tabel 4-16 Vergelijking .....                                | 66 |
| Tabel 4-17 Overzicht gebouwen .....                          | 67 |
| Tabel 4-18 Resultaten verschillende gebouwen .....           | 67 |
| Tabel 5-1 Comfortwens .....                                  | 68 |
| Tabel 5-2 Visuele voorstelling verbruikers .....             | 69 |
| Tabel 5-3 Esthetiek .....                                    | 71 |
| Tabel 5-4 Totaal installatievermogen koeling.....            | 72 |
| Tabel 5-5 Totaal installatievermogen verwarming.....         | 72 |
| Tabel 5-6 Energieproductie systeem 1 .....                   | 73 |
| Tabel 5-7 Energieproductie systeem 2 .....                   | 74 |
| Tabel 5-8 Energieproductie systeem 3 .....                   | 74 |
| Tabel 5-9 Energieproductie systeem 4 .....                   | 75 |
| Tabel 5-10 Installatiekost technische ruimte .....           | 75 |
| Tabel 5-11 Leidingnetwerk en afgifte .....                   | 76 |
| Tabel 5-12 Totale installatiekost .....                      | 77 |
| Tabel 5-13 Bepaling van de onderhoudskost.....               | 78 |
| Tabel 5-14 Jaarverbruik kantoorgebouw .....                  | 78 |
| Tabel 5-15 Energieprijzen .....                              | 79 |
| Tabel 5-16 Verbruikskost systeem 1.....                      | 79 |
| Tabel 5-17 Verbruikskost voor de vier systemen .....         | 80 |
| Tabel 5-18 Bepaling kost van de stilstandsverliezen .....    | 81 |
| Tabel 5-19 Life cycle cost.....                              | 82 |
| Tabel 5-20 Life cycle cost met stijgende energieprijzen..... | 83 |



# Symbolenlijst

|             |                            |                      |
|-------------|----------------------------|----------------------|
| $c$         | Soortelijke warmte         | [J/kgK]              |
| $d$         | Dikte                      | [m]                  |
| $g$         | Zonnetoetredingsfactor     | [-]                  |
| $m_{th}$    | Thermische massa           | [kg/m <sup>2</sup> ] |
| $q$         | Massadebiet                | [m <sup>3</sup> /s]  |
| $q_{lucht}$ | Luchtverversingsdebiet     | [ac/h]               |
|             |                            |                      |
| $A$         | Oppervlakte                | [m <sup>2</sup> ]    |
| $E$         | Verlichtingssterkte        | [lux]                |
| $E$         | Energieverbruik            | [kWh]                |
| $RV$        | Relatieve vochtigheid      | [%]                  |
| $P$         | Vermogen                   | [W]                  |
| $TI$        | Lichttransmissie           | [%]                  |
| $T_{max}$   | Maximum temperatuur        | [°C]                 |
| $U$         | Warmtedoorgangscoefficiënt | [W/m <sup>2</sup> K] |
|             |                            |                      |
| $\Delta T$  | Temperatuurverschil        | [K]                  |
| $\eta$      | Rendement                  | [%]                  |
| $\rho$      | Dichtheid                  | [kg/m <sup>3</sup> ] |
| $\varphi$   | Warmteflux                 | [W]                  |

# Lijst met afkortingen

|        |                                                                                           |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| ASHRAE | American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning                             |
| ATIC   | Association Royale de la Technique du chauffage, de la ventilation et de la climatisation |
| ARAB   | Algemeen reglement voor de arbeidsbescherming – Codex voor het welzijn op het werk        |
| COP    | Coefficient of Performance                                                                |
| EER    | Energy Efficiency Ratio                                                                   |
| EPB    | EnergiePrestatie en Binnenklimaat                                                         |
| Etc    | Et cetera                                                                                 |
| ISSO   | Instituut voor Studie en Stimulering van Onderzoek                                        |
| LED    | Light-emitting diode                                                                      |
| NBN    | Nederlands: Bureau voor Normalisatie                                                      |
| PVC    | Polyvinylchloride                                                                         |
| 3D     | Driedimensionaal                                                                          |

# 1 ONTWERPKEUZES

## 1.1 Productie

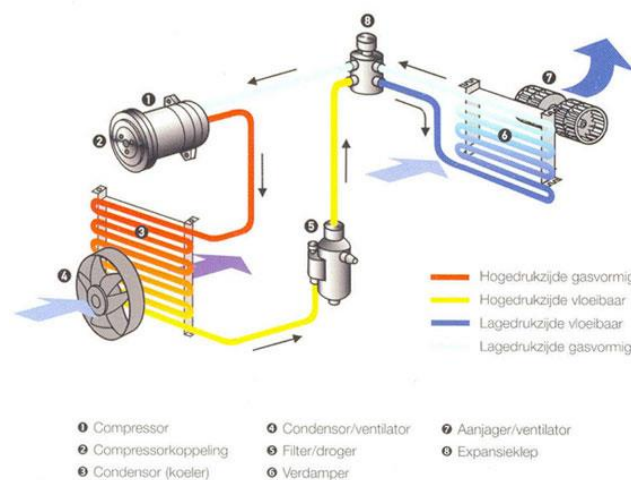
Doordat gebouwen steeds beter geïsoleerd worden zal er naast een warmtevraag meer vraag zijn naar koeling van het gebouw. Met een koelsysteem of airconditioning zal de temperatuur en luchtvochtigheid zodanig ingeregeld worden, zodat een aangename ruimtetoestand bereikt wordt. Er zijn verschillende systemen op de markt om koude te produceren. Om een juiste keuze te kunnen maken dient er rekening gehouden te worden met het gewenste comfort, de installatiekost, verbruikskost en de onderhoudskost van elk systeem. De werking van de meest voorkomende systemen wordt verder besproken. De keuze van het systeem zal besproken worden in hoofdstuk 5.

### 1.1.1 Koelmachine

Een koelmachine of split-aircosysteem werkt volgens het principe van een warmtepomp om te koelen. De warmtepomp wordt vaak toegepast in combinatie met een gasketel om bij koude buitentemperaturen ruimtes te kunnen verwarmen. Een split-aircosysteem bestaat uit een binnen-en buitenunit die met elkaar verbonden zijn. De airco zal warmte onttrekken uit de ruimte via de binnenunit en de warmte afvoeren via de buitenunit. Een schematische voorstelling van een koelmachine wordt weergegeven in Figuur 1-1.

In de binnenunit bevindt zich de compressor die het koelmiddel zal rondpompen. Lucht van de ruimte geeft door een ventilator warmte aan de compressor af. De relatieve luchtvochtigheid neemt hierdoor toe. De absolute vochtigheid van de ruimte zal afnemen waardoor de ruimtelucht droger aanvoelt. Koelvloeistof komt in contact met warme lucht en zal verdampen. Warmte wordt uit de warme binnenlucht onttrokken waardoor de ruimte afkoelt. De condensor in de buitenunit zal het gas doen condenseren. Door de koude buitenlucht condenseert het warme gas en geeft zijn warmte af. Via een aparte leiding wordt het condenswater opgevangen en afgevoerd. Het gas wordt terug koelvloeistof en zal opnieuw naar de binnenunit stromen.

Dit systeem kan een omkeerventiel bevatten zodat in de winter verwarmd kan worden. [1]



Figuur 1-1 Koelmachine [1]

### Voordelen

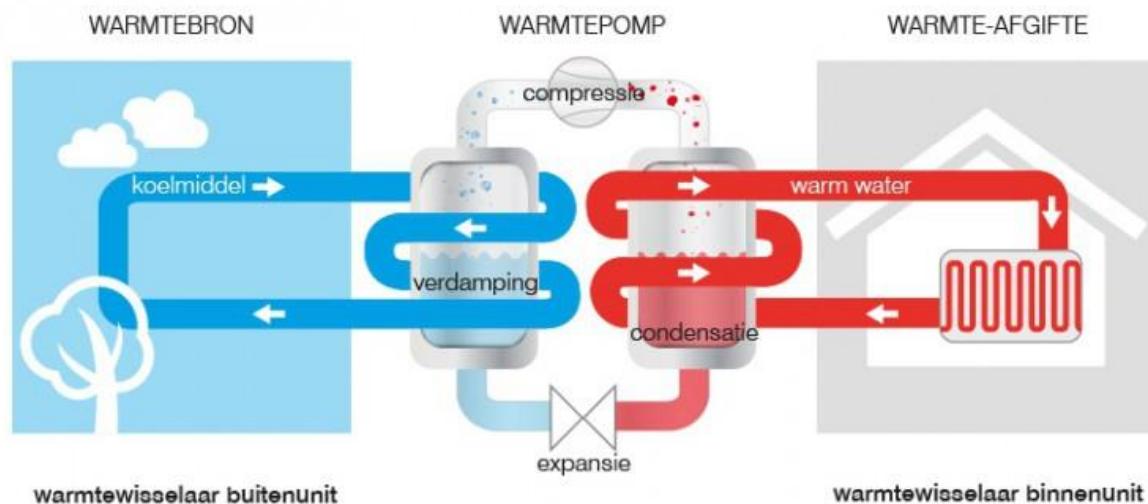
- ✓ Eenvoudig systeem
- ✓ Goedkoop
- ✓ Koelen en verwarmen mogelijk

### Nadelen

- ✓ Rendement lager omwille van rondpompen van gas in plaats van een vloeistof
- ✓ Gebruikt veel energie
- ✓ Onderhoud nodig
- ✓ Koelmiddel nodig → niet milieuvriendelijk
- ✓ Hoge geluidsproductie
- ✓ Luchtstroom

## 1.1.2 Warmtepomp

De warmtepomp kan door een omkeerventiel zowel koelen als verwarmen. Een warmtepomp zal warmte uit de omgeving opnemen. De warmtebron kan bestaan uit zowel buitenlucht als de bodem die nagenoeg een constante temperatuur heeft. De warmte uit de warmtebron zal met behulp van een koelvloeistof getransporteerd worden naar de compressor. De koelvloeistof warmt op door de warmte van de warmtebron en verdampt verder. De dampen in de compressor worden onder hoge druk samengeperst totdat ze een hogere temperatuur bereikt hebben dan de warmtebron. De damp komt vervolgens in de condensor terecht waar die zijn warmte zal afgeven aan het systeem aanwezig in de woning. Het expansieventiel zorgt ervoor dat de cyclus zich kan herhalen. De vloeistof wordt naar buiten gestuurd waar de vloeistof kan verdampen. De schematische voorstelling van een warmtepomp is terug te vinden in Figuur 1-2. [2]



Figuur 1-2 Schematische voorstelling warmtepomp [2]

### 1.1.2.1 Lucht/water

De lucht/water warmtepomp zal warmte onttrekken uit de buitenlucht en deze in de woning afgeven aan een watercircuit. Om een gebouw te koelen worden bij lucht/water warmtepompen vaak koelbalken, klimaatplafonds en betonkernactivering toegepast.

### **1.1.2.2 Lucht/lucht**

De lucht/lucht warmtepomp zal warmte onttrekken uit de buitenlucht en deze afgeven in de woning aan systemen die lucht inblazen. Voorbeelden hiervan zijn de gekende airco's.

### **1.1.2.3 Grond/water**

De grond/water warmtepomp zal warmte onttrekken uit de bodem en deze in de woning afgeven aan een watercircuit. De grond/water warmtepomp heeft dezelfde verbruikers als een lucht/water warmtepomp. De productie van warmte komt uit een andere warmtebron.

## **1.2 Verbruikers**

Aan de binnenzijde van een gebouw bestaan er verschillende systemen om het gebouw te voorzien in koeling en/of verwarming. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt in het soort warmtebron dat toegepast wordt binnenin het gebouw. Naargelang het gewenste comfort wordt de keuze van de gebruiker beïnvloed. De meest voorkomende systemen die tegenwoordig worden toegepast om een gebouw te koelen worden verder besproken.

### **1.2.1 Lucht**

Er bestaan verschillende uitvoeringen van split- aircosystemen. Niet elk model is geschikt voor iedere toepassing. De keuze van het type uitvoering is sterk afhankelijk van de toepassing van de ruimte. Enkele typische nadelen bij elke uitvoering worden verder kort besproken. Met pijlen wordt telkens weergegeven hoe de unit lucht zal aanzuigen uit de ruimte en waar de unit verse lucht zal uitblazen in de ruimte.

#### **1.2.1.1 Wandmodel**



**Figuur 1-3 Wandmodel [3]**

Het wandmodel heeft als nadeel dat er een minder goede luchtspreiding plaatsvindt en door de hoge luchtsnelheden zal er tocht ter hoogte van de unit optreden. Een voorbeeld van een wandmodel is voorgesteld in Figuur 1-3.

#### **1.2.1.2 Opbouw unit**



**Figuur 1-4 Opbouw unit [3]**

De opbouw unit heeft als nadeel dat de geluidsproductie hoog ligt en er een luchtstroom zal optreden. Een voorbeeld van een opbouwunit is voorgesteld in Figuur 1-4.

#### **1.2.1.3 Inbouw unit**



**Figuur 1-5 Inbouw unit [3]**

Het voordeel van een inbouw unit is een goede luchtverdeling wat resulteert in een lagere luchtsnelheid en minder tochtproductie. Het nadeel is de hoge geluidsproductie. Een voorbeeld van een inbouwunit is voorgesteld in Figuur 1-5.

#### **1.2.1.4 Inbouw satelliet**



**Figuur 1-6 Inbouw satelliet [3]**

De inbouw satelliet kan volledig ingebouwd worden en zal een beter luchtspreiding geven. Het ventilatierooster kan naar wens gericht worden, wat het nadeel van eventuele luchtstromen tenietdoet. Het nadeel blijft echter een hoge geluidsproductie. Een voorbeeld van een inbouw satelliet is voorgesteld in Figuur 1-6. De inbouwsatelliet zal lucht uit de ruimte aanzuigen met behulp van extra roosters in het plafond of muurroosters.

### **1.2.2 Water**

#### **1.2.2.1 Koelbalken**

##### **Statische koelbalk**

Een statische koelbalk werkt enkel via natuurlijke convectie. De warme lucht zal stijgen en komt in contact met de koelbatterij van de koelbalk. Hierdoor gaat de lucht warmte afgeven aan de koelbatterij en zo afkoelen en terug naar beneden dalen. [4]

##### **Dynamische koelbalk**

Een dynamische koelbalk werkt volgens het principe van gedwongen convectie. In de koelbatterij bevinden zich leidingen die gevuld zijn met koud water. In het midden van het toestel bevindt zich een ventilatiekoker die langs de zijanten lucht over de buizen zal blazen. [4]

De voor- en nadelen van koelbalken:

#### Voordelen

- ✓ Minder hoge geluidsproductie
- ✓ Zeer hygiënisch omwille van geen filters

#### Nadelen

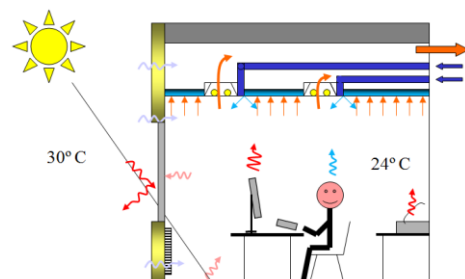
- ✓ Beperkt vermogen
- ✓ Luchtstromen

### 1.2.2.2 Klimaatplafonds

Klimaatplafonds kunnen toegepast worden met zowel lucht als water als energiedrager. Koelen met lucht als energiedrager resulteert in grotere kanalen. De voorkeur gaat uit naar koelen met water als energiedrager.

De temperatuur van de personen in de ruimte aanwezig ligt hoger dan de ruimtetemperatuur. In warme perioden wordt de temperatuur van het plafond verlaagd waardoor de aanwezige personen meer warmte zullen gaan uitstralen. Een nieuw behaaglijk evenwichtspunt wordt bereikt. Omgekeerd kan er in koude perioden verwarmd worden met een klimaatplafond. Door nu de temperatuur van het plafond te verhogen gaan de personen minder warmte uitstralen naar de omgeving.

Doorheen de plafondpanelen circuleert er water. Om condens op de leidingen te voorkomen zorgt men ervoor dat de watertemperatuur niet beneden de dauwpuntstemperatuur komt te liggen. Via aparte luchtkanalen wordt er verse lucht toegevoerd in de ruimte. [5]



Figuur 1-7 Klimaatplafond [5]

#### Voordelen

- ✓ Geen luchtstroom
- ✓ Energiezuinig
- ✓ Geen hoge geluidsproductie

#### Nadelen

- ✓ Hoge investeringskost
- ✓ Geen ontvochtiging van de ruimtelucht

### 1.2.2.3 Betonkernactivering

Beton heeft als eigenschap zeer inert te zijn, dit wil zeggen dat beton traag opwarmt maar zijn warmte lang kan vasthouden om die op een later tijdstip af te geven. Bij betonkernactivering activeert de kern door warmte of koude op te slaan. Beton heeft een grote dichtheid en zal als buffer tegen hoge of lage buitentemperaturen werken zodat de binnentemperatuur optimaal blijft.

Tijdens het storten worden er leidingen in het beton gelegd. Hierna zal er water door de leidingen stromen.

Om het gebouw te koelen zal er koud water door de leidingen stromen en zo het gebouw geleidelijk aan afkoelen. Bij betonkernactivering kan de thermische energie worden afgegeven aan zowel vloeren als plafonds. [6]

#### **Voordelen**

- ✓ Geen luchtstroom
- ✓ Geluidloos
  
- ✓ Onzichtbaar in het gebouw
- ✓ Koelen en verwarmen tegelijk is mogelijk
- ✓ Geen onderhoud nodig

#### **Nadelen**

- ✓ Enkel voor nieuwbouw
- ✓ Ontwerp van het gebouw dient aan de techniek aangepast te worden (extra isolatie, zonwering)
- ✓ Langzaam koelen of verwarmen
- ✓ Verschillende ruimtes niet apart regelbaar
- ✓ Akoestisch effect is weg

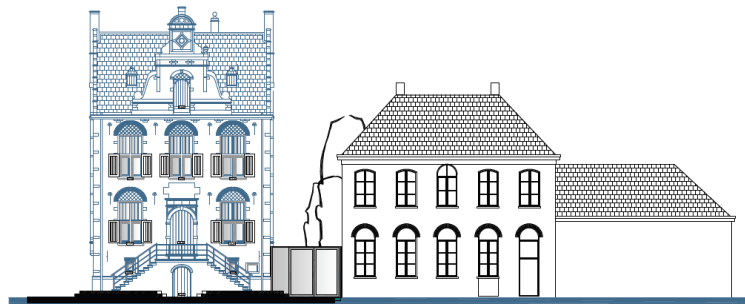


## 2 BEREKENING PIEKVERMOGEN

---

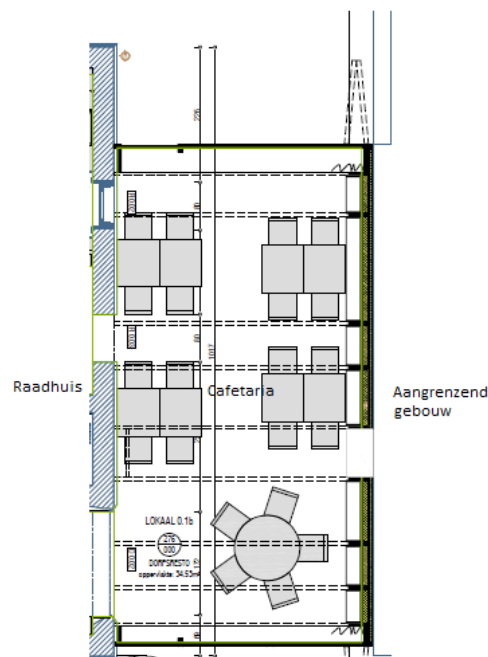
Het benodigde koelvermogen van een gebouw wordt bepaald door de warmtewinsten aanwezig in een gebouw. De berekening is uitgevoerd voor het Raadhuis in Hoogstraten, welke een nieuwe functie krijgt. Er komt een dorpsrestaurant in, hiervoor wordt er tussen het Raadhuis en het al bestaande schoolgebouw twee glazen wanden + glazen dak geplaatst om een extra eetruimte te creëren. De afmetingen van het nieuwe gebouw bedragen 8,3 m \* 4,2 m \* 3m.

Figuur 2-1 is het architecturale ontwerp van het tussenliggende nieuwe gebouw.



**Figuur 2-1 Architecturale schets Raadhuis [8]**

Het grondplan van de nieuwe cafetaria is weergegeven in Figuur 2-2. Links bevindt zich het aanliggende raadhuis en aan de rechterzijde het aanpalende gebouw.



**Figuur 2-2 Grondplan Raadhuis [8]**

Dit nieuwe gebouw zal moeten voldoen aan de hedendaagse EPB eisen. Het EnergiePrestatie en Binnenklimaat (EPB) geldt voor alle nieuwbouwprojecten en grote renovatieprojecten. Vanaf januari 2019 moet een niet-residentieel gebouw voldoen aan een E-peil van maximaal E60. Om aan deze eis te voldoen zal het gebouw aan verschillende aspecten moeten voldoen zoals:

- Maximale U-waarde wanden = 1,5 W/m<sup>2</sup>K
- Maximale U-waarde glas = 1,1 W/m<sup>2</sup>K
- Maximale U-waarde vloer = 0,24 W/m<sup>2</sup>K

Bovendien is het verplicht in nieuwbouw een ventilatiesysteem te voorzien. De bezetting kan bepaald worden door het aantal zitplaatsen op het grondplan te tellen. De bezetting bedraagt hier 21 zitplaatsen. Het nieuwe gebouw zal de functie van cafetaria beoefenen en heeft voor deze bezetting volgens EPB een toevoerdebiet nodig van 550 m<sup>3</sup>/h voor ventilatie. De samenvattende tabel waarmee EPB zijn minimumdebieten voor ventilatie zal bepalen is weergegeven in Tabel 2-1.

**Tabel 2-1 Samenvattende tabel EPB voorschriften**

| Ventilatie samenvattende tabel                 |                                  |                                |                                  |         |        |
|------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------|--------|
| T = toevoer      A = afvoer      DO= doorvoer  | EPB                              |                                |                                  |         |        |
|                                                | m <sup>3</sup> /h/s <sup>2</sup> | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> | Toevoer | Afvoer |
| Ruimte niet voor menselijke bezetting          |                                  |                                | 1,3                              | DO      | DO     |
| Toiletten                                      | 25                               |                                | 15                               | DO      | A      |
| Doucheruimten/badkamers                        | 50                               |                                | 5                                | DO      | A      |
| <b>HORECA</b>                                  |                                  |                                |                                  |         |        |
|                                                | m <sup>3</sup> /h/pers           | m <sup>2</sup> /pers           | m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> | Toevoer | Afvoer |
| cafetaria, snelbuffet, kantine (kort verblijf) | 22                               | 1,5                            | 14,6667                          | T       | DO     |
| keukens, kitchenettes                          | 22                               | 10                             | 2,2                              | T       | A      |
| <b>HOTELS, MOTELS, VAKANTIECENTRA</b>          |                                  |                                |                                  |         |        |
| slaapkamer in hotel, motel, vakantiecentra     | 22                               | 10                             | 2,2                              | T       | DO     |
| slaapzalen in vakantiecentra                   | 22                               | 5                              | 4,4                              | T       | DO     |
| lobby, inkomhal                                | 22                               | 2                              | 11                               | T       | DO     |
| <b>KANTOORGEBOUW</b>                           |                                  |                                |                                  |         |        |
| kantoor (ind. kantoor)                         | 22                               | 15                             | 1,46667                          | T       | DO     |
| kantoor (landschapskantoor)                    | 22                               | 15                             | 1,46667                          | T       | DO     |
| ontvangstruimten, receptie, vergaderzalen      | 22                               | 3,5                            | 6,28571                          | T       | DO     |
| hoofdingang                                    | 22                               | 10                             | 2,2                              | T       | DO     |
| <b>PUBLIEKE RUIMTEN</b>                        |                                  |                                |                                  |         |        |
| vertrekhal, wachtzaal                          | 22                               | 1                              | 22                               | T       | DO     |
| bibliotheek                                    | 22                               | 10                             | 2,2                              | T       | DO     |
| <b>PUBLIEKE VERZAMELPLAATSEN</b>               |                                  |                                |                                  |         |        |
| <b>DETAILHANDEL</b>                            |                                  |                                |                                  |         |        |
| verkoopruimte, winkel (behalve winkelcentra)   | 22                               | 7                              | 3,14286                          | T       | DO     |
| winkelcentrum                                  | 22                               | 2,5                            | 8,8                              | T       | DO     |
| kapsalon, schoonheidssalon                     | 22                               | 4                              | 5,5                              | T       | DO     |

|                                                |    |     |         |   |    |
|------------------------------------------------|----|-----|---------|---|----|
| winkels voor meubilair, tapijten, textiel,...  | 22 | 20  | 1,1     | T | DO |
| waserettes, wassalon                           | 22 | 5   | 4,4     | T | A  |
| SPORT EN ONTSPANNING                           |    |     |         |   |    |
| sporthal, sportterrein/speelsterrein, turnzaal | 22 | 3,5 | 6,28571 | T | DO |
| toeschouwersruimte, tribunes                   | 22 | 1   | 22      | T | DO |
| discotheek, dansgelegenheid                    | 22 | 1   | 22      | T | A  |
| zwembad, sauna, wellness                       | 22 | 2   | 11      | T | A  |
| cinemazaal, concertzaal                        | 22 | 1   | 22      | T | A  |
| WERKRUIMTEN                                    |    |     |         |   |    |
| werkplaats (opm niet in EPB = overige ruimte)  | 22 | 15  | 1,46667 | T | DO |
| fotostudio, donkere kamer                      | 22 | 10  | 2,2     | T | A  |
| apotheek (bereidingsruimte)                    | 22 | 10  | 2,2     | T | A  |
| loketten in banken, kluizenzaal voor publiek   | 22 | 20  | 1,1     | T | DO |
| kopieerruimte, ruimte voor printers            | 22 | 10  | 2,2     | T | A  |
| computerruimte (zonder ruimte printers)        | 22 | 25  | 0,88    | T | DO |
| ONDERWIJSINSTELLINGEN                          |    |     |         |   |    |
| leslokalen                                     | 22 | 4   | 5,5     | T | DO |
| lesateliers, leslaboratoria                    | 22 | 4   | 5,5     | T | DO |
| auditorium                                     | 22 | 2   | 11      | T | DO |
| leraarskamer                                   | 22 | 4   | 5,5     | T | DO |
| kinderopvangruimten, speelkamers               | 22 | 4   | 5,5     | T | DO |
| polyvalente zaal                               | 22 | 1   | 22      | T | DO |
| GEZONDHEIDSZORG                                |    |     |         |   |    |
| ziekenzaal                                     | 22 | 10  | 2,2     | T | DO |
| behandelings- en onderzoekkamers               | 22 | 5   | 4,4     | T | DO |
| CORRECTIONELE INSTELLINGEN                     |    |     |         |   |    |
| cellen, dagverblijf                            | 22 | 4   | 5,5     | T | DO |
| bewakingsposten                                | 22 | 7   | 3,14286 | T | DO |
| inschrijving, registratie, wachttruimte        | 22 | 2   | 11      | T | DO |
| OVERIGE RUIMTE                                 |    |     |         |   |    |
| Opslagmagazijn                                 | 22 | 100 | 0,22    | T | DO |
| Overige ruimten                                | 22 | 15  | 1,46667 | T | DO |
| Speciale ruimte                                |    |     |         | T | DO |

## 2.1 Warmteverliesberekening

### 2.1.1 Norm

Om een warmteverliesberekening uit te voeren dient er rekening gehouden te worden met de Europese norm NBN EN 12831. Deze norm beschrijft een methode voor de berekening van de ontwerpbelasting voor warmte.

Voor de berekening van het totale warmteverlies van een gebouw wordt het opwarmingsvermogen van elke ruimte bepaald. Het opwarmingsvermogen geeft het vermogen dat nodig is om een ruimte op de gewenste temperatuur te krijgen wanneer er aan nachtverlaging wordt gedaan. 's Nachts zal een gebouw niet op zijn gewenste temperaturen moeten blijven en kan de verwarming lager gezet worden.

Verder wordt er in een warmteverliesberekening rekening gehouden met ventilatieverliezen. De berekening van ventilatieverliezen is weergegeven in 2.2.3.

Transmissieverliezen worden bepaald door het verlies te berekenen dat via wanden, deuren, ramen en daken optreedt. Om deze verliezen nauwkeurig te bepalen wordt er rekening gehouden met de samenstelling van de bouwschillen en de bijhorende U-waardes.

## 2.2 Koellastberekening

### 2.2.1 Norm

In Europa is er geen gestandaardiseerde norm die gebruikt moet worden voor het berekenen van de maximale koellast in een gebouw. Enkele organisaties hebben richtlijnen opgesteld voor het berekenen van het koelvermogen. De Belgische richtlijn ATIC en de Nederlandse richtlijn Isso 't kleintje: koellast worden verder besproken. Er bestaan verschillende methodes om koellastberekeningen uit te voeren:

#### **Uurlijkse temperatuursimulatiemodellen:**

Er wordt niet enkel met de warmtegeleiding en warmteopslag in wanden/vloer/plafond gerekend maar met de warmteoverdracht door convectie en straling tussen wanden/vloer en plafond. Effecten van beschaduwing worden nauwkeurig berekend. [9]

#### **Vereenvoudigde modellen met verrekening van accumulatie-effecten:**

Er wordt rekening gehouden met correctiefactoren voor de bijdrage van verlichtingswarmte en warmte ten gevolge van binnenvallende zonnestraling. Het Isso 't kleintje: koellast en de Belgische ATIC-richtlijn houden rekening met accumulatie. [9]

#### **Vereenvoudigde modellen zonder verrekening van accumulatie-effecten (stationaire modellen):**

Dit is het eenvoudigste model voor het bepalen van de maximale koellast. Er wordt met alle interne bijdragen rekening gehouden behalve met een mogelijke reductie van de koellast door warmteaccumulatie in de bouwkundige constructie. [9]

### **2.2.1.1 Randvoorwaarden bij het ISSO kleintje koellast**

- De ruimteluchttemperatuur wordt uniform verondersteld
- Er wordt geen transmissie door binnenwanden verondersteld (vrijwel dezelfde temperatuur in aangrenzende ruimtes)
- Beschaduwing door eigen gebouwdelen is een reductiefactor (z) ingevoerd die het percentage van het beschaduwde glasoppervlak t.o.v. het totaal weergeeft. [9]

### **2.2.1.2 Randvoorwaarden bij ATIC**

- Warmte-uitwisselingen zijn niet-permanent, dit wil zeggen dat zowel de buiten- als binnentemperatuur variëren in de tijd. Dit laat toe rekening te houden met de thermische inertie van het gebouw en met de warmteoverdracht tussen de structuur van het gebouw en de omgevingslucht van de te koelen lokalen.
- Er wordt rekening gehouden met de warmteverliezen van de te behandelen lokalen naar andere lokalen of naar de buitenomgeving. [10]

Het simulatiepakket van DesignBuilder werkt volgens de gestandaardiseerde Amerikaanse norm ASHRAE. Het verschil tussen de Amerikaanse norm en de Europese richtlijnen is dat de Amerikaanse norm werkt met een buitentemperatuur van -18°C. De richtlijnen van ATIC en ISSO 't kleintje rekenen met een buitentemperatuur van -9°C. Hierin zit een groot verschil wat verschillen in resultaten met zich kan meebrengen.

## **2.2.2 Thermische massa**

De grootte van de koelinstallatie waarmee het gebouw gekoeld zal worden kan via een koellastberekening bepaald worden. De thermische massa van zowel wanden, doorzichtige oppervlakken als daken speelt een grote rol in de externe warmtewinsten. De thermische massa drukt uit hoelang een materiaal warmte of koude kan opslaan en later weer afgeven naargelang de ruimtetemperatuur.

De thermische massa wordt uitgedrukt in de massa per vloeroppervlakte. In kleine ruimtes kan dit zwaar doortellen. Het is belangrijk de thermische massa goed te kunnen inschatten. De referenties van de gebruikte thermische massa's zijn terug te vinden in de referentielijst.

### **2.2.2.1 Thermische massa van een muur**

De dichtheid van de muur hangt af van welk soort materiaal dat er gebruikt wordt. Een betonnenwand heeft een veel hogere dichtheid dan een bakstenen- of gyprocwand. De waardes uit Tabel 2-2 worden gebruikt.

**Tabel 2-2 Thermische massa van een muur**

| materiaal | dichtheid              |
|-----------|------------------------|
| Beton     | 2400 kg/m <sup>3</sup> |
| Baksteen  | 1000 kg/m <sup>3</sup> |
| Gyproc    | 800 kg/m <sup>3</sup>  |

De formule om de thermische massa van de muur te berekenen:

$$m_{th} = \frac{\rho \cdot d \cdot A_m}{A_{vloer}} \quad 2-1$$

Waarbij:

$m_{th}$  = thermische massa van de muur [kg/m<sup>2</sup>]

$\rho$  = dichtheid van het materiaal [kg/m<sup>3</sup>]

$d$  = dikte van de muur [m]

$A_m$  = oppervlakte van de muur [m<sup>2</sup>]

$A_{vloer}$  = oppervlakte van de vloer [m<sup>2</sup>]

### 2.2.2.2 Thermische massa van doorzichtige constructies

Voor ramen en glazen daken is het profiel te verwaarlozen voor de berekening van de thermische massa.

**Tabel 2-3 Thermische massa doorzichtige constructies**

| materiaal | dichtheid              |
|-----------|------------------------|
| glas      | 2600 kg/m <sup>3</sup> |

$$m_{th} = \frac{\rho_{glas} \cdot A_{raam} \cdot d}{A_{vloer}} \quad 2-2$$

Waarbij:

$m_{th}$  = thermische massa van het doorzichtig oppervlak [kg/m<sup>2</sup>]

$d$  = dikte van het glas [m]

$A_{raam}$  = oppervlakte van het volledige raam [m<sup>2</sup>]

$\rho_{glas}$  = dichtheid van het glas [kg/m<sup>3</sup>]

$A_{vloer}$  = oppervlakte van de vloer [m<sup>2</sup>]

### 2.2.2.3 Thermische massa van een dak

De thermische massa van daken is hetzelfde opgebouwd als de thermische massa van muren. De verschillende soorten materialen van dakafwerking die gebruikt kunnen worden en hun massadichtheid zijn weergegeven in Tabel 2-4.

**Tabel 2-4 Thermische massa dak**

| materiaal | dichtheid              |
|-----------|------------------------|
| Hout      | 500 kg/m <sup>3</sup>  |
| Beton     | 2400 kg/m <sup>3</sup> |
| EPDM      | 920 kg/m <sup>3</sup>  |
| Bitumen   | 1100 kg/m <sup>3</sup> |
| PVC       | 1200 kg/m <sup>3</sup> |

De thermische massa van het dak wordt als volgt berekend:

$$m_{th} = \frac{\rho \cdot d \cdot A_d}{A_{vloer}} \quad 2-3$$

Waarbij:

$m_{th}$  = thermische massa van de muur [kg/m<sup>2</sup>]

$\rho$  = dichtheid van het materiaal [kg/m<sup>3</sup>]

$d$  = dikte van het dak [m]

$A_m$  = oppervlakte van het dak [m<sup>2</sup>]

$A_{vloer}$  = oppervlakte van de vloer [m<sup>2</sup>]

De koellastberekening houdt rekening met de oriëntatie van het gebouw. Er is pas koeling voorzien wanneer de ruimtetemperatuur 26°C bereikt. Er is verondersteld dat op het platte dak zonwering is voorzien.

### 2.2.3 Ventilatie

De warmtewinsten die optreden door mechanische ventilatie worden als volgt berekend:

$$P_{mech} = \rho \cdot q \cdot c \cdot \Delta T \quad 2-4$$

Waarbij:

$P_{mech}$  = warmtewinsten afkomstig door mechanische ventilatie [W]

$\rho$  = massadichtheid van lucht [kg/m<sup>3</sup>]

$q$  = massadebiet [kg/s]

$c$  = soortelijke warmte van lucht [J/kgK]

$\Delta T$  = temperatuurverschil tussen de inblaastemperatuur en de ruimtetemperatuur [K]

### 2.2.4 Infiltratie

Infiltratie van warmere buitenlucht in het gebouw levert warmtewinsten op. Die kunnen berekend worden op dezelfde manier als de warmtewinsten afkomstig van mechanische ventilatie. Het temperatuurverschil is nu echter het verschil in buitentemperatuur en ruimtetemperatuur.

$$P_{mech} = \rho \cdot q \cdot c \cdot \Delta T \quad 2-5$$

Waarbij:

$P_{mech}$  = warmtewinsten afkomstig door mechanische ventilatie [W]

$\rho$  = massadichtheid van lucht [kg/m<sup>3</sup>]

$q$  = massadebiet [kg/s]

$c$  = soortelijke warmte van lucht [J/kgK]

$\Delta T$  = temperatuurverschil tussen de buitentemperatuur en de ruimtetemperatuur [K]

### 2.2.5 Verlichting

De verlichting aanwezig in een gebouw of ruimte zorgt voor een productie aan interne warmte. Deze warmtewinsten zullen in de zomer een extra koellast met zich meebrengen. Het totale warmtevermogen van de verlichting wordt met onderstaande formule berekend. Wanneer de verlichting nog niet bekend is wordt er gerekend met een efficiëntie van 2 W/m<sup>2</sup>100 lux. LED verlichting zal doorgaans een betere lichtefficiëntie hebben.

$$P = A \cdot E \cdot \text{verlichtingsefficiëntie} \quad 2-6$$

Waarbij:

$P$  = vermogen [W]

$A$  = oppervlakte [m<sup>2</sup>]

$E$  = verlichtingssterkte [lux]

$\text{Verlichtingsefficiëntie}$  = specifiek vermogen van de verlichting [W/m<sup>2</sup>100lux]



## 2.2.6 Berekening warmtewinsten

De samenvattende tabel van de warmtewinsten bekomen uit de bovenstaande formules van de koellastberekening voor het Raadhuis is hieronder weergegeven. De samenvattende tabel geeft voor de nieuwe cafetaria een benodigd koelvermogen van 12873 W. Tabel 2-5 geeft weer hoeveel de interne en externe warmtewinsten bedragen en waaruit ze bestaan.

**Tabel 2-5 Samenvatting warmtewinsten**

|                                   |                                   |  |              |   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--|--------------|---|
| <b>Samenvatting warmtewinsten</b> |                                   |  |              |   |
| <b>1 Interne warmtewinsten</b>    |                                   |  |              |   |
| Personen                          |                                   |  | 1415         | W |
| Verlichting                       |                                   |  | 155          | W |
| Interne apparatuur                |                                   |  | 2000         | W |
|                                   | <b>Totaal interne warmtewinst</b> |  | <b>3570</b>  | W |
| <b>2 Externe warmtewinsten</b>    |                                   |  |              |   |
| Ramen                             |                                   |  | 8199         | W |
| Muren                             |                                   |  | 0            | W |
| Daken                             |                                   |  | 18           | W |
| Mechanische ventilatie            |                                   |  | 1069         | W |
| Infiltratie                       |                                   |  | 35           | W |
|                                   | <b>Totaal externe warmtewinst</b> |  | <b>9302</b>  | W |
| <b>Totale warmtewinst lokaal:</b> |                                   |  | <b>12873</b> | W |

In hoofdstuk 3 zal het effect van een bouwkundige optimalisatie worden bekeken in het nodige koelvermogen van een gebouw. Het resultaat uit Tabel 2-5 zal dan vergeleken worden met het koelvermogen nodig na uitvoering van een bouwkundige optimalisatie.

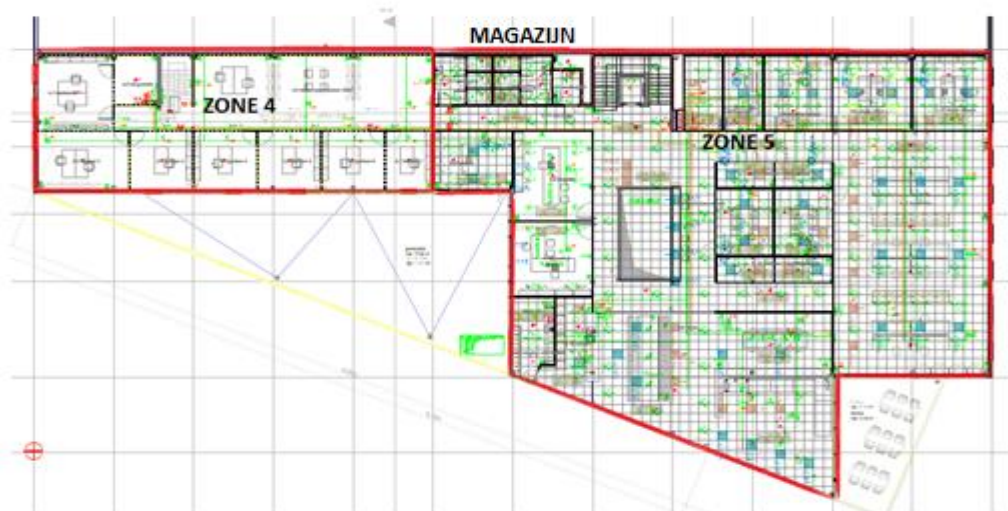
## 2.3 Piekvermogen van een kantoorgebouw

Het doel is een goede keuze te maken voor de verwarmings- en koelinstallatie van een kantoorgebouw. Dit wordt gedaan door het piekvermogen in kaart te brengen van het kantoorgebouw. Ten eerste wordt een kantoorgebouw besproken om inzicht te krijgen in het verbruik van dergelijke kantoorcomplexen.

Om het grote kantoorgebouw te vereenvoudigen wordt deze opgedeeld in verschillende zones. Op Figuur 2-3 is de architecturale tekening weergegeven om een beeld te verkrijgen van het gebouw. Op Figuur 2-4 is het grondplan met de verschillende zones aangeduid om een beter overzicht te verkrijgen.



**Figuur 2-3 Architecturale tekening kantoorgebouw**



Figuur 2-4 Grondplan kantoorgebouw

### 2.3.1 Verwarming

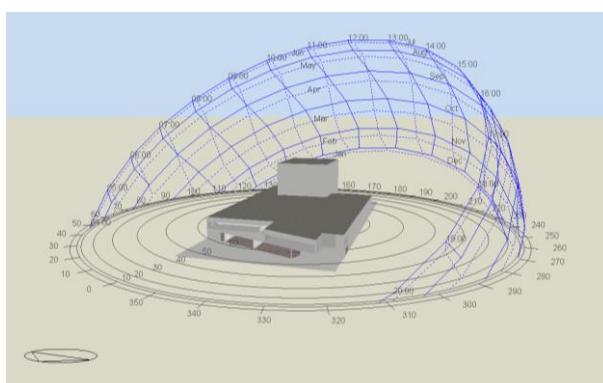
Om het verbruik te bepalen zal naar zowel de warmtebehoefte als de koelbehoefte in het gebouw gekeken worden. Door middel van een warmteverliesberekening is de nodige warmtelast per ruimte berekend. De bezetting is bepaald door het aantal zitplaatsen op de architecturale plannen te tellen. Een overzicht van de verschillende zones is voorgesteld in Tabel 2-6.

**Tabel 2-6 Piekvermogen verwarming**

| Zone                             | Oppervlakte (m <sup>2</sup> ) | Bezetting (-) | $\varphi_{totaal}$ (W) |
|----------------------------------|-------------------------------|---------------|------------------------|
| Zone 1: technische ruimten       | 193                           | /             |                        |
| Zone 2: groeizone beneden        | 274                           | 19            | 18750                  |
| Zone 3: onthaal en vergaderzalen | 415                           | 44            | 23903                  |
| Zone 4: groeizone boven          | 193                           | 14            | 15452                  |
| Zone 5: kantoren en refter       | 728                           | 126           | 58921                  |
| Zone A: labo                     | 296                           | 12            | 14726                  |
| Zone X: magazijn                 | 3734                          | 0             | 186690                 |
| Zone Y: productie                | Niet opgenomen in de studie   |               |                        |

Het warmtevermogen bekomen per zone in bovenstaande tabel is berekend via de warmteverliesberekening die rekening houdt met de Europese norm betreffende de berekening van warmteverliezen in een gebouw (NBN EN 12831). Deze energiebehoefte is het vermogen nodig om het gebouw te verwarmen tot comforttemperaturen en dit bij een buitentemperatuur van -9 °C. Een dynamische gebouwsimulatie met de DesignBuilder-software zou dezelfde waarden moeten bekomen. Dit wordt hieronder onderzocht.

Naast het magazijn vindt alsook de productie plaats, een productietoren die bestaat uit silo's met daarin meelproducten. Het kantoorcomplex en het bijhorende magazijn + productie zijn in DesignBuilder getekend op ware grootte. De visualisatie (Figuur 2-5) is voorgesteld met het zonnediagram en de oriëntatie.



**Figuur 2-5 Visualisatie kantoorgebouw**

### 2.3.2 Koellastberekening

De koellastberekening voor het kantoorgebouw is uitgevoerd volgens de ATIC berekening. Deze berekening is uitgebreid uitgevoerd voor elke ruimte individueel. De samenvatting van de warmtewinsten per zone wordt in Tabel 2-7 weergegeven. De uitgebreide berekening per ruimte is terug te vinden in de bijlage A.

**Tabel 2-7 Piekvermogen koeling**

| Zone                             | Oppervlakte (m <sup>2</sup> ) | Bezetting (-) | $\varphi_{totaal}$ (W) |
|----------------------------------|-------------------------------|---------------|------------------------|
| Zone 1: technische ruimten       | 193                           | /             | 7611,84                |
| Zone 2: groeizone beneden        | 274                           | 19            | 12066,27               |
| Zone 3: onthaal en vergaderzalen | 415                           | 44            | 20343,27               |
| Zone 4: groeizone boven          | 193                           | 14            | 15611,84               |
| Zone 5: kantoren en refter       | 728                           | 126           | 53957,88               |
| Zone A: labo                     | 296                           | 12            | 30620,84               |
| Zone X: magazijn                 | 3734                          | 0             | Niet gekoeld           |
| Zone Y: productie                | Niet opgenomen in de studie   |               |                        |

Hoe groter een ruimte, hoe meer personen aanwezig in de ruimte. Zone 2 tot en met zone 5 zijn ingericht als kantoorruimtes. In kantoorruimtes zal het aantal aanwezige personen toenemen met de grootte van de ruimte waardoor de koellast zal toenemen bij grotere kantoorruimtes. Het labo heeft met een relatief kleine bezetting voor zijn grootte toch een hoge koellast. Deze koellast is afkomstig van de verschillende specifieke apparaten aanwezig in het labo die een hoge interne warmteproductie leveren. De hoge interne warmteproductie zal zorgen voor de nodige extra koeling. De technische ruimte heeft geen bezetting maar om een optimale werking van de servers te bekomen dient hier constant gekoeld te worden.

### 3 SIMULATIE JAARVERBRUIK

---

Er wordt eerst gekeken naar het effect op het koelvermogen na toepassing van een bouwkundige optimalisatie. Als bouwkundige optimalisatie wordt het al dan niet plaatsen van zonwering onderzocht. Het effect van zonwering op het nodige installatievermogen wordt bekeken. De bouwkundige optimalisatie is toegepast op het Raadhuis in Hoogstraten uit 2.2.7. De bouwheer wenst geen zonwering te voorzien om een optimale beleving van het gebouw te behouden. Extra zonnwinsten kunnen een serieuze temperatuursverhoging tot gevolg hebben. Deze extra warmte zal bijkomend gekoeld moeten worden. Het is interessant om het effect van zonwering op het nodige installatievermogen na te gaan.

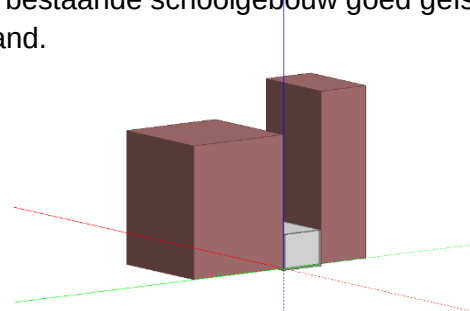
Het jaarverbruik van een gebouw is een belangrijke indicatie voor de verbruikskosten van een installatie. Met behulp van dynamische gebouwsimulatie software wordt het jaarverbruik van het kantoorgebouw uit 2.3 onderzocht in dit hoofdstuk.

#### 3.1 Bouwkundige optimalisatie

Als bouwkundige optimalisatie wordt nu het effect van zonwering nagegaan, zowel op de koelbehoefte, het nodige installatievermogen en het plaatsen van de zonwering. Het klimaat en de koelbehoefte in functie van de buitenomstandigheden worden gesimuleerd.

Als simulatiepakket wordt er gebruik gemaakt van dynamische gebouwsimulatiesoftware nl. DesignBuilder. Het simulatiepakket houdt rekening met schaduw van naastliggende gebouwen. Gezien de aard van het gebouw is zonwering niet echt gewenst. In de simulatie zal nagegaan worden of schaduw van het naastliggend gebouw voldoende is en wat het bijkomend effect is van het plaatsen van zonwering.

Het nieuwe gebouw bevindt zich op Figuur 3-1 in het midden tussen het raadhuis en de school. Het programma houdt geen rekening met warmteverlies naar de aangrenzende wand van het raadhuis aan de linkerzijde. Aan de andere zijde bevindt zich het bestaande schoolgebouw. Er is verondersteld dat de wand grenzend aan het bestaande schoolgebouw goed geïsoleerd is en er geen warmteverlies optreedt naar deze wand.



**Figuur 3-1 Schematische voorstelling Raadhuis**

### 3.1.1 Bepalen van het koelvermogen

Het koelvermogen wordt berekend voor verschillende situaties. Allereerst wordt er gekeken wat de koellast bedraagt als het aangrenzende schoolgebouw er niet zou staan. Dit is een fictieve situatie. In de situaties hierna zal er worden gekeken wat het effect van zonwering op de verschillende gevels en het platte dak inhoudt. De verschillende situaties die worden bekeken zijn beschreven in Tabel 3-1.

**Tabel 3-1 Situaties**

| Situatie | Aanliggend gebouw | Zonwering gevel noord | Zonwering gevel zuid | Zonwering plat dak |
|----------|-------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| 1        | Nee               | Ja                    | Ja                   | Ja                 |
| 2        | Ja                | Ja                    | Ja                   | Ja                 |
| 3        | Ja                | Nee                   | Nee                  | Nee                |
| 4        | Ja                | Nee                   | Nee                  | Ja                 |
| 5        | Ja                | Nee                   | Ja                   | Nee                |
| 6        | Ja                | Ja                    | Nee                  | Nee                |
| 7        | Ja                | Ja                    | Nee                  | Ja                 |
| 8        | Ja                | Nee                   | Ja                   | Ja                 |

Situatie 1:

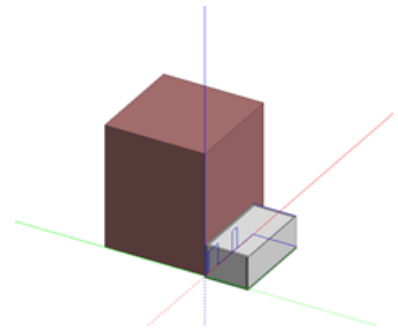
- Geen rekening met aanliggende gebouwen
- Zonwering op noordgevel en zuidgevel
- Zonwering op plat dak

Benodigde koelvermogen = 20,2 kW.

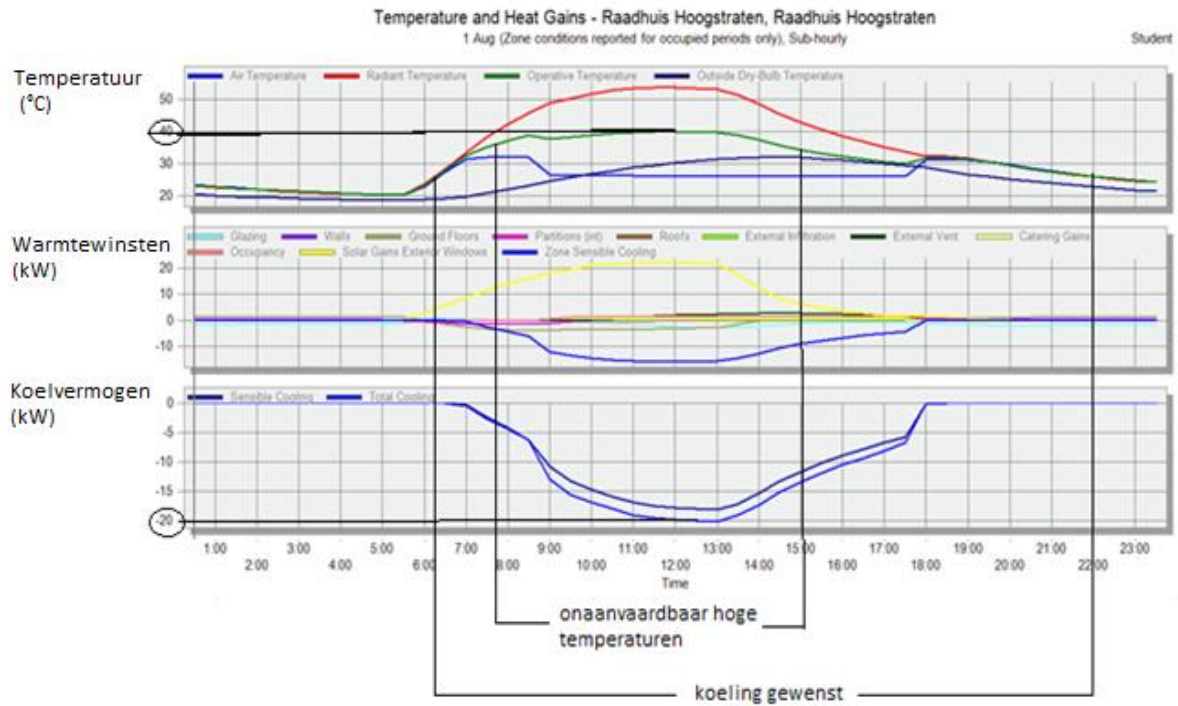
Maximum operationele temperatuur in de dag bedraagt 40,4 °C. Dit is de temperatuur die bereikt zal worden zonder koeling.

- ⇒ Zonder het aangrenzende schoolgebouw zal het raadhuis een enorme koelvraag vragen, zelfs met zonwering op de glazen gevels en het platte dak.
- ⇒ Zonder het hoge aanliggende gebouw is het glazen gebouw technisch niet interessant. Deze situatie is geen realistische situatie. Het naastliggende schoolgebouw zal normaal altijd aanwezig blijven.

Op Figuur 3-2 zijn de maximum operationele temperatuur en het nodige koelvermogen zichtbaar. De warmtewinsten die optreden door invallende zonnestraling is zichtbaar in de middelste grafiek. De interne warmteproductie afkomstig van de bezetting, de aanwezige apparaten, de warme voeding is terug te vinden in de middelste grafiek.



Figuur 3-2 Situatie 1

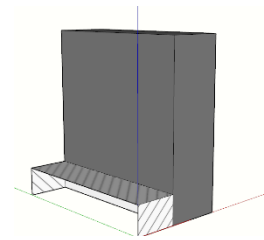


Figuur 3-3 Temperatuursverloop en warmtewinsten situatie 1 [11]



## Situatie 2:

- Rekening gehouden met aanliggende gebouwen
- Zonwering op noordgevel
- Zonwering op zuidgevel
- Zonwering op platte dak

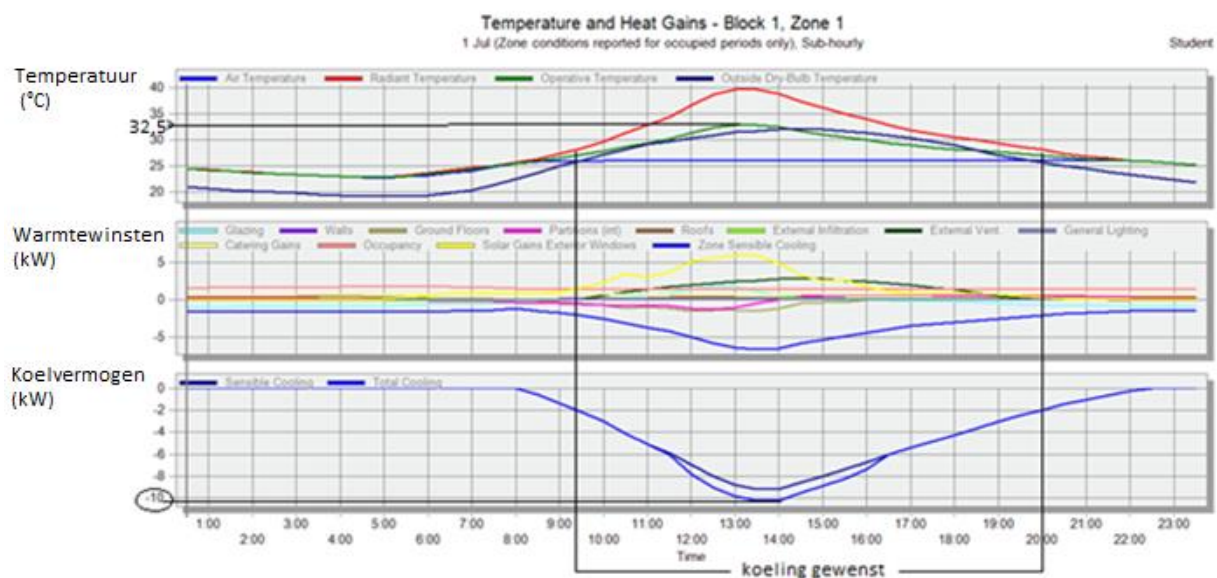


**Figuur 3-4 Situatie 2**

Benodigde koelvermogen = 10,72 kW.

Maximum operationele temperatuur in de dag bedraagt 32,5 °C (= temperatuur die bereikt zal worden zonder koeling).

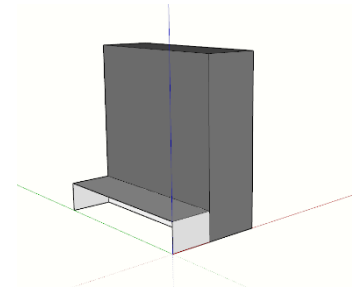
⇒ Door het aangrenzende schoolgebouw ligt de koellast lager en is de koelperiode aanzienlijk kleiner. In de namiddag start nu pas de koelbelasting.



**Figuur 3-5 Temperatuursverloop en warmtewinsten situatie 2 [11]**

### Situatie 3:

- Rekening gehouden met aanliggende gebouwen
- Geen zonwering op noordgevel
- Geen zonwering op zuidgevel
- Geen zonwering op platte dak

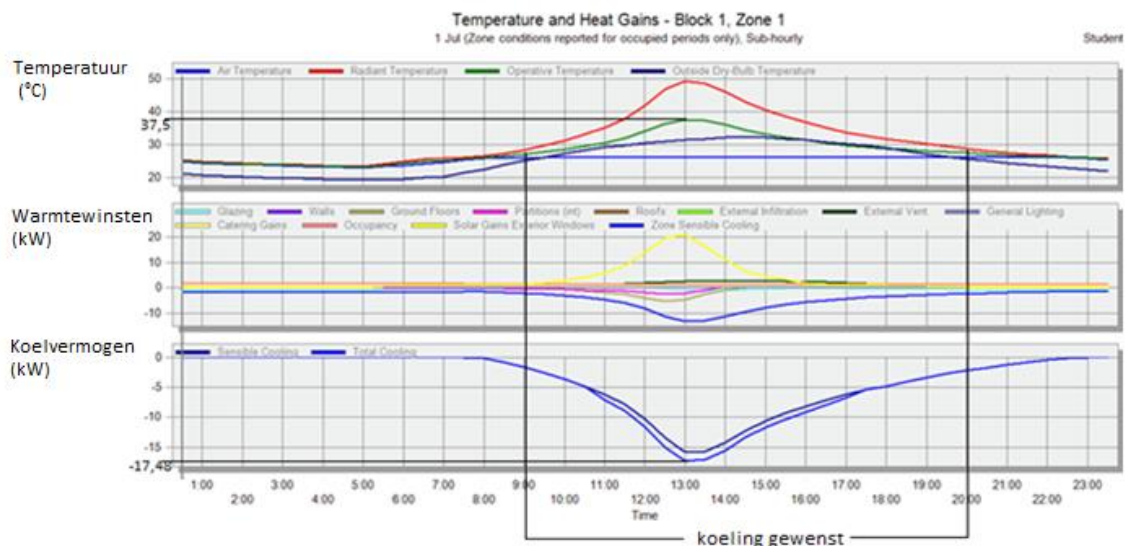


Benodigde koelvermogen = 17,48 kW.

Maximum operationele temperatuur in de dag bedraagt 37,5 °C.

**Figuur 3-6 Situatie 3**

- ⇒ In combinatie met koeling is deze situatie niet aangewezen, de operationele temperatuur is echter veel te hoog. Koeling zonder zonwering is energetisch geen goede keuze.
- ⇒ Zonwering is ondanks het hoge aanpalende schoolgebouw toch aan te raden zowel op gebied van comfort als energiebesparing. Verder wordt onderzocht of zonwering nog voldoende nut heeft gezien de aanwezigheid van het aanpalende gebouw.

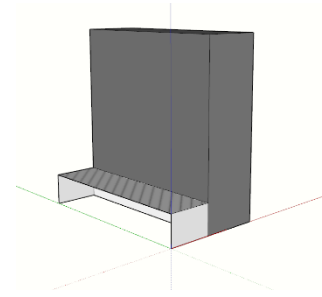


**Figuur 3-7 Temperatuursverloop en warmtewinsten situatie 3 [11]**

- ⇒ Effect zonwering op het koelvermogen:  $17,48 \text{ kW} - 10,72 \text{ kW} = 6,76 \text{ kW}$ . Door het plaatsen van zonwering op zowel de zuidgevel, noordgevel als het platte dak kan 38,5 % van de koellast bespaard worden.

#### Situatie 4:

- Rekening gehouden met aanliggende gebouwen
- Geen zonwering op noordgevel
- Geen zonwering op zuidgevel
- Zonwering op platte dak

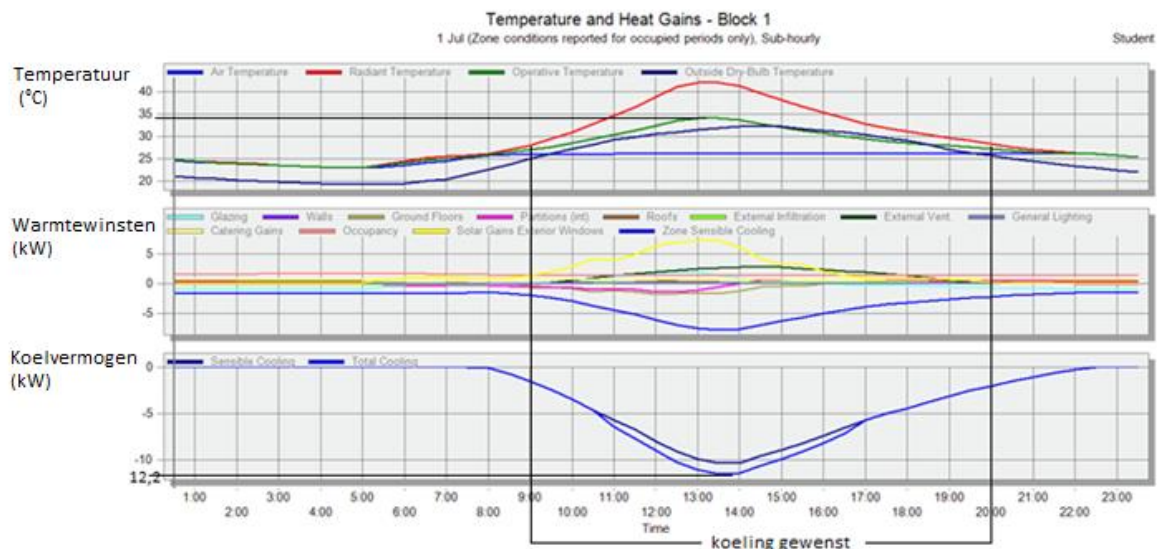


**Figuur 3-8 Situatie 4**

Benodigde koelvermogen = 12,2 kW.

Maximum operationele temperatuur in de dag bedraagt 33,8 °C.

- ⇒ Enkel zonwering op het glazen dak resulteert in een veel lager koelvermogen en een lagere maximale gevoelstemperatuur in het gebouw dan helemaal geen zonwering.
- ⇒ Deze situatie komt overeen met onze theoretisch koellastberekening volgens de ATIC richtlijn. [10]
- ⇒ Het effect van zonwering op het platte dak is het grootst.

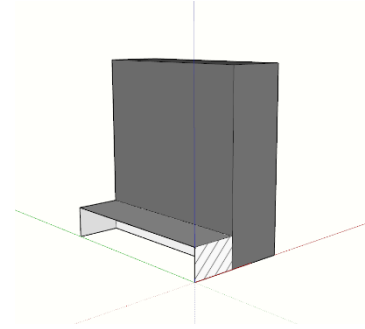


**Figuur 3-9 Temperatuursverloop en warmtewinsten situatie 4 [11]**

- ⇒ Effect zonwering op het koelvermogen:  $17,48 \text{ kW} - 12,2 \text{ kW} = 5,28 \text{ kW}$ . Door het plaatsen van zonwering op het platte dak kan 30% van de koellast bespaard worden.

### Situatie 5:

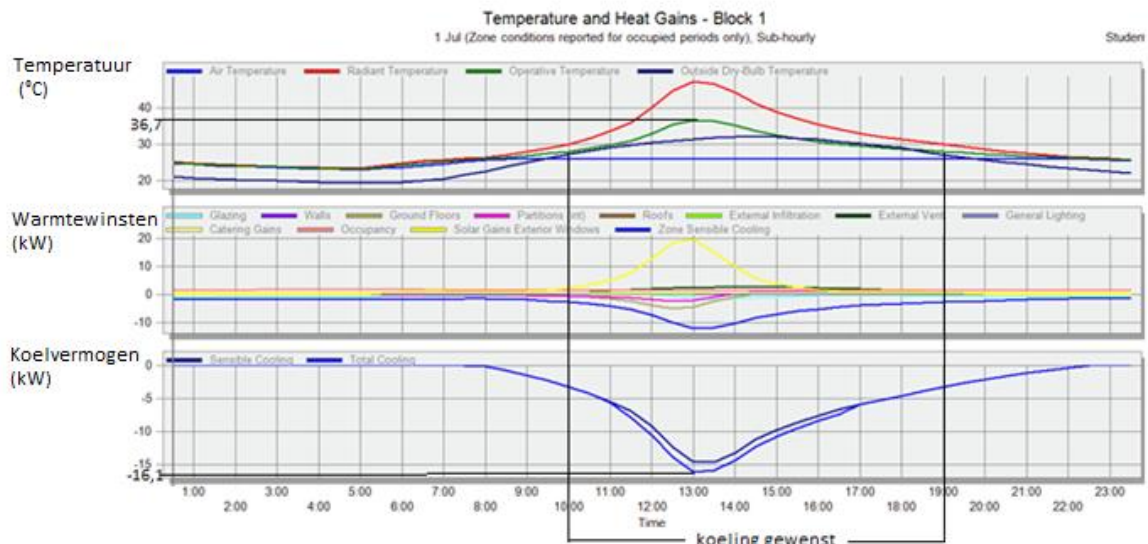
- Rekening gehouden met aanliggende gebouwen
- Geen zonwering op noordgevel
- Zonwering op zuidgevel
- Geen zonwering op platte dak



Benodigde koelvermogen = 16,1 kW.

Maximum operationele temperatuur in de dag bedraagt 36,7 °C. **Figuur 3-10 Situatie 5**

- ⇒ Enkel zonwering aan de zuid-kant vraagt toch nog veel meer koelvermogen dan zonwering op het platte dak. De gevoelstemperatuur binnen ligt nu hoger. Zonwering op het platte dak is een belangrijke factor zowel voor koellast als het zomercomfort.
- ⇒ Zonwering op de zuidgevel is te vermijden voor de beleving in het dorpsrestaurant. De zuidgevel is immers de voorgevel en toegang.

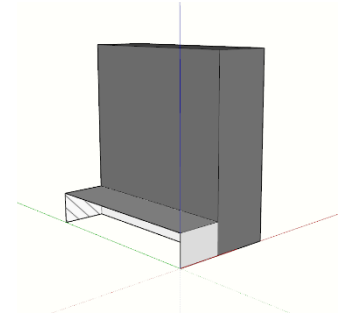


**Figuur 3-11 Temperatuursverloop en warmtewinsten situatie 5 [11]**

- ⇒ Effect zonwering op het koelvermogen:  $17,48 \text{ kW} - 16,1 \text{ kW} = 1,38 \text{ kW}$ . Door het plaatsen van zonwering op enkel de zuidgevel kan maar 8 % van de koellast bespaard worden.

### Situatie 6:

- Rekening gehouden met aanliggende gebouwen
- Zonwering op noordgevel
- Geen zonwering op zuidgevel
- Geen zonwering op platte dak

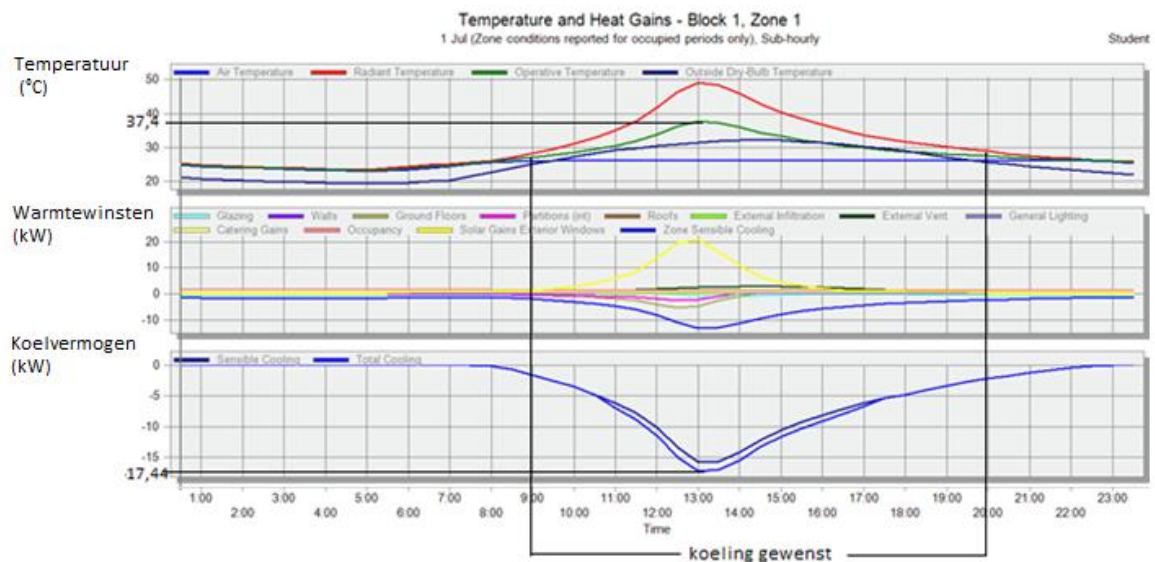


Benodigde koelvermogen = 17,44 kW.

Maximum operationele temperatuur in de dag bedraagt 37,4 °C.

**Figuur 3-12 Situatie 6**

- ⇒ Zonwering aan de noord-kant geeft ongeveer dezelfde resultaten als geen zonwering te plaatsen. Zonwering hier plaatsen zal weinig opbrengen in winsten van koellast en beperkt verbeteren van het comfort en het energieverlies.

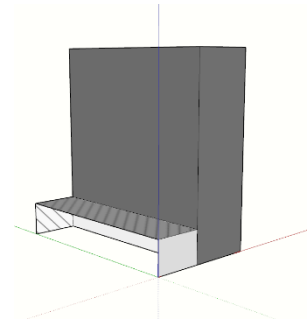


**Figuur 3-13 Temperatuursverloop en warmtewinsten situatie 6 [11]**

- ⇒ Effect zonwering op het koelvermogen:  $17,48 \text{ kW} - 17,44 \text{ kW} = 0,04 \text{ kW}$ . Door het plaatsen van zonwering op de noordgevel kan minder dan 0,5% van de koellast bespaard worden.

### Situatie 7:

- Rekening gehouden met aanliggende gebouwen
- Zonwering op noordgevel
- Geen zonwering op zuidgevel
- Zonwering op platte dak

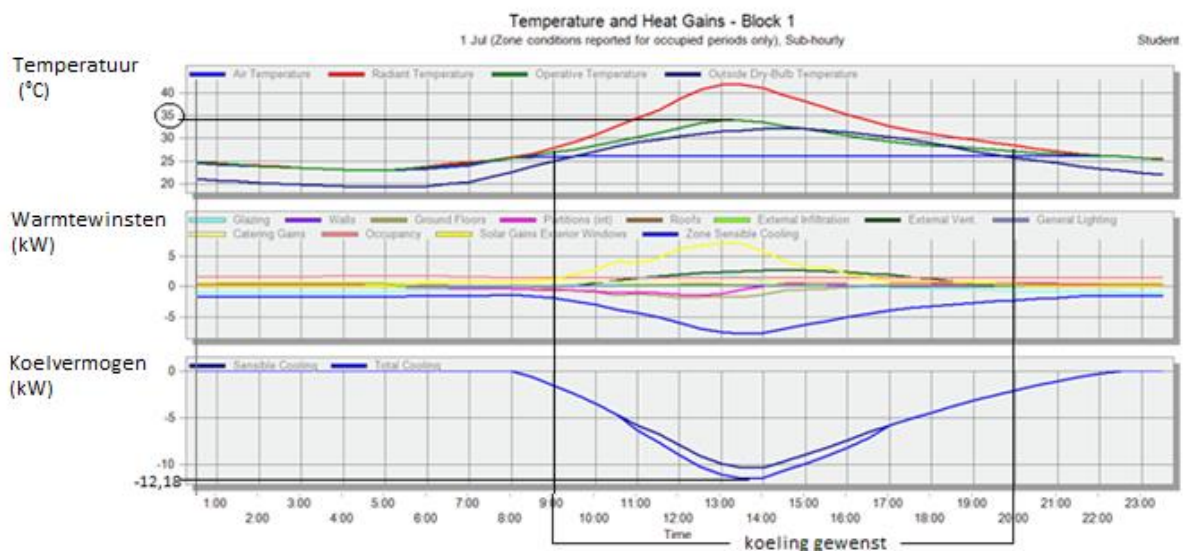


Benodigde koelvermogen = 12,18 kW.

Maximum operationele temperatuur in de dag bedraagt 33,7 °C.

- ⇒ Deze situatie is aangehaald ter volledigheid, aangezien de noordzijde weinig invloed heeft is er weinig verbetering t.o.v. situatie 4.

**Figuur 3-14 Situatie 7**

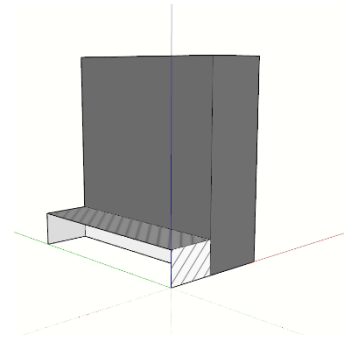


**Figuur 3-15 Temperatuursverloop en warmtewinsten situatie 7 [11]**



### Situatie 8:

- Rekening gehouden met aanliggende gebouwen
- Geen zonwering op noordgevel
- Zonwering op zuidgevel
- Zonwering op platte dak

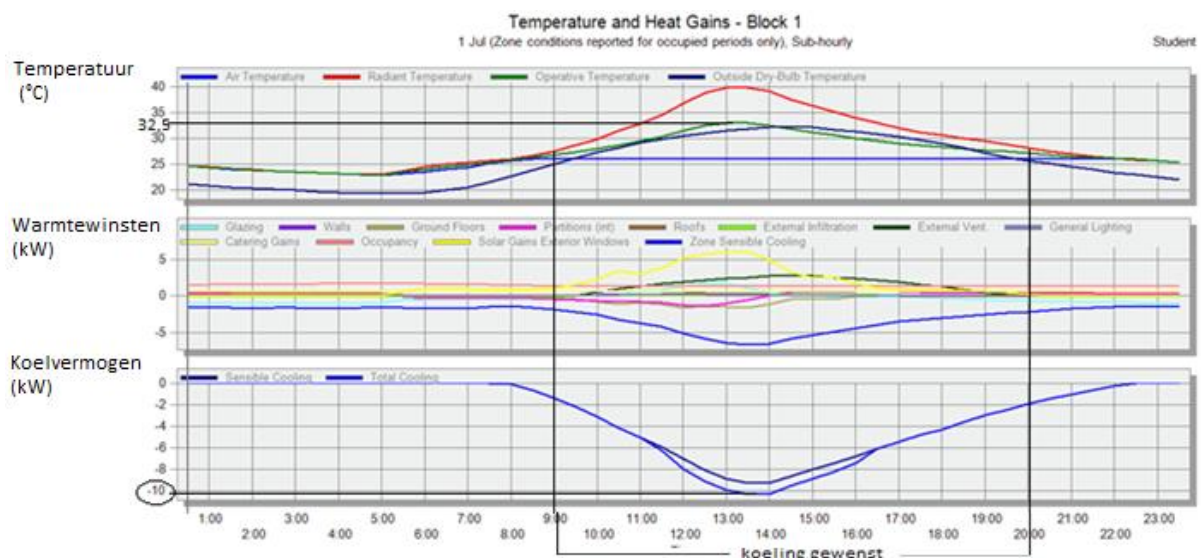


Benodigde koelvermogen = 10,74 kW.

Maximum operationele temperatuur in de dag bedraagt 32,5 °C.

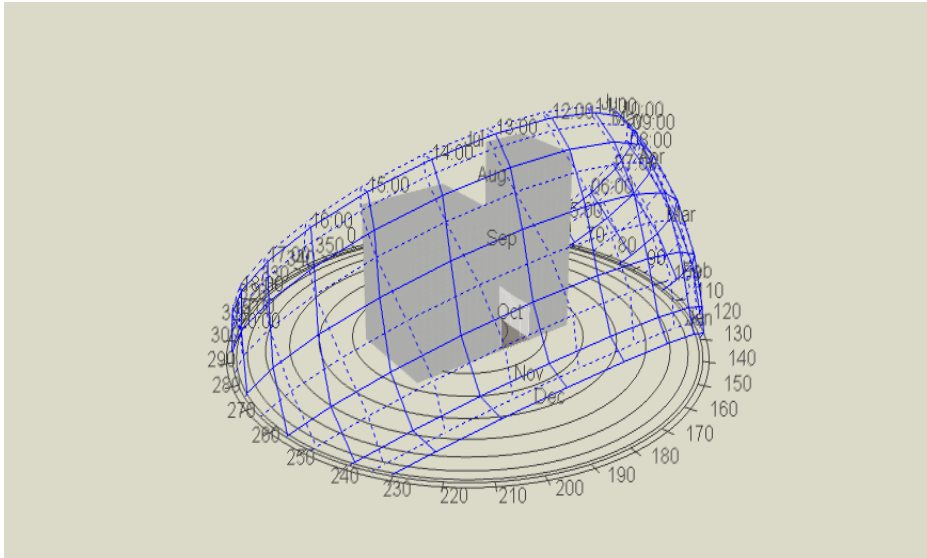
**Figuur 3-16 Situatie 8**

- ⇒ Zonwering plaatsen op zowel het platte dak als de zuid-kant gevel geeft een daling in het benodigde koelvermogen. De maximale gevoelstemperatuur binnen daalt nu.
- ⇒ Technisch gezien is deze combinatie de beste oplossing. De meerwaarde van de zonwering op de zuidgevel is af te wegen in functie van de kost van de zonwering en het gewenst effect van het visueel afsluiten van de voorgevel. Er zijn nog andere vormen van zonwering zoals horizontale lamellen maar die zijn voor monumenten niet toegelaten. Er kan eventueel een boom geplaatst worden die schaduw biedt aan de voorgevel.



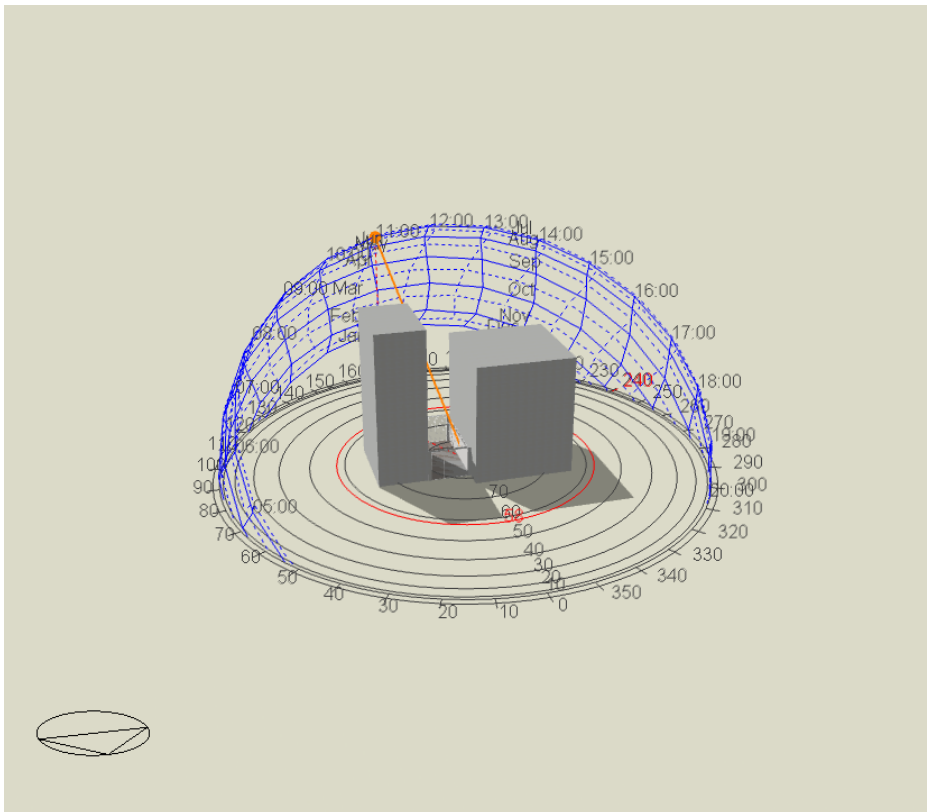
**Figuur 3-17 Temperatuursverloop en warmtewinsten situatie 8 [11]**

De simulatie geeft een 3D-model weer van het project in Figuur 3-18. Op dit 3D-model zijn het aanliggende raadhuis en aanliggende schoolgebouw grijs gekleurd. Ons nieuw gebouw met glazen wanden en glazen dak is in het midden weergegeven. Er is nu van een zonnediagram gebruik gemaakt, hierop is de stand van de zon weergegeven op verschillende tijdstippen van de dag.



**Figuur 3-18 3D model [11]**

Op dit 3D-model in Figuur 3-19 is duidelijk te zien dat het hoge schoolgebouw voor veel schaduw zorgt zelfs als de zon hoog staat.



**Figuur 3-19 3D model met schaduw [11]**



### 3.1.2 Overschrijdingsuren bepalen

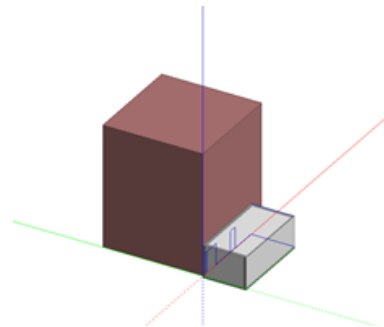
Om te kijken hoeveel uren er op een jaar tijd gekoeld moet worden, wordt verondersteld dat er niet gekoeld wordt. De koelinstallatie zal theoretisch pas aanspringen als een temperatuur van 26°C overschreden wordt. Dit is de temperatuur waarop de gangbare koellastberekening gebaseerd wordt. In werkelijkheid zullen gebruikers de koeling vroeger inschakelen. Het gebouw zal niet gekoeld worden als er geen aanwezigheid is. In Figuur 3-21 is afgebeeld wanneer de operationele temperatuur boven 26°C ligt. Op dit moment zal de koeling ingeschakeld worden.

Tijdspanne:

De simulaties zijn gemaakt met een tijdsschema waarin verondersteld is dat het gebouw in gebruik genomen wordt van 9u30 – 18u30, gedurende 6 dagen per week. Het totaal aantal uren dat het gebouw in bedrijf zal zijn bedraagt dan 2817 uur per jaar. Dit is berekend met een inbedrijf gedurende 6 dagen per week, 9 uren per dag. Dit tijdsschema wordt gebruikt in elke situatie. Dezelfde situaties als voorgaand in 3.1 worden gebruikt. De 4 interessantste situaties worden hieronder weergegeven.

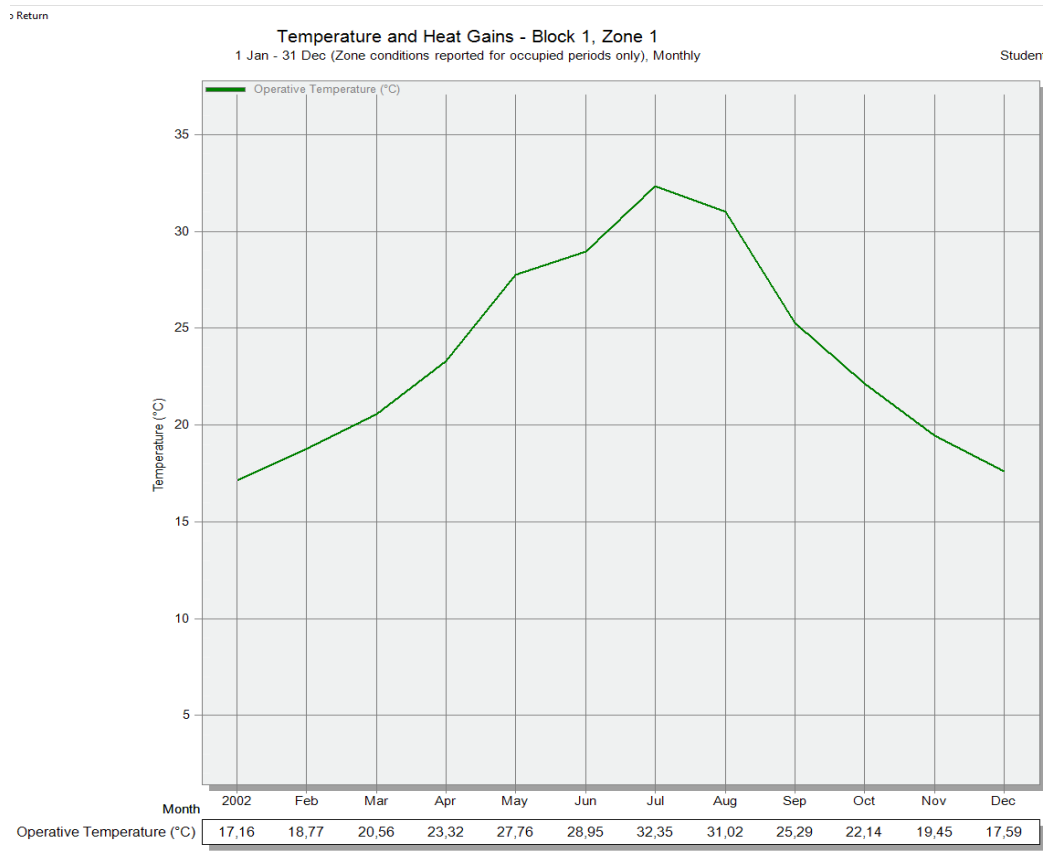
Situatie 1:

- Geen rekening gehouden met aanliggende gebouwen
- Zonwering op noordgevel
- Zonwering op zuidgevel
- Zonwering op platte dak



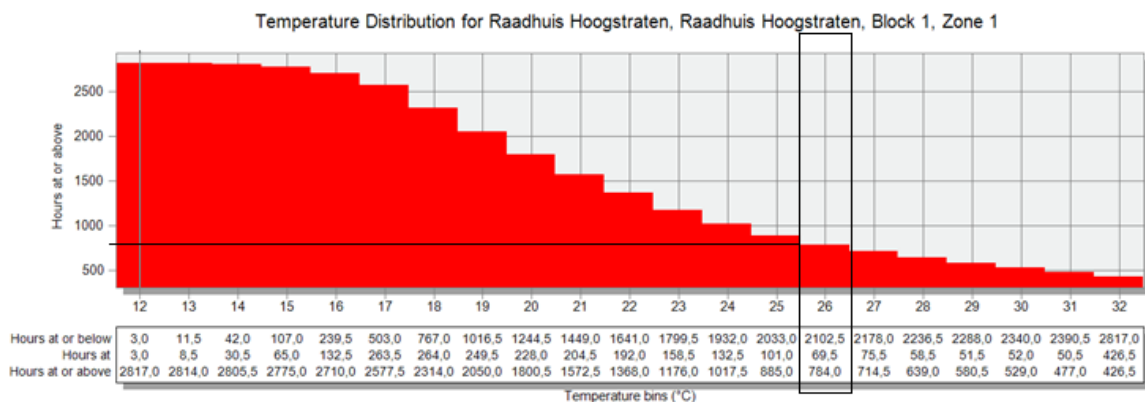
**Figuur 3-20 Situatie 1**

Het verloop van de operatieve temperatuur ofwel de temperatuur die bereikt zal worden als er geen koeling wordt gebruikt is weergegeven in Figuur 3-21.



**Figuur 3-21 Operatieve temperatuur situatie 1 [11]**

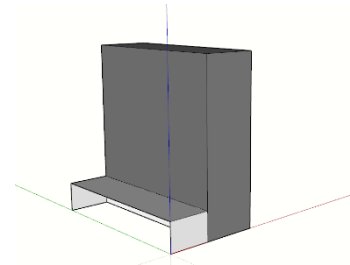
Voor situatie 1 zal op jaarbasis gedurende 784 uur een temperatuur van 26°C overschreden worden. Dit komt overeen met 28% van het aantal bedrijfsuren. De overschrijdingsuren zijn afgebeeld in Figuur 3-22.



**Figuur 3-22 Overschrijdingsuren situatie 1 [11]**

### Situatie 3:

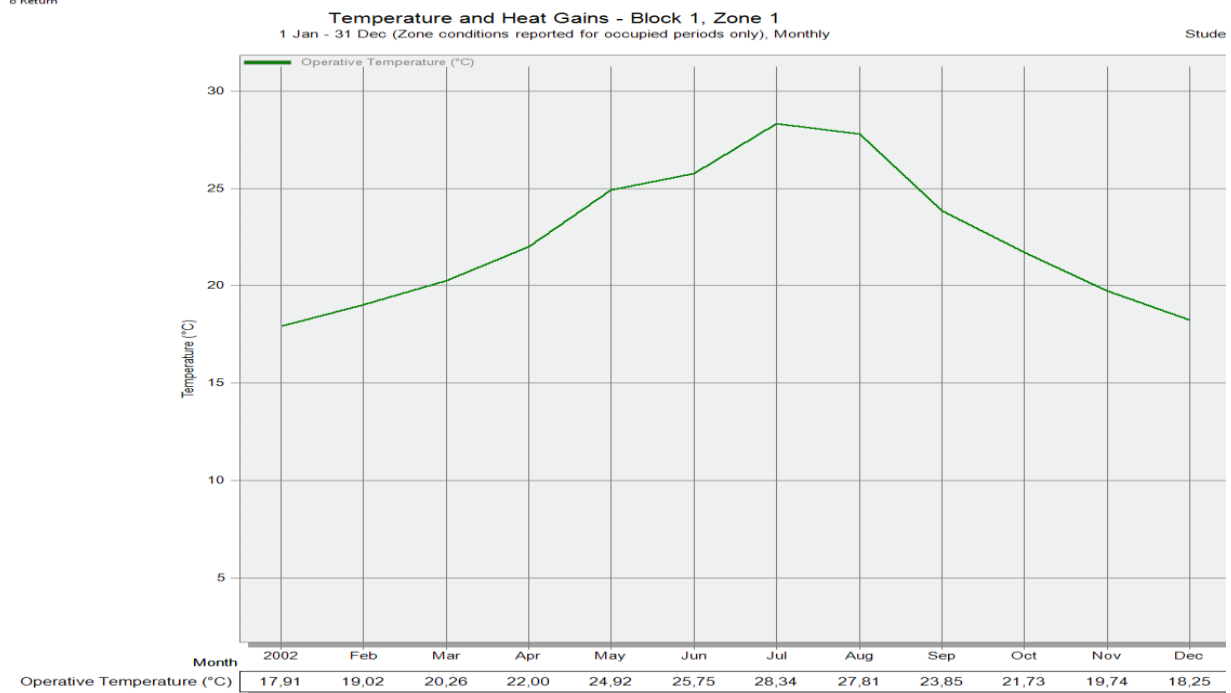
- Rekening gehouden met aanliggende gebouwen
- Geen zonwering op noordgevel
- Geen zonwering op zuidgevel
- Geen zonwering op platte dak



Op dezelfde manier wordt er gekeken gedurende welke periode er een operationele temperatuur van meer dan 26°C heerst. Het hoge schoolgebouw zorgt ervoor dat een veel kortere periode 26°C overschreden wordt, wat resulteert in een lagere koellast.

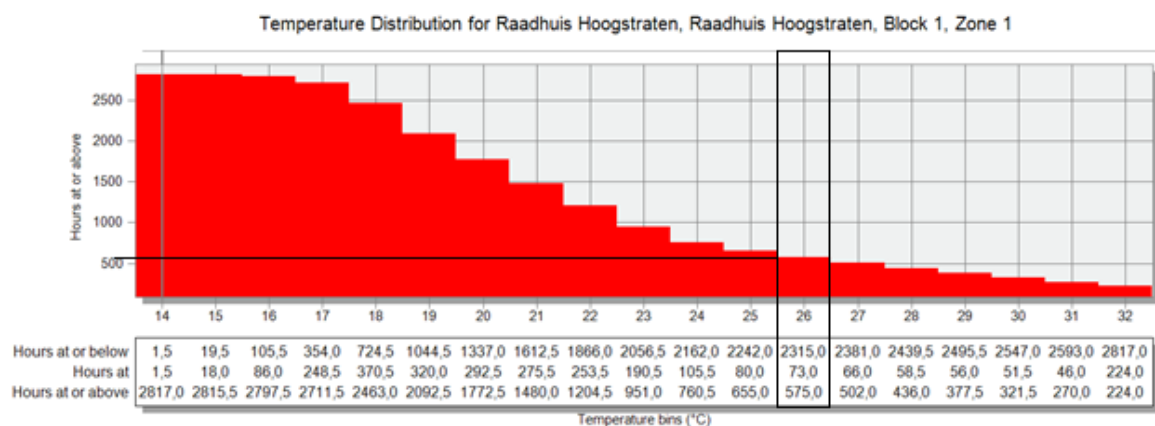
**Figuur 3-23 Situatie 3**

o Return



**Figuur 3-24 Operatieve temperatuur situatie 3 [11]**

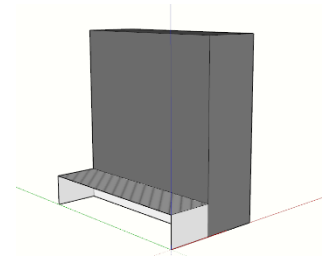
Voor situatie 3 zal er op jaarbasis gedurende 575 uur een temperatuur van 26°C overschreden worden. Zie Figuur 3-25. Dit komt overeen met 20% van de bedrijfsuren.



**Figuur 3-25 Overschrijdingsuren situatie 3 [11]**

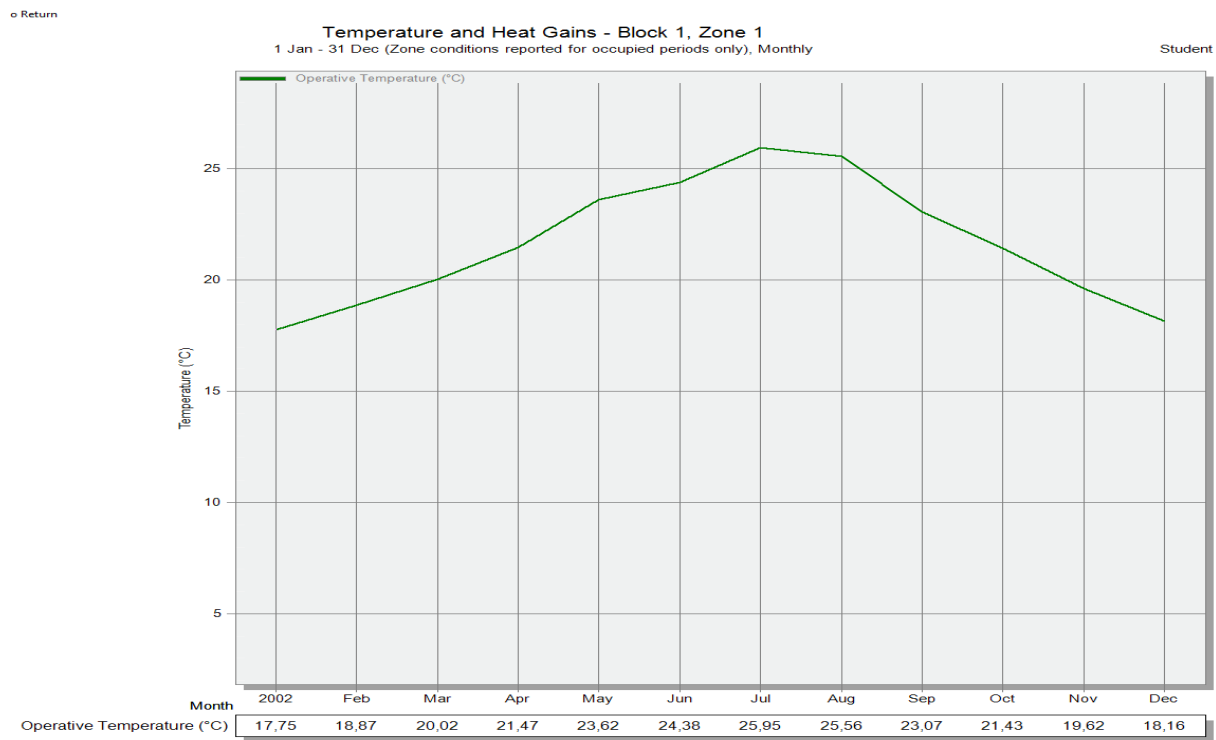
#### Situatie 4:

- Rekening gehouden met aanliggende gebouwen
- Geen zonwering op noordgevel
- Geen zonwering op zuidkant gevel
- Zonwering op platte dak



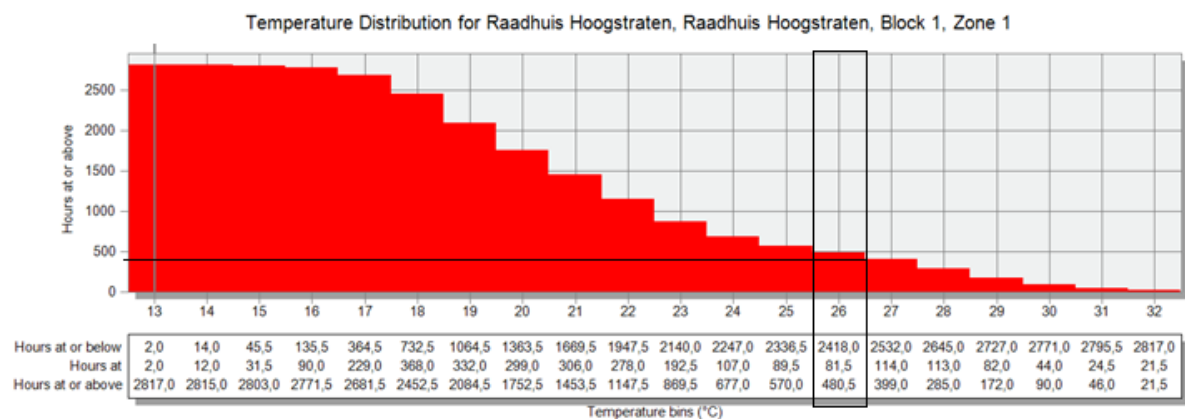
Figuur 3-26 Situatie 4

Zonwering op het platte dak zorgt voor minder overschrijdende uren, vandaar dat de koellast sterk daalt als er zonwering op het platte dak geplaatst wordt.



Figuur 3-27 Operatieve temperatuur situatie 4 [11]

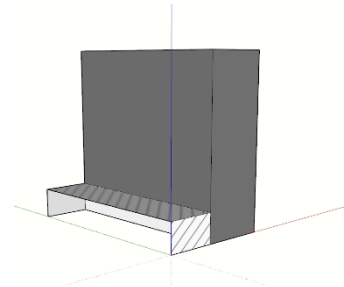
Voor situatie 4 zal er op jaarbasis gedurende 480,5 uur een temperatuur van 26°C overschreden worden. Zie Figuur 3-28. Dit komt overeen met 17% van de bedrijfsuren.



Figuur 3-28 Overschrijdingsuren situatie 4 [11]

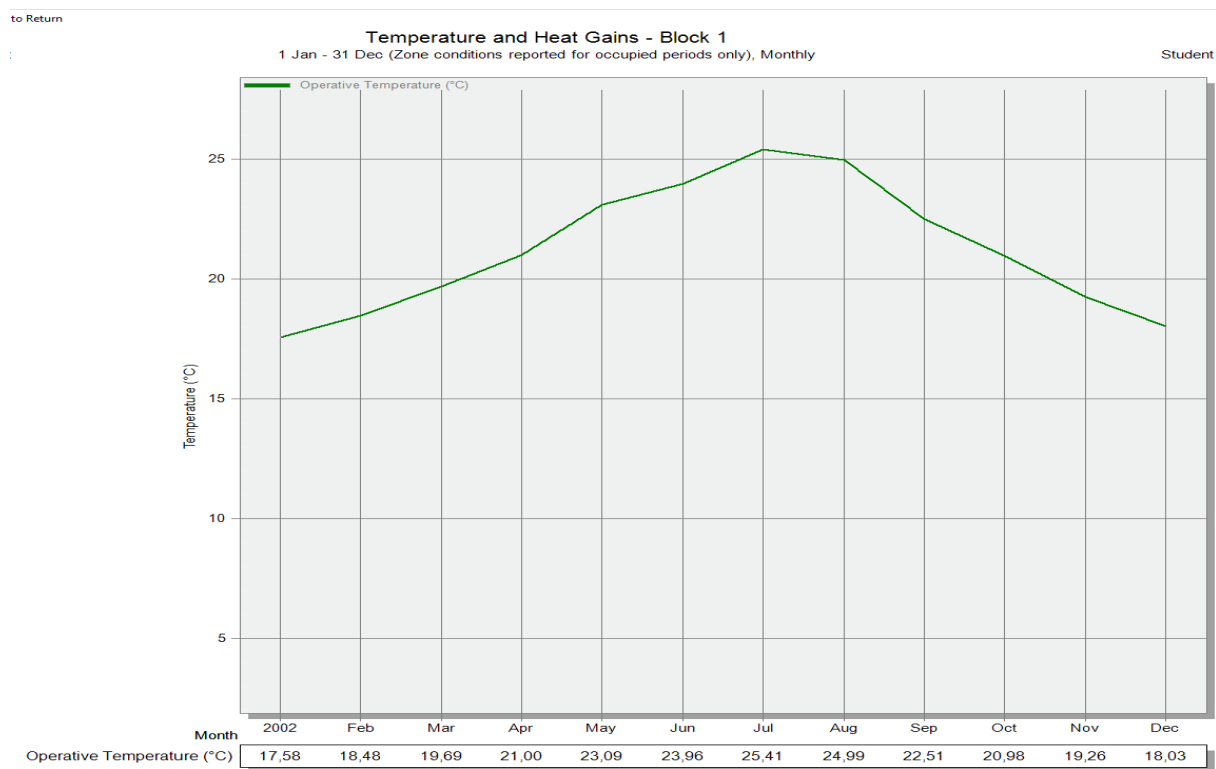
## Situatie 8:

- Rekening gehouden met aanliggende gebouwen
- Geen zonwering op noordgevel
- Zonwering op zuidgevel
- Zonwering op platte dak



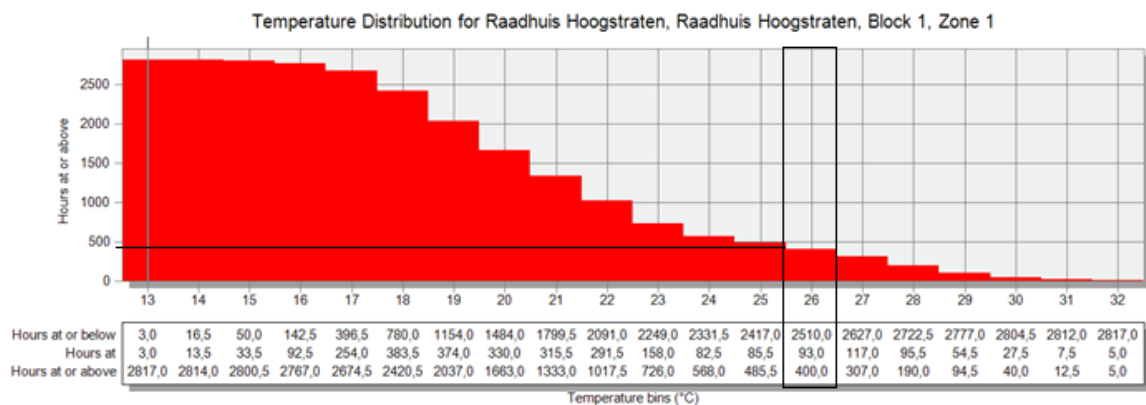
**Figuur 3-29 Situatie 8**

Door het plaatsen van zonwering op zowel het platte dak als de zuidgevel dalen de overschrijvende uren.



**Figuur 3-30 Operatieve temperatuur situatie 8 [11]**

Voor situatie 8 zal er op jaarbasis gedurende 400 uur een temperatuur van 26°C overschreden worden. Zie Figuur 3-31. Dit komt overeen met 14% van de bedrijfsuren.



**Figuur 3-31 Overschrijdingsuren situatie 8 [11]**

### 3.1.3 Samenvatting warmtewinsten

Uit de koellastberekening via de richtlijn van ATIC is een samenvatting van warmtewinsten en een totale warmtewinst van 12,87 kW bekomen. Uit de verschillende situaties wordt situatie 4 bekeken waarbij enkel zonwering op het platte dak wordt geplaatst. Daarna wordt er een vergelijking opgesteld van de ATIC-berekening en de simulatie. Dit is de situatie die aan de hand van voorgaande simulaties door het bouwteam verkozen werd. Hoe de totale warmtewinsten verdeeld zijn gebruikmakende van een softwarepakket wordt verder besproken.

De vergelijking van de warmtewinsten bekomen via de richtlijn van ATIC en de simulatie zijn weergegeven in Tabel 3-2. [10]

**Tabel 3-2 Vergelijking van de warmtewinsten**

| <b>Samenvatting<br/>warmtewinsten</b> |  | <b>ATIC-<br/>berekening</b> | <b>Simulatie</b> |          |
|---------------------------------------|--|-----------------------------|------------------|----------|
| <b>Interne warmtewinsten</b>          |  |                             |                  |          |
| Personen                              |  | 1415                        | 1380             | W        |
| Verlichting                           |  | 155                         | 150              | W        |
| Interne apparatuur                    |  | 2000                        | 1180             | W        |
| <b>Totaal interne warmtewinst</b>     |  | <b>3570</b>                 | <b>2710</b>      | <b>W</b> |
| <b>Externe warmtewinsten</b>          |  |                             |                  |          |
| Ramen                                 |  | 8199                        | 7890             | W        |
| Muren                                 |  | 0                           | 120              | W        |
| Daken                                 |  | 18                          | 390              | W        |
| Mechanische ventilatie                |  | 1069                        | 940              | W        |
| Infiltratie                           |  | 35                          | 120              | W        |
| <b>Totaal externe warmtewinst</b>     |  | <b>9302</b>                 | <b>9960</b>      | <b>W</b> |
| <b>Totale warmtewinst:</b>            |  | <b>12873</b>                | <b>12170</b>     | <b>W</b> |

In de berekening volgens de ATIC-richtlijn (=manuele berekening) wordt een schatting van de interne warmtewinsten van de interne apparatuur gemaakt. Dit is een eigen ingave. Het simulatiepakket biedt een keuzelijst met daarin: 'warme voeding', dat zal nauwkeuriger zijn. Doordat de simulatie veel lagere interne warmtewinsten gebruikt bij catering zal een lager aandeel van interne warmtewinsten bekomen worden. De eigen ingave kan best aangepast worden in de manuele berekening.

Bij de ramen is in de berekening geen rekening gehouden met eventuele schaduwvorming. Het simulatiepakket houdt hier rekening mee vandaar dat de warmtewinsten lager zullen liggen.

Het simulatiepakket houdt rekening met tussenprofielen in de glazen gevels wat resulteert in warmtewinsten bij de gevels. Warmtewinsten in het dak liggen hoger omdat in de simulatie rekening gehouden is met tussenprofielen van het dak. In de manuele berekening worden de tussenprofielen van glaspartijen verwaarloosd.

De mechanische ventilatie wordt zowel in de berekening als in de simulatie als een type C ventilatiesysteem beschouwd. Een type C ventilatiesysteem wil zeggen dat er een natuurlijke toevoer van verse lucht plaatsvindt en een mechanische afvoer.

De simulatie leert ons dat de berekening tussen de waarde ligt met beschaduwning van het gebouw en zonder beschaduwning van het gebouw. Bij interpretatie van toekomstige berekeningen wordt hier best rekening mee gehouden.

De mechanische ventilatie in de richtlijn houdt rekening met een toevoerdebiet van 550 m<sup>3</sup>/h. Dat toevoerdebiet is bepaald door de norm: EN13779 (ventilatiernorm voor niet-residentiële gebouwen) en de EPB eisen. Met het ARAB (codex voor het welzijn op het werk) is geen rekening gehouden omdat het ARAB 70 m<sup>3</sup>/h/persoon voorschrijft terwijl de EPB-eis 22 m<sup>3</sup>/h/persoon bedraagt en de EN13779 houdt rekening met 29 m<sup>3</sup>/h/persoon.

Voor de infiltratie wordt in de berekening met een debiet van 36 m<sup>3</sup>/h gerekend, het infiltratiedebiet is afhankelijk van de luchtdichtheid van het gebouw en afkomstig uit het EPB-verslag. In de simulatie wordt rekening gehouden met het debiet van infiltratie. Het verschil in aandeel van totale warmtewinsten via de berekening en via het simulatiepakket kan verklaard worden door kleine afwijkingen maar zijn bij benadering gelijkwaardig.

### **3.1.4 Algemeen besluit**

Het aangrenzende schoolgebouw heeft door zijn schaduwvorming een positieve invloed voor de koellast. De koellast is nog groot daarom worden besparingsmogelijkheden met extra zonwering onderzocht en is er echter noodzaak aan een koelinstallatie.

De invloed van zonwering is zowel op elke gevel als het platte dak apart gesimuleerd. Een samenvatting van de verschillende situaties en hun koelvermogen is weergegeven in Tabel 3-3. Hieruit blijkt dat zonwering op het platte dak de grootste invloed heeft op de daling van het koelvermogen. Enkel zonwering voorzien op het platte dak kan al een goede optie zijn.

**Tabel 3-3 Overzicht koelvermogen**

| Situatie | Aanliggend gebouw | Zonwering gevel noord | Zonwering gevel zuid | Zonwering plat dak | T <sub>max</sub> (°C) | Koelvermogen (kW) |
|----------|-------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|
| 1        | Nee               | Ja                    | Ja                   | Ja                 | 40,4                  | 20,2              |
| 2        | Ja                | Ja                    | Ja                   | Ja                 | 32,5                  | 10,72             |
| 3        | Ja                | Nee                   | Nee                  | Nee                | 37,5                  | 17,48             |
| 4        | Ja                | Nee                   | Nee                  | Ja                 | 33,8                  | 12,2              |
| 5        | Ja                | Nee                   | Ja                   | Nee                | 36,7                  | 16,1              |
| 6        | Ja                | Ja                    | Nee                  | Nee                | 37,4                  | 17,44             |
| 7        | Ja                | Ja                    | Nee                  | Ja                 | 33,7                  | 12,18             |
| 8        | Ja                | Nee                   | Ja                   | Ja                 | 32,5                  | 10,74             |

Het aangrenzende schoolgebouw zorgt voor veel schaduw als de zon hoog staat waardoor een daling in het benodigde koelvermogen optreedt. Ondanks dat het hoge gebouw al veel schaduw geeft is het toch aan te raden zonwering op het platte dak en eventueel op de zuidgevel te voorzien. Een samenvatting van de overschrijdingsuren is terug te vinden in Tabel 3-4. Het totale koelverbruik per jaar is afkomstig uit de simulatie. [11]

**Tabel 3-4 Samenvatting overschrijdingsuren**

|                                | Overschrijdingsuren (uur) | Totale koelverbruik/jaar (kWh/jaar) |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Geen zonwering                 | 575                       | 1192,52                             |
| Zonwering plat dak             | 480,5                     | 890,31                              |
| Zonwering plat dak + zuidgevel | 400                       | 701,77                              |

Met deze waarden heeft het bouwteam gekozen voor situatie 4 met zonwering op het platte dak. Het bouwteam hield voor zijn beslissing rekening met de volgende factoren:

- Comfort (warmte en luchtverplaatsing)
- Besparing op koelverbruik
- Besparing op installatiekosten (kleinere koellast is een kleinere installatie)
- Besparing op exploitatiekosten (beperking tot 12 kW geeft geen noodzaak aan periodieke energetische keuring)
- Kosten van zonwering
- Beleving met zonwering

Zonwering op het platte dak geeft een daling in het installatievermogen van meer dan 5 kW. Met plaatsing van zonwering op het platte dak zullen 94,5 uur minder overschrijdende uren (>26°C) optreden. Op het energieverbruik kan er 302,21 kWh/jaar bespaard worden.

Als zowel het platte dak als de zuidgevel voorzien worden van zonwering zal er een daling van meer dan 7 kW in het installatievermogen optreden. De overschrijdende uren zullen dalen met 175 uur (>26°C). Op het energieverbruik kan er dan 490,75 kWh/jaar bespaard worden.



Energetisch gezien is het aan te raden om zowel de zuidgevel als het dak te voorzien van zonwering. Architecturaal moet worden afgewogen of er zowel op de zuidgevel als op het platte dak zonwering zal worden voorzien. Het bouwteam heeft gekozen voor een optimale beleving van de voorgevel door hier geen zonwering op te voorzien.

In theorie wordt er pas gekoeld bij een ruimtetemperatuur van minimum 26°C maar in de praktijk wordt koeling soms al vroeger ingeschakeld. De berekeningen zijn theoretisch opgesteld. In de praktijk zullen deze waarden afwijken. Met de berekeningen en simulatie heeft het bouwteam een gestaafe keuze kunnen maken.

## **3.2 Bepalen van het jaarverbruik**

Het jaarverbruik van het kantoorgebouw zal nu in kaart worden gebracht. Er wordt hiervoor gebruik gemaakt van dynamische gebouwsimulatiesoftware nl. DesignBuilder. Ten eerste wordt een kantoorgebouw besproken zoals in hoofdstuk 2.3 om inzicht te krijgen in het verbruik van dergelijke kantoorcomplexen. Dit gebouw wordt gesimuleerd in DesignBuilder om zo op een nauwkeurige wijze het jaarverbruik te berekenen.

Vervolgens zal er een rekenblad worden opgesteld voor de berekening van het verbruik van dergelijke gebouwen. Dit om in de toekomst op een snelle manier een eerste indicatie te geven zonder een uitgebreide simulatie. Dit zal de studiekosten van een project drukken.

Het is nodig uitgebreid in te geven wat de functie is van het gebouw in de software. Zo dient men in te voeren welke bezetting zal plaatsvinden, welk soort verlichting er zal hangen, wat het verbruiksprofiel van sanitair warm water is, de gewenste temperaturen voor verwarming en koeling, of er vreemde warmteproductie aanwezig is of niet, etc. De constructie van het gebouw bepaalt het verbruik van de verwarming en koeling. Hoe deze gegevens ingegeven worden in de software wordt nu besproken.

### **3.2.1 Functie van het gebouw**

#### **3.2.1.1 Bezetting**

Er wordt een kantoor met een bezetting verondersteld met de volgende gegevens:

- 5 dagen per week
- 07:00 u – 18:00 u
- Tussen 07:00u en 08:00u 50% bezetting
- Tussen 08:00u en 16:30u 100% bezetting
- Tussen 16u30 en 17:30u 50% bezetting
- Geen extra vakantiedagen verondersteld

Per zone wordt de bezettingsgraad 'het aantal personen per oppervlakte' ingegeven.

**Tabel 3-5 Bezettingsgraad**

| Zone                             | Bezetting (personen)        | Oppervlakte (m <sup>2</sup> ) | Bezettingsgraad (personen/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|
| Zone 1: technische ruimten       | /                           | 193                           | /                                          |
| Zone 2: groeizone beneden        | 274                         | 274                           | 0,091                                      |
| Zone 3: onthaal en vergaderzalen | 44                          | 415                           | 0,106                                      |
| Zone 4: groeizone boven          | 14                          | 193                           | 0,073                                      |
| Zone 5: kantoren en refter       | 126                         | 728                           | 0,169                                      |
| Zone A: labo                     | 12                          | 296                           | 0,041                                      |
| Zone X: magazijn                 | /                           | 3734                          | /                                          |
| Zone Y: productie                | Niet opgenomen in de studie |                               |                                            |

**3.2.1.2 Metabolisme**

In de kantoorruimtes is verondersteld dat er licht bureauwerk wordt uitgevoerd met staande en wandelende activiteit. Het magazijn en de productie worden beschouwd als een industriële activiteit.

**3.2.1.3 Sanitair warm water**

Het verbruik van sanitair warm water wordt bepaald door het aantal douches per dag en het aantal handenwassen per dag in rekening te brengen.

Er wordt verondersteld dat er 12 douches per dag plaatsvinden met een verbruik van 9 l/min gedurende 8 min en 50 handenwas per dag aan 6 l/min gedurende 1 min.

Uit het voorgaande kan de totale oppervlakte van het kantoorgebouw bepaald worden. De sommatie van de zones 1-5 en zone X geeft een totaaloppervlakte van 5833 m<sup>2</sup>.

**Tabel 3-6 Verbruik sanitair warm water**

|           |         |         |       |           |
|-----------|---------|---------|-------|-----------|
| Douches   | 12/ dag | 9 l/min | 8 min | 864 l/dag |
| Handenwas | 50/ dag | 6 l/min | 1 min | 300 l/dag |

$$Verbruik = \frac{864 \frac{l}{dag} + 300 \frac{l}{dag}}{5833 m^2} = 0,2 \frac{l}{m^2 dag} \quad 3-1$$

**3.2.1.4 Temperaturen**

Een zone bestaat uit verschillende ruimtes. In het programma wordt de gewenste temperatuur ingegeven. Hiervoor wordt steeds de temperatuur genomen die overheerst in de zone. Voor een kantoorgebouw is dit meestal 22°C. Energetisch gezien wordt er het best gedaan aan nachtverlaging. De nachtverlaging is verondersteld op 16°C zodat het gebouw dan niet verwarmd zal worden.

Om te koelen zal de ruimte een temperatuur van 26°C bereikt hebben. De ruimtes zullen gekoeld worden bij maximale buitentemperaturen van 32°C.

Indien deze buitentemperatuur van 32°C wordt overschreden zal de koelinstallatie het gebouw niet meer kunnen koelen tot 26°C en zal de ruimtetemperatuur hoger komen te liggen. In deze extreme periodes is dit toegelaten om het verschil tussen binnen- en buiten temperatuur aanvaardbaar te houden.

Een koelinstallatie plaatsen die tot hogere buitentemperaturen het gebouw nog steeds gekoeld krijgt op 26°C is mogelijk maar niet altijd gewenst. De installatiekost zal dan veel hoger liggen, alsook het verbruik van de koelinstallatie. De ruimtetemperatuur in België overschrijdt 32°C op jaarbasis maar zelden waardoor een grotere installatie voor het grootste deel van het jaar overgedimensioneerd zal zijn en een slechter rendement behaalt. Standaard wordt de koelinstallatie berekend met een minimum ruimtetemperatuur van 26°C en een maximum buitentemperatuur van 32°C.

In de praktijk wordt de koeling vaak al sneller ingeschakeld. Daarom wordt er een simulatie uitgevoerd bij een koelregime met minimum ruimtetemperatuur van 24°C. Een overzicht van de verschillende zones en hun gewenste temperaturen wordt in Tabel 3-7 weergegeven.

**Tabel 3-7 Temperaturen in het kantoorgebouw**

| Zone                             | T verwarming (°C)           | T verwarming Nachtverlaging (°C) | T koeling (°C) | T koeling (max) (°C) | Oppervlakte (m <sup>2</sup> ) |
|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------|----------------------|-------------------------------|
| Zone 1: technische ruimten       | 16                          | 16                               | 26/24          | 32                   | 193                           |
| Zone 2: groeizone beneden        | 22                          | 16                               | 26/24          | 32                   | 274                           |
| Zone 3: onthaal en vergaderzalen | 22                          | 16                               | 26/24          | 32                   | 415                           |
| Zone 4: groeizone boven          | 22                          | 16                               | 26/24          | 32                   | 193                           |
| Zone 5: kantoren en refter       | 22                          | 16                               | 26/24          | 32                   | 728                           |
| Zone A: labo                     | 22                          | 16                               | 26/24          | 32                   | 296                           |
| Zone X: magazijn                 | 16                          | 16                               | /              | /                    | 3734                          |
| Zone Y: productie                | Niet opgenomen in de studie |                                  |                |                      |                               |

### **3.2.1.5 Apparatuur**

Apparatuur aanwezig in een ruimte resulteert in vreemde warmteproductie. In de zomer zal deze vreemde warmteproductie extra moeten wegkoelen. In de kantoren zijn dit voornamelijk computers, waarbij verondersteld wordt dat er 100 W/computer vreemde warmteproductie optreedt.

Overig kantoorapparatuur zoals printers, kopieerapparaten worden verondersteld 200/W per apparaat vreemde warmteproductie te produceren. In het labo zijn er diverse apparaten zoals een oven, koelkast, etc. die vreemde warmteproductie met zich meebrengen. Een globaal overzicht van de apparatuur is terug te vinden in Tabel 3-8.

**Tabel 3-8 Apparatuur in het kantoorgebouw**

|                     | Computers    | Kantoorapparatuur | Specifieke apparaten |
|---------------------|--------------|-------------------|----------------------|
| Zone 1-5 (Kantoren) | Ja           | Ja                | Ja (beperkt)         |
| Zone A              | Ja (beperkt) | Nee               | Ja                   |
| Magazijn            | Nee          | Nee               | Nee                  |

**3.2.1.6 Ventilatie**

Het kantoorgebouw wordt geventileerd met een type D ventilatiesysteem. Type D wil zeggen dat er zowel mechanische toevoer als afvoer voorzien wordt. In de winter zal de ventilatielucht voorverwarmd worden door de ketel, welke een verbruik heeft. In de zomer zal de ventilatielucht warmer zijn dan gewenst en dient de lucht eerst gekoeld te worden. Ventilatie van een gebouw gaat gepaard met extra verbruiken.

**3.2.2 Constructie van het gebouw**

Nieuwe kantoorgebouwen moeten steeds voldoen aan de EPB-eis. Voor dit gebouw is dit maximaal E60. Om deze eis te kunnen behalen is de U-waarde van de constructie een belangrijke factor. De kantoorgebouwen zullen bestaan uit een stalen constructie bekleed met geïsoleerde sandwichpanelen. De volgende waardes bekomen uit het EPB-verslag zijn in de software ingegeven:

**3.2.2.1 Kantoorruimtes****Tabel 3-9 U-waardes kantoren**

|                               | Wand | Dak  | Vloer |
|-------------------------------|------|------|-------|
| U-waarde (W/m <sup>2</sup> K) | 0,24 | 0,22 | 0,20  |

**3.2.2.2 Magazijn****Tabel 3-10 U-waardes magazijn**

|                               | Wand | Dak  | Vloer |
|-------------------------------|------|------|-------|
| U-waarde (W/m <sup>2</sup> K) | 0,24 | 0,22 | 0,22  |

### **3.2.2.3 Openingen**

Langs ramen en openingen zal er een warmteverlies kunnen optreden in de winter. In de zomer zal er zonnewarmte het gebouw intreden via ramen en openingen. Deze zonnewarmte resulteert in warmteproductie die in de zomer extra weggekoeld zal moeten worden. Uit het EPB-verslag is de opbouw van de ramen gehaald:

- Dubbel glas
- Aluminium frame
- $U_{\text{glas}} = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $g = 0,5$  (=zonnetoetredingsfactor)
- Vereenvoudigd getekend door in één geheel te tekenen -> correctie door dividers in te vullen overeenkomstig met aantal raamdelen
- Alle gevels uitgezonderd de noordgevel beschikken over buitenzonwering

### **3.2.2.4 Verlichting**

In nieuwe gebouwen wordt er standaard LED-verlichting geplaatst. De meerprijs van LED-armaturen is door de efficiëntie van het armatuur snel terugverdiend. In de norm NBN EN 12464-1 Licht en verlichting – Werkplekverlichting staat beschreven dat in kantoorruimtes waar er aan dataverwerking, schrijven, typen wordt gedaan een minimale verlichtingssterkte van  $500 \text{ lux/m}^2$  moet zijn. Als de verlichting nog niet gekend is, wordt er gerekend met een lichtefficiëntie van  $2 \text{ W/m}^2$  100 lux. Er is verondersteld dat er geen lichtcontrole is en buitenverlichting wordt niet mee in rekening gebracht gezien dit niet voor interne warmtewinsten zorgt.

### **3.2.2.5 HVAC**

In het kantoorgebouw zal een type D ventilatiesysteem aanwezig zijn. De ventilatiedebieten worden per zone berekend en ingegeven in de software. Er wordt per ruimte beschreven wat de functie van de ruimte is, hoeveel de oppervlakte van de ruimte bedraagt en wat de bezetting van de ruimte is.

Via EPB en andere normen zoals NBN EN 13 779 (norm bezetting) worden er minimum debieten opgesteld die in een ruimte moeten voorzien worden. Er dient evenveel verse lucht toegevoerd te worden als er zal worden afgevoerd. Er zal een balans zijn tussen toevoer en afvoer.

In de software wordt enkel het toevoerdebiet ingegeven. In ruimten waar de lucht enkel wordt afgevoerd zuigt men geconditioneerde lucht binnen. Toegepast op het kantoorgebouw bekommt men volgende gegevens in Tabel 3-11.

**Tabel 3-11 Toevoerdebieten ventilatie**

| Zone                             | Oppervlakte<br>(m <sup>2</sup> ) | Ventilatiedebiet<br>(m <sup>3</sup> /h) | Ventilatiedebiet<br>(l/s m <sup>2</sup> ) |
|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|
| Zone 1: technische ruimten       | 193                              | /                                       | /                                         |
| Zone 2: groeizone beneden        | 274                              | 1200                                    | 1,22                                      |
| Zone 3: onthaal en vergaderzalen | 415                              | 2470                                    | 1,65                                      |
| Zone 4: groeizone boven          | 193                              | 935                                     | 1,34                                      |
| Zone 5: kantoren en refter       | 728                              | 4430                                    | 1,69                                      |
| Zone A: labo                     | 296                              | 2000                                    | 1,88                                      |
| Zone X: magazijn                 | 3734                             | 5478                                    | 0,41                                      |
| Zone Y: Productietoren           | 474                              | 3140                                    | 0,23                                      |

### 3.2.3 Koelregime 26/32°C

De simulaties zijn uitgevoerd per zone en voor het volledige gebouw in zijn geheel. Dit is enerzijds een vereenvoudiging t.o.v. iedere ruimte afzonderlijk maar anderzijds is het geheel een juiste indicatie voor het totaal verbruik. Koeling wordt in DesignBuilder altijd negatief weergegeven en verwarming positief.

De resultaten bekomen per zone worden verder besproken aan de hand van een samenvattende tabel. De grafieken bekomen uit de simulatie zijn terug te vinden in de bijlage B. De simulaties uit Tabel 3-12 zijn uitgevoerd bij een koelregime van 26/32 °C.

**Tabel 3-12 Jaarverbruiken per zone**

| Zone                                   | Temp.<br>(°C) | Verlichting<br>(kWh) | Apparatuur<br>(kWh) | Bezetting<br>(kWh) | Zonnewarmte<br>(kWh) | Koeling<br>(kWh) | Verwarming<br>(kWh) |
|----------------------------------------|---------------|----------------------|---------------------|--------------------|----------------------|------------------|---------------------|
| Zone 1:<br>technische<br>ruimten       | 17,34         | 2430,59              | 2860,81             | /                  | 1223,73              | 1708,15          | 1589,67             |
| Zone 2:<br>groeizone<br>beneden        | 18,64         | 5317,39              | 6258,57             | 3667,95            | 8763,10              | 3378,03          | 7263,92             |
| Zone 3:<br>Onthaal en<br>vergaderzalen | 18,92         | 8711,4               | 10253,31            | 1879,89            | 11298,5              | 5117,13          | 14770,25            |
| Zone 4:<br>groeizone<br>boven          | 18,05         | 4853,79              | 5712,92             | 2699,25            | 10881,75             | 2939,77          | 9909,96             |
| Zone 5:<br>Kantoren en<br>refter       | 18,65         | 18848,67             | 22184,78            | 24020,87           | 30103,51             | 18002,51         | 21073,14            |
| Zone A: labo                           | 19,66         | 7491,36              | 8817,33             | 2107,77            | 1998,53              | 11212,69         | 1226,47             |

**3.2.3.1 Bespreking resultaten**

De operationele temperatuur is de gemiddelde temperatuur die in de zone heerst als er geen verwarming of koeling gebruikt wordt. In de technische ruimten zal die lager liggen omdat deze ruimten grenzen aan het onverwarmde magazijn en de buitenmuren naar het noorden en oosten gericht zijn.

Zone 2 en zone 3 hebben in verhouding minder buitenmuren waardoor de temperatuur hier hoger zal liggen.

In zone 4 zijn meer glaspartijen aanwezig waardoor de temperatuur hoger zal liggen dan in zone 1. Zone 5 en zone A hebben veel glaspartijen die zuidelijk gericht zijn waardoor hier hogere temperaturen bereikt worden.

De vreemde warmteproductie afkomstig van verlichting zal stijgen naargelang de oppervlakte van de zones. De verlichtingssterkte moet overal 500 lux bedragen waardoor in grotere ruimten meer verlichting geplaatst zal worden. Het vermogen per m<sup>2</sup> zal gelijkwaardig zijn.

Analoog zal de vreemde warmteproductie afkomstig van apparatuur beïnvloed worden door de grootte van de zone. In de grote zones 3 en 5 die vooral uit kantoren en vergaderzalen bestaan is er veel meer apparatuur aanwezig wat resulteert in een hogere vreemde warmteproductie.

De vreemde warmteproductie afkomstig van de invallende zonnestraling zal hoger liggen in zones met veel glaspartijen. In zone 5 zal de zonnewarmte het hoogst zijn omdat hier veel west-gerichte ramen aanwezig zijn.

Het gebouw is zo georiënteerd dat de grootste gevels gericht zijn naar het noorden en oosten. Er zal in het algemeen een hogere warmtevraag zijn dan de koelvraag. Zone 5 en zone A hebben west-gerichte gevels met veel glaspartijen waardoor de koelvraag hier beduidend hoger zal liggen. Zone A zal zelfs bijna geen verwarming nodig hebben. In de tabel is merkbaar dat wanneer er veel interne of vreemde warmteproductie plaatsvindt, het koelverbruik hoger zal liggen.

### 3.2.4 Koelregime 24/32°C

Een analoge simulatie wordt uitgevoerd om het effect van koeling tot 24 °C in plaats van tot 26°C te onderzoeken. Het verschil in koelregime is terug te vinden in de Tabel 3-13. De grafieken bekomen uit de simulatie zijn terug te vinden in de bijlage C.

**Tabel 3-13 Verschil in koelregime**

| Zone                                   | Bezetting<br>24/32<br>(kWh) | Zonnewarmte<br>24/32 (kWh) | Koeling 24/32<br>(kWh) | Koeling 26/32<br>(kWh) | Verschil<br>(kWh) | Procentueel<br>extra<br>verbruik |
|----------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|----------------------------------|
| Zone 1:<br>technische<br>ruimten       | /                           | 1223,73                    | 1847,74                | 1708,15                | 139,59            | + 8,17 %                         |
| Zone 2:<br>groeizone<br>beneden        | 3741,98                     | 8763,10                    | 4008,2                 | 3378,03                | 630,17            | + 18,66 %                        |
| Zone 3:<br>Onthaal en<br>vergaderzalen | 1915,86                     | 11298,5                    | 5719,2                 | 5117,13                | 602,07            | + 11,78 %                        |
| Zone 4:<br>groeizone<br>boven          | 2747,3                      | 10881,75                   | 3549,47                | 2939,77                | 609,7             | + 20,74 %                        |
| Zone 5:<br>Kantoren en<br>refter       | 24530,35                    | 30103,51                   | 20340,82               | 18002,51               | 2338,31           | + 12,99 %                        |
| Zone A: labo                           | 2249,66                     | 1998,53                    | 15056,21               | 11212,69               | 3843,52           | + 34,28 %                        |

Uit de tabel is duidelijk te zien dat bij een koelregime van 24/32 °C meer koelverbruik zal zijn dan in een regime van 26/32 °C. In theorie zal koeling pas ingeschakeld worden vanaf een binnentemperatuur van 26°C. In de praktijk wordt echter al veel eerder een koelinstallatie ingeschakeld. Hoe sneller de koelinstallatie inschakelt, hoe meer het verbruik zal bedragen. In grote ruimten of ruimten met grote glaspartijen gericht naar oost-zuid-west kan het verbruik een forse stijging bekomen.



### 3.2.5 Algemene conclusie

Theoretisch wordt het verbruik van een gebouw altijd met het koelregime van 26/32 °C bepaald. Omdat er in de praktijk de koeling al eens sneller wordt ingeschakeld is de berekening gemaakt voor het koelregime van 24/32 °C. Als de koeling sneller zal worden ingeschakeld zal een hoger koelverbruik optreden.

De interne warmteproductie afkomstig van apparatuur en verlichting is in beide koelregimes gelijk. Dit is logisch omdat het koelregime onafhankelijk is van het aantal verlichting, computers en dergelijke aanwezig in het gebouw.

Wat ons opvalt is dat de vreemde warmteproductie afkomstig van het aantal personen hoger zal liggen in een koelregime van 24/32°C. Personen geven warmte af aan de ruimte. De lichaamstemperatuur van personen bedraagt 37,5 °C. Hoe warmer de ruimte hoe kleiner het temperatuurverschil tussen de persoon en de ruimte zal bedragen wat resulteert in een lagere warmteafgifte naar de ruimte.

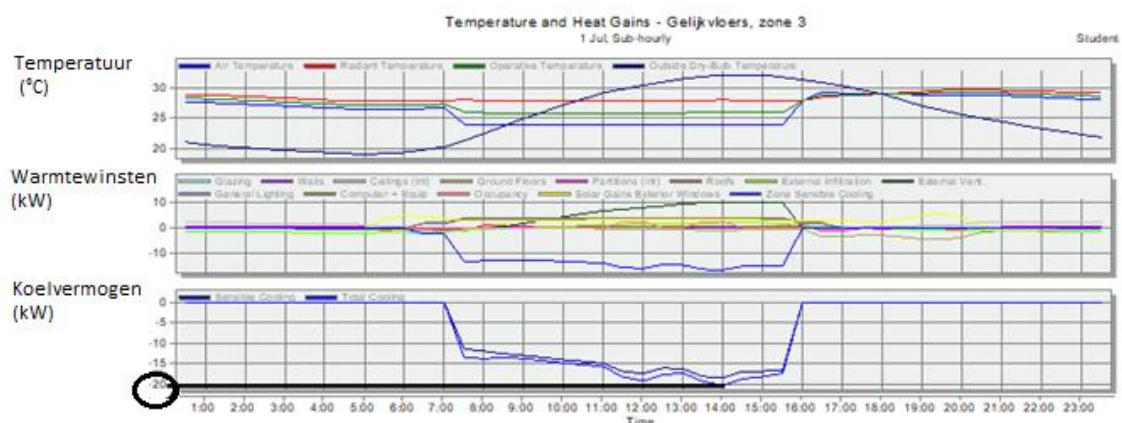
Het koelregime verandert van 26/32 °C naar 24/32°C, de ruimte wordt gekoeld bij lagere temperatuur. Het temperatuurverschil tussen de personen en de ruimte wordt groter alsook de vreemde warmteproductie.

Het aandeel zonnewarmte in het gebouw is onafhankelijk van het koelregime en blijft hetzelfde. Doordat de vreemde warmteproductie afkomstig van bezetting hoger ligt zal een hoger koelverbruik optreden bij het koelen vanaf een ruimtetemperatuur van 24 °C.

### 3.3 Bepalen van het piekvermogen

Het koelverbruik op jaarbasis is sterk afhankelijk van het weer. De koellast van het volledige gebouw is per maand bekeken en hieruit is de maand waarin een piekvermogen aan koeling nodig is terug te vinden. Er wordt verwacht dat deze piekmaand zich in de zomer zal plaatsvinden wanneer de buitentemperaturen het hoogst zijn. De resultaten van elke maand zijn terug te vinden in bijlage D.

Er wordt nu een overzicht gegeven van de piekmaand: juli voor zone 3 tijdens het koelregime van 24/32 °C in Figuur 3-32. Zone 3 heeft een piekvermogen in koeling van ongeveer 20 kW.



Figuur 3-32 Piekvermogen maand juli [11]

### 3.3.1 Bespreking resultaten

Er zal enkel koeling nodig zijn in het gebouw als er personen aanwezig zijn. Het verbruiksprofiel van het kantoorgebouw loopt van 7u 's ochtends tot 18u 's avonds. De mechanische ventilatie volgt dit profiel en zal starten aan een lager vermogen en wanneer iedereen aanwezig is zal de mechanische ventilatie op vol vermogen draaien.

's Nachts wanneer het gebouw niet in gebruik is zal de luchttemperatuur hoger dan 24°C zijn, dit is te verklaren omdat er na 16u niet meer gekoeld zal worden, de warmte zit nu nog in het gebouw. Tegen de middag zal de zon gedraaid zijn en hoger komen te staan waardoor een hoger koelvermogen zal nodig zijn.

Een overzicht voor alle zones in de maand juli weergegeven in Tabel 3-14.

**Tabel 3-14 Koelvermogen per zone maand juli**

| Zone                             | Oppervlakte (m <sup>2</sup> ) | Ruimte temperatuur (°C) | Koelvermogen (kW) | kW/m <sup>2</sup> | Relatieve vochtigheid (%) |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| Zone 1: technische ruimten       | 193                           | 24                      | 4,43              | 0,02              | ±62                       |
| Zone 2: groeizone beneden        | 274                           | 24                      | 11,16             | 0,04              | ±63                       |
| Zone 3: onthaal en vergaderzalen | 415                           | 24                      | 18,49             | 0,05              | ±62                       |
| Zone 4: groeizone boven          | 193                           | 24                      | 13,05             | 0,67              | ±55                       |
| Zone 5: kantoren en refter       | 728                           | 24                      | 53,96             | 0,74              | ±62                       |
| Zone A: labo                     | 296                           | 24                      | 22,54             | 0,76              | ±61                       |

Eerder is besproken dat grotere zones een groter koelverbruik met zich meebrengen. Dit resulteert natuurlijk in de grotere koelvermogens. Voor een vergelijking is het vermogen per oppervlakte berekend. Hieruit volgt dat grotere ruimten een groter verbruik hebben per oppervlak. Het labo is geen goede vergelijking omdat hier veel interne warmteproductie afkomstig van specifieke apparaten is. Zone 4 en zone 5 zijn beide gelegen op het eerste verdiep en hebben een gelijkaardig verbruik per oppervlak. De kantoorruimtes beneden, zone 2 en 3 zijn gelijkwaardig aan elkaar.

De relatieve vochtigheid van de ruimtes blijft nagenoeg constant. Enkel in de groeizone in zone 4 is een verlaging van de vochtigheid op te merken. In een koelregime van 26/32 °C zal het koelvermogen per zone iets lager komen te liggen.

## 4 VERGELIJKING BEREKENING EN SIMULATIE

Vandaag de dag speelt het energieverbruik van gebouwen een grote rol. Het is belangrijk een goede inschatting te kunnen maken van het verbruik. Met een eenvoudige tool wordt weergegeven hoeveel vermogen er nodig zal zijn om het gebouw te verwarmen en te koelen. Bijkomend zal een inschatting gemaakt worden van het warmteverbruik en het koelverbruik van het gebouw op jaarbasis. Een inschatting maken in het verbruik van een gebouw is echter niet simpel. Het warmteverbruik en koelverbruik van een gebouw is erg afhankelijk van het gebruik van het gebouw. Het ingeschatte verbruik zal een goede indicatie zijn mits het gebouw verwarmd en gekoeld zal worden op de berekende temperaturen.

De rekentool zal worden opgesteld door middel van een standaard school- en kantoorgebouw. Er zal eerst worden aangetoond hoe het rekenblad opgebouwd zal zijn. Daarna zal een controle van de juistheid van het rekenblad worden uitgevoerd, door het rekenblad toe te passen op verschillende gebouwen. Verschillende softwarepakketten en uitgebreide berekeningen kunnen het verbruik zeer realistisch weergeven. Het rekenblad dat wordt opgesteld zal op een eenvoudige manier toch een goede inschatting geven van het energieverbruik. Dit rekenblad is opgemaakt aan de hand van enkele voorbeeldprojecten waarin het resultaat van de simulatie werd overgenomen in een rekenblad. Hierbij is het belangrijk te kijken welke input een waarde doet veranderen en in welke mate.

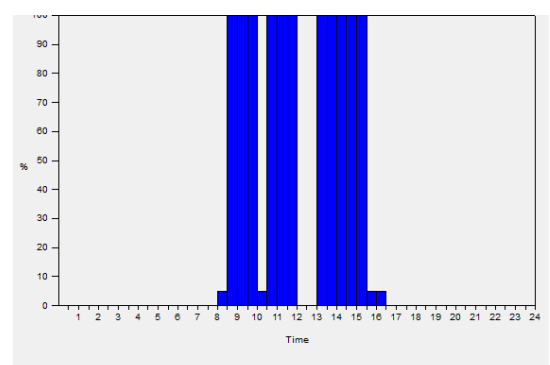
### 4.1 Vergelijking

#### 4.1.1 Gebruiksuren

Als eerste zal er bepaald worden hoeveel uur per jaar een gebouw in dienst zal zijn of in gebruik wordt genomen. Dit worden de gebruiksuren van een gebouw genoemd. Het rekenblad zal opgesteld worden voor zowel school- als kantoorgebouwen. Deze keuze is gemaakt omdat dit het grootste aandeel projecten zijn binnen studie bureau Forté.

De gebruiksuren voor een schoolgebouw zijn bepaald op de volgende manier:

- 5 dagen per week, woensdagnamiddag vrij
- 08:00u – 08:30u 5% bezetting
- 08:30u – 10:00u 100% bezetting
- 10:00u – 10:30u 5% bezetting
- 10:30u – 12:00u 100% bezetting
- 12:00u – 13:00u 0% bezetting
- 13:00u – 15:30u 100% bezetting
- 15:30u – 16:30u 5% bezetting
- Schoolvakanties = 365 (dagen/jaar) – 2\*52(weekend)– 175 (lesdagen) = 96 vakantiedagen



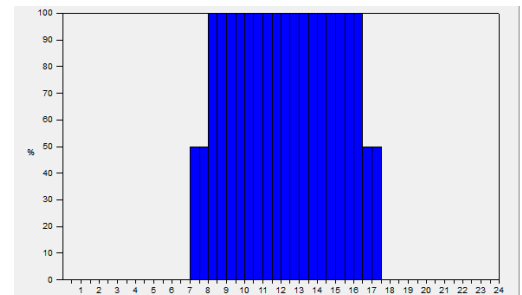
Figuur 4-1 Verbruiksprofiel school [11]

In de software zal gerekend worden met het verbruiksprofiel zoals hierboven in Figuur 4-1 weergegeven. In berekeningen wordt rekening gehouden met een bezetting van 7 uur voor een hele lesdag. Per 5 lesdagen zal het gebouw 31 uur in gebruik zijn.

De gebruiksuren op jaarbasis bedragen dan 1085 uur. Voor een schoolgebouw zal in verdere berekeningen telkens gerekend worden met 1100 uur bezetting op jaarbasis.

De gebruiksuren voor een kantoorgebouw zijn analoog bepaald rekening houdend met:

- 5 dagen per week
- 07:00 u – 18:00 u
- Tussen 07:00u en 08:00u 50% bezetting
- Tussen 08:00u en 16:30u 100% bezetting
- Tussen 16u30 en 17:30u 50% bezetting
- 1 week vakantie bij Nieuwjaar = 5 dagen



**Figuur 4-2 Verbruiksprofiel kantoor [11]**

Voor een kantoorgebouw zal in verdere berekeningen steeds met 2700 uur bezetting rekening gehouden worden.

Om het aantal gebruiksuren van een gebouw in te geven is er de mogelijkheid tussen schoolgebouw/kantoorgebouw/anders. Als de gebruiksuren sterk afwijkend zijn van de uren berekend bij een schoolgebouw of kantoorgebouw kan het aantal uren zelf ingevuld en rekent het rekenblad hiermee verder.

#### 4.1.2 Ventilatie

Het aandeel ventilatie in zowel koeling als verwarming is via de software bepaald voor een school- en kantoorgebouw. Er is een verschil gemaakt tussen ventilatie type C en type D. Een daling in het koelverbruik wordt verwacht wanneer er van een type C-ventilatie overgaan wordt naar een type D-ventilatie.

In de software is de koellast afkomstig van ventilatie niet apart af te leiden, daarom is die handmatig berekend.

Berekening koellast:

$$P_{vent} = \rho \cdot q \cdot c \cdot \Delta T \quad 4-1$$

$$P_{vent} = \rho \cdot q \cdot c \cdot (T_{inblaas} - T_{ruimte})$$

$$T_{inblaas} = \eta_{warmtewiel} \cdot (T_{ruimte} - T_{\infty}) + T_{\infty} \quad 4-2$$

Systeem D:  $T_{inblaas} = 70 \% \cdot (26 - 32) + 32 = 27,8^{\circ}C$

$$P_{vent-D} = 1,16 \cdot 0,03 \cdot 1005 \cdot (27,8 - 26) = 58 \text{ W}$$

Systeem C:  $T_{inblaas} = 0 \% \cdot (26 - 32) + 32 = 32^{\circ}C$

$$P_{vent-C} = 1,16 \cdot 0,03 \cdot 1005 \cdot (32 - 26) = 194 \text{ W}$$

Waarbij:

$\rho$  = massadichtheid van lucht [kg/m<sup>3</sup>]

$q$  = debiet van 100 m<sup>3</sup>/h uitgedrukt in m<sup>3</sup>/s

$c$  = soortelijke warmte van lucht [J/kgK]

$T_{inblaas}$  = luchttemperatuur die wordt ingeblazen in de ruimte [°C]

$T_{ruimte}$  = ruimtetemperatuur waarop gekoeld wordt [°C]

$\eta_{warmtewiel}$  = rendement van het warmtewiel, aangenomen op 70 % [%]

$T_{\infty}$  = maximale temperatuur waarop gekoeld wordt [°C]

$P_{vent}$  = koellast ten gevolge van ventilatie [W]

Het warmteverlies door ventilatie is afkomstig van de simulaties. De simulaties zijn telkens uitgevoerd met een ventilatiedebiet van 100 m<sup>3</sup>/h en ventileren bij een conditie van 26/32°C. Het rekenblad zal een invoerveld bevatten waar het ventilatiedebiet van het gebouw ingevoerd moet worden. Door interpolatie van de waardes uit tabel 4.1 zal het rekenblad rekening houden met het warmteverlies van ventilatie voor het gebouw. Het warmteverbruik is bepaald door het warmteverlies te vermenigvuldigen met de gebruiksuren uit 4.1.1. Op analoge wijze is het koelverbruik berekend.

**Tabel 4-1 Warmteverlies door ventilatie**

|           |         | Warmteverlies | Koellast | Warmteverbruik | Koelverbruik |
|-----------|---------|---------------|----------|----------------|--------------|
| Systeem C | School  | 0,76 kW       | 0,19 kW  | 836 kWh        | 213 kWh      |
| Systeem D | School  | 0,23 kW       | 0,06 kW  | 253 kWh        | 64 kWh       |
| Systeem C | Kantoor | 1,1 kW        | 0,19 kW  | 2970 kWh       | 523 kWh      |
| Systeem D | Kantoor | 0,33 kW       | 0,06 kW  | 891 kWh        | 157 kWh      |

Het warmteverbruik en koelverbruik zijn bij een school kleiner dan bij een kantoor aangezien de gebruikstijd hier korter is.

### 4.1.3 Verlichting

De verlichting aanwezig in een gebouw of ruimte zorgt voor een productie aan interne warmte. Deze warmtewinsten zullen in de zomer een extra koellast met zich meebrengen. Het totale warmtevermogen van de verlichting wordt met onderstaande formule berekend.

$$P = A \cdot E \cdot \text{verlichtingsefficiëntie} \quad 4-3$$

Waarbij:

$P$  = vermogen [W]

$A$  = oppervlakte [m<sup>2</sup>]

$E$  = verlichtingssterkte [lux]

$\text{Verlichtingsefficiëntie}$  = specifiek vermogen van de verlichting [W/m<sup>2</sup>100lux]

#### 4.1.4 Apparatuur

In kantoorgebouwen zijn computers/printers en dergelijke aanwezig die een welbepaald warmtevermogen afgeven, vreemde warmteproductie genoemd. Wanneer er grote verbruikers zoals een grootkeuken aanwezig zijn in een gebouw dient hier rekening mee gehouden te worden. Bij het ontwerp zijn de gebruikers vaak niet gekend. Als er een groot elektrisch vermogen en/of afzuiginstallatie gevraagd wordt, moet de gebruiker alert zijn. Om het vermogen afkomstig van de apparatuur te berekenen wordt het aantal computers aanwezig in het gebouw vermenigvuldigd met hun afgiftevermogen.

Op dezelfde manier wordt de vreemde warmteproductie van printers en dergelijke bepaald. Het jaarverbruik afkomstig van apparatuur is het totale afgiftevermogen vermenigvuldigd met het aantal gebruiksuren.

Er is een afgiftevermogen verondersteld van 100 W/computer en 200 W/printer of dergelijke.

#### 4.1.5 Metabolisme

De warmteafgifte van personen is afhankelijk van het soort werk dat er verricht wordt. In kantoren waar er vooral bureauwerk verricht wordt zal de afgifte lager zijn per persoon dan in een magazijn of in productie.

De richtwaarden in Tabel 4-2 zijn afkomstig van de ATIC-richtlijn voor koellastberekeningen. [10]

**Tabel 4-2 Metabolisme**

|                          | Metabolisme<br>(W/persoon) |
|--------------------------|----------------------------|
| Zittend, zeer licht werk | 131                        |
| Bediende in kantoor      | 139                        |
| Licht werk productie     | 234                        |
| Zwaar werk fabriek       | 439                        |

#### 4.1.6 Infiltratie

De infiltratie van een gebouw is de dag vandaag heel belangrijk gezien de betere isolatie. In nieuwbouwprojecten en passiefbouw moet een gebouw zo luchtdicht mogelijk zijn. Omdat het effect in verhouding groter is. In koellastberekeningen wordt er gerekend met een n50 waarde. Deze waarde geeft weer hoeveel lucht er per uur ververst wordt onder een drukverschil van 50 Pa. Met andere woorden geeft dit getal weer hoe luchtdicht een gebouw is. Hoe lager de waarde, hoe minder lucht er per uur zal worden ververst, hoe luchtdichter het gebouw. Voor nieuwbouwwoningen en kantoorgebouwen wordt gerekend met een n50 van 3 en voor bestaande gebouwen met een n50 van 5. In de praktijk wordt bij elk nieuw gebouw een luchtdichtheidsmeting gedaan ter controle. Deze waarde is echter pas bekend als het gebouw klaar is. In ontwerp dient een veronderstelling gemaakt te worden.

De software DesignBuilder werkt met Amerikaanse standaarden waarbij het luchtverversingsdebiet wordt weergegeven in het aantal accumulaties per uur (ac/h). Via het hulp-menu van het programma is terug te vinden dat n50 = 3 overeenkomt met 0,6 ac/h en n50 = 5 overeenkomt met 1 ac/h.

Het warmteverlies en de koellast van een school- en/of kantoorgebouw zijn gesimuleerd met het softwarepakket. Alsook de verbruiken van verwarming en koeling. Het negatieve koelvermogen en koelverbruik duidt op een vermindering aan koeling. Het gebouw is niet volledig luchtdicht waardoor er in tussenseizoenen koudere buitenlucht binnen treedt. De koudere buitenlucht zorgt voor een natuurlijke koeling van de ruimte waardoor het koelverbruik lager zal liggen.

Volgende waarden uit Tabel 4-3 zijn bekomen uit de simulaties [11].

**Tabel 4-3 Infiltratie**

| <b>INFILTRATIE ac/h</b>   | <b>Warmteverlies</b> | <b>Koellast</b> | <b>Warmteverbruik</b> | <b>Koelverbruik</b> |
|---------------------------|----------------------|-----------------|-----------------------|---------------------|
| Infiltratie 0,6 - school  | 0,34 kW              | -0,03 kW        | 40,9 kWh              | -140,34 kWh         |
| Infiltratie 1,0 - school  | 0,33 kW              | -0,03 kW        | 40,9 kWh              | -140,34 kWh         |
| Infiltratie 0,6 - kantoor | 0,34 kW              | -0,22 kW        | 1560 kWh              | -1866,8 kWh         |
| Infiltratie 1,0 - kantoor | 0,61 kW              | -0,18 kW        | 1560 kWh              | -1866,8 kWh         |

#### 4.1.7 Constructie van het gebouw

De aanwezigheid van isolatie in een gebouw speelt natuurlijk een grote rol in het aandeel warmteverliezen en de koellast van een gebouw. Een goed geïsoleerd gebouw is algemeen beter dan een slecht of niet geïsoleerd gebouw behalve voor de koellast. Goed geïsoleerde gebouwen zijn zo luchtdicht dat er weinig natuurlijke ventilatie optreedt en de koellast hoger zal liggen.

Het verschil tussen een geïsoleerd en niet geïsoleerd gebouw zit in de verschillende U-waardes van de gebouwschillen. Nieuwe gebouwen worden goed geïsoleerd verondersteld, omdat de normen dit opleggen.

De U-waardes hier verondersteld zijn U-waardes die minimaal behaald moeten worden om aan huidige EPB-eisen te voldoen. Er wordt gerekend met U-waardes van de huidige EPB eisen omdat meer isoleren dan de normen weinig meerwaarde heeft en dit in de praktijk niet gedaan wordt. In bestaande gebouwen kan er weinig tot geen isolatie aanwezig zijn. Hier worden slechtere U-waardes verondersteld.

Geïsoleerd gebouw:

muur:  $U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$

dak:  $U = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$

vloer:  $U = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$

Bestaand of niet geïsoleerd gebouw:

muur:  $U = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$

dak:  $U = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$

vloer:  $U = 1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

De oriëntatie van het gebouw is belangrijk, het rekenblad zal rekening houden met de oriëntatie van de ramen in het gebouw. Grote beglaasde oppervlakken gericht naar het zuiden zullen wellicht meer koeling gaan vragen. Omgekeerd zullen grote beglaasde oppervlakken gericht naar het noorden meer warmteverliezen met zich meebrengen.

Er wordt een onderscheid tussen zonwerend en niet zonwerend glas gemaakt in de verdere berekeningen. Er wordt vanuit gegaan dat hedendaags glas altijd voldoet aan de hedendaagse EPB eisen. Bij oude gebouwen wordt ervan uit gegaan dat enkele beglazing wordt vervangen.

Zonwerend glas:

$U_{\text{glas}} = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

$g = 0,5$

$TI = 72 \%$

Niet zonwerend glas:

$U_{\text{glas}} = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

$g = 0,8$

$TI = 72 \%$

Waarbij:

$U_{\text{glas}}$  = U-waarde van het glas [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]

$g$  = zontoetredingsfactor drukt de hoeveelheid warmte uit die door de beglazing gaat [%]

$TI$  = de lichttransmissie geeft weer hoeveel van het invallende zonlicht wordt doorgelaten [%]

#### 4.1.8 Verwarming

Verwarmen van het gebouw wordt berekend en gesimuleerd met een gemiddelde ruimtetemperatuur van  $20^\circ\text{C}$  en een nachtverlaging van  $16^\circ\text{C}$ . Het verbruik aan verwarming wordt bepaald in elke mogelijke oriëntatie van de ramen, waarbij het aandeel glas kan variëren van 25% beglaasd oppervlak tot 100% beglaasd oppervlak van de gevel.

De resultaten op jaarbasis die bekomen worden voor de verwarming van het geïsoleerd kantoorgebouw zijn weergegeven in Tabel 4-4.

**Tabel 4-4 Bijkomende warmteverbruiken geïsoleerd gebouw**

|         |                       |          |          |           |          |          |          |          |
|---------|-----------------------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| $g=0,5$ | zonnewerend glas      |          |          |           |          |          |          |          |
|         | Verwarming            |          |          |           |          |          |          |          |
|         | N                     | NO       | O        | ZO        | Z        | ZW       | W        | NW       |
| 25%     | 214,46 kWh            | 252 kWh  | 211 kWh  | 50,6 kWh  | 3 kWh    | 63,6 kWh | 210 kWh  | 258 kWh  |
| 50%     | 345,42 kWh            | 442 kWh  | 228 kWh  | 82,9 kWh  | 8,83 kWh | 105 kWh  | 393 kWh  | 444 kWh  |
| 75%     | 868,41 kWh            | 1042 kWh | 559 kWh  | 127 kWh   | 37,1 kWh | 157 kWh  | 396 kWh  | 1045 kWh |
| 100%    | 1573,4 kWh            | 1682 kWh | 979 kWh  | 166 kWh   | 66,6 kWh | 207 kWh  | 500 kWh  | 1685 kWh |
| $g=0,8$ | niet zonnewerend glas |          |          |           |          |          |          |          |
|         | Verwarming            |          |          |           |          |          |          |          |
|         | N                     | NO       | O        | ZO        | Z        | ZW       | W        | NW       |
| 25%     | 92,82 kWh             | 152 kWh  | 35,7 kWh | -92,4 kWh | -108 kWh | -51 kWh  | 16,7 kWh | 153 kWh  |
| 50%     | 282,03 kWh            | 190 kWh  | 60,7 kWh | -71,6 kWh | -135 kWh | -68 kWh  | 53,3 kWh | 189 kWh  |
| 75%     | 319,53 kWh            | 465 kWh  | 150 kWh  | -62 kWh   | -136 kWh | -56 kWh  | 118 kWh  | 465 kWh  |
| 100%    | 836,53 kWh            | 952 kWh  | 215 kWh  | -43,6 kWh | -126 kWh | -37 kWh  | 166 kWh  | 951 kWh  |

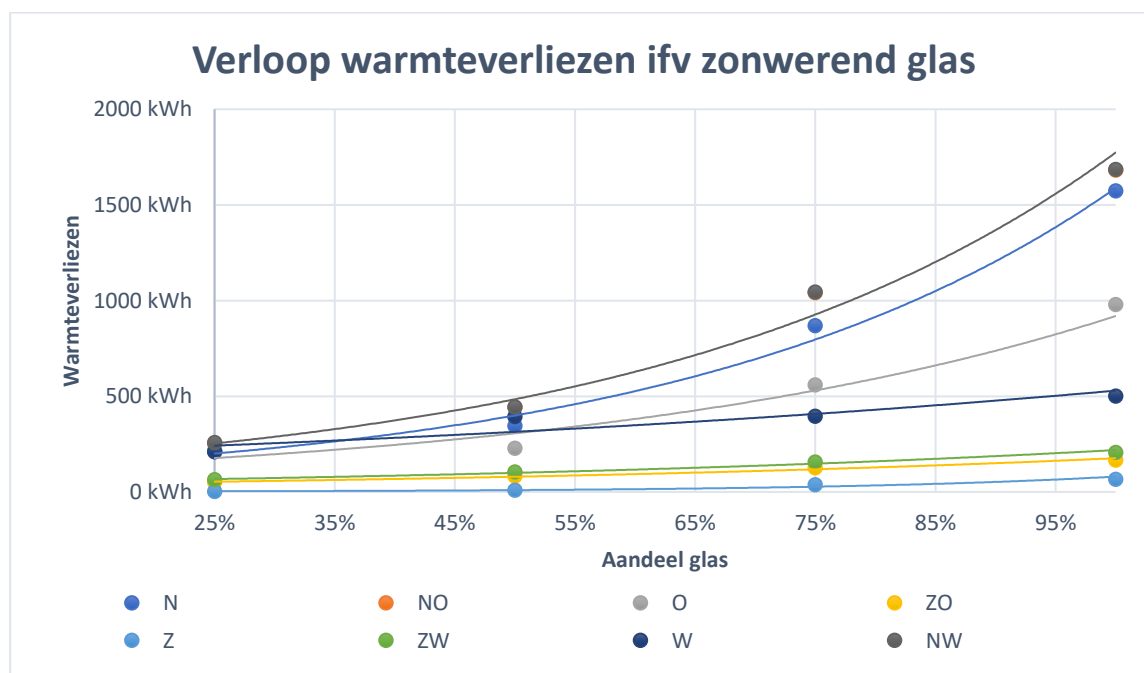


De resultaten die zijn bekomen voor de verwarming van het niet geïsoleerd kantoorgebouw zijn weergegeven in Tabel 4-5:

**Tabel 4-5 Bijkomend warmteverlies niet geïsoleerd gebouw**

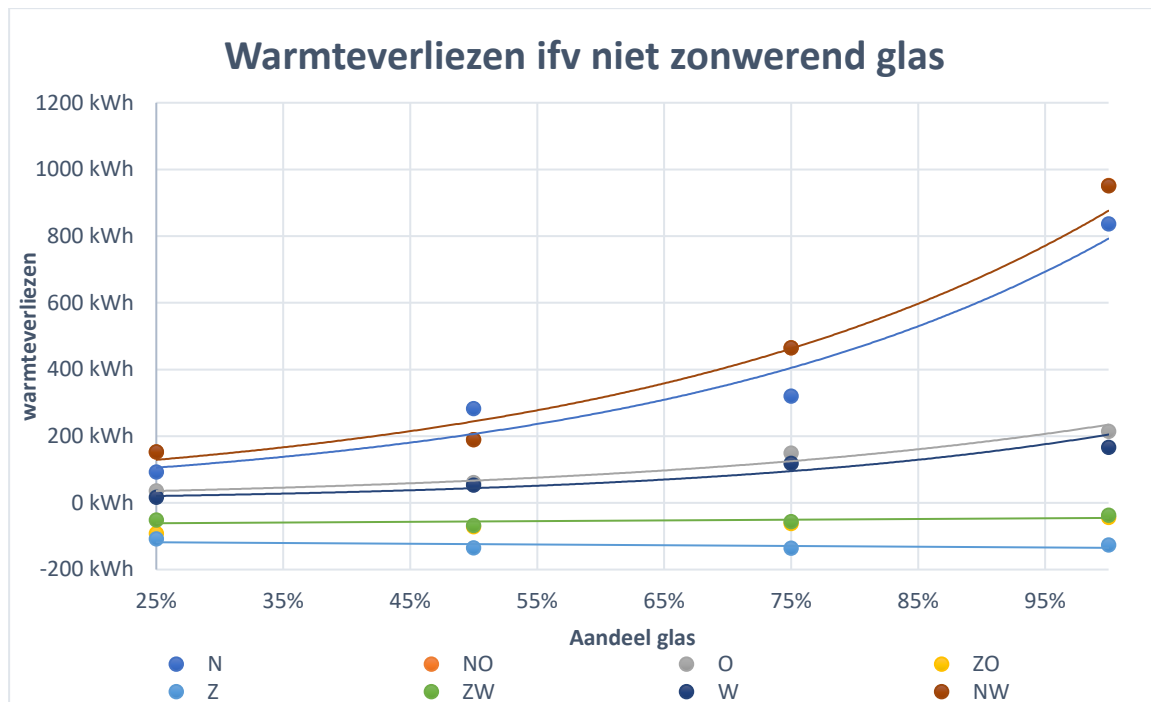
|       |                       |           |           |           |           |           |           |           |
|-------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| g=0,5 | zonnewerend glas      |           |           |           |           |           |           |           |
|       | Verwarming            |           |           |           |           |           |           |           |
|       | N                     | NO        | O         | ZO        | Z         | ZW        | W         | NW        |
| 25%   | -1106 kWh             | -764 kWh  | -587 kWh  | -1535 kWh | -2559 kWh | -1512 kWh | -581 kWh  | -746 kWh  |
| 50%   | -1619 kWh             | -1305 kWh | -1337 kWh | -3008 kWh | -5242 kWh | -2992 kWh | -1264 kWh | -1286 kWh |
| 75%   | -2083 kWh             | -1759 kWh | -1975 kWh | -4357 kWh | -6502 kWh | -4458 kWh | -1864 kWh | -1735 kWh |
| 100%  | -2502 kWh             | -2201 kWh | -2561 kWh | -5597 kWh | -7370 kWh | -5970 kWh | -2388 kWh | -2171 kWh |
| g=0,8 | niet zonnewerend glas |           |           |           |           |           |           |           |
|       | Verwarming            |           |           |           |           |           |           |           |
|       | N                     | NO        | O         | ZO        | Z         | ZW        | W         | NW        |
| 25%   | -1427 kWh             | -1088 kWh | -1093 kWh | -2748 kWh | -5045 kWh | -2742 kWh | -1003 kWh | -1072 kWh |
| 50%   | -2212 kWh             | -1898 kWh | -2154 kWh | -5695 kWh | -6964 kWh | -6049 kWh | -2056 kWh | -1866 kWh |
| 75%   | -2880 kWh             | -2589 kWh | -3070 kWh | -6870 kWh | -7250 kWh | -7144 kWh | -2908 kWh | -2560 kWh |
| 100%  | -3495 kWh             | -3171 kWh | -3816 kWh | -7329 kWh | -7447 kWh | -7241 kWh | -3640 kWh | -3153 kWh |

Met behulp van een grafisch beeld wordt onderzocht hoe de warmteverliezen gaan toenemen als het aandeel glas in een gevel toeneemt. Uit de grafiek (Figuur 4-3) voor zonwerend glas kan besloten worden dat er een exponentiële stijging van de warmteverliezen plaatsvindt naarmate het aandeel glas toeneemt.



**Figuur 4-3 Verloop warmteverliezen ifv zonwerend glas**

Dezelfde vergelijking wordt gemaakt voor niet zonwerend glas. Bij niet zonwerend glas verkrijgen in de zuid-gerichte oriëntaties warmtewinsten in plaats van warmteverliezen. Deze warmtewinsten worden als negatieve verliezen weergegeven en kunnen niet als exponentiële functies voorgesteld worden maar verlopen lineair.



**Figuur 4-4 Warmteverliezen ifv niet zonwerend glas**

#### **4.1.8.1 Conclusie**

Men verwacht dat de warmteverliezen in het noorden het grootst zijn. Uit de simulaties blijkt dat in het noordoosten en noordwesten de warmteverliezen groter zijn. Dit is te verklaren omdat de wind in België vooral uit deze windrichtingen bestaat en minder voorkomt vanuit het noorden. Er dient rekening gehouden te worden dat bij meer glas in een gevel, de warmteverliezen groter worden. De warmteverliezen nemen echter meestal niet lineair toe maar exponentieel.

Niet zonwerend glas geeft veel lagere warmteverliezen, wat zal gepaard gaan met hogere koellasten. Per gebouw en oriëntatie dient dit een overwogen keuze te zijn. Zo is in een schoolgebouw waar vaak geen koeling geplaatst wordt het zomercomfort belangrijk.

De beperkte meerkost in installatie en het verhoogde warmteverbruik weegt vaak niet op tegen het bekomen zomercomfort door zonwerende beglazing. Alternatief in zonwering wordt verder besproken.

In een niet geïsoleerd gebouw is het effect van beglazing voornamelijk warmtewinsten in plaats van warmteverliezen. Doordat ervan uit gegaan is dat er goed geïsoleerd glas in het gebouw aanwezig is zal de zon het gebouw beter kunnen betreden en opwarmen. Dit resulteert in minder verwarming, het gebouw is sneller warm en zal meer koeling gaan vragen.

### 4.1.9 Koeling

Koeling in een gebouw wordt theoretisch pas ingeschakeld bij een ruimtetemperatuur vanaf 26°C. De resultaten die bekomen voor de koeling van het geïsoleerd kantoorgebouw zijn weergegeven in Tabel 4-6.

**Tabel 4-6 Bijkomend koelverbruik geïsoleerd gebouw**

|       |                       |         |          |          |          |          |          |         |
|-------|-----------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| g=0,5 | zonnewerend glas      |         |          |          |          |          |          |         |
|       | Koeling               |         |          |          |          |          |          |         |
|       | N                     | NO      | O        | ZO       | Z        | ZW       | W        | NW      |
| 25%   | 41,4 kWh              | 66 kWh  | 81,5 kWh | 98,2 kWh | 73 kWh   | 90,6 kWh | 78,9 kWh | 59 kWh  |
| 50%   | 56,6 kWh              | 159 kWh | 244 kWh  | 258 kWh  | 205 kWh  | 223 kWh  | 196 kWh  | 139 kWh |
| 75%   | 173 kWh               | 268 kWh | 398 kWh  | 454 kWh  | 374 kWh  | 388 kWh  | 341 kWh  | 232 kWh |
| 100%  | 252 kWh               | 349 kWh | 613 kWh  | 641 kWh  | 552 kWh  | 546 kWh  | 469 kWh  | 335 kWh |
| g=0,8 | niet zonnewerend glas |         |          |          |          |          |          |         |
|       | Koeling               |         |          |          |          |          |          |         |
|       | N                     | NO      | O        | ZO       | Z        | ZW       | W        | NW      |
| 25%   | 88,4 kWh              | 131 kWh | 207 kWh  | 206 kWh  | 132 kWh  | 170 kWh  | 164 kWh  | 124 kWh |
| 50%   | 235 kWh               | 329 kWh | 546 kWh  | 555 kWh  | 450 kWh  | 472 kWh  | 418 kWh  | 316 kWh |
| 75%   | 324 kWh               | 595 kWh | 1013 kWh | 1059 kWh | 830 kWh  | 888 kWh  | 807 kWh  | 517 kWh |
| 100%  | 552 kWh               | 899 kWh | 1554 kWh | 1665 kWh | 1327 kWh | 1380 kWh | 1215 kWh | 799 kWh |

De bekomen resultaten voor de koeling van het niet geïsoleerd gebouw zijn weergegeven in Tabel 4-7.

**Tabel 4-7 Bijkomend koelverbruik niet geïsoleerd gebouw**

|       |                       |          |          |         |          |          |          |          |
|-------|-----------------------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|
| g=0,5 | zonnewerend glas      |          |          |         |          |          |          |          |
|       | Koeling               |          |          |         |          |          |          |          |
|       | N                     | NO       | O        | ZO      | Z        | ZW       | W        | NW       |
| 25%   | 27,1 kWh              | 44,7 kWh | 72,4 kWh | 65 kWh  | 47,7 kWh | 60,4 kWh | 54,2 kWh | 40,6 kWh |
| 50%   | 67,5 kWh              | 103 kWh  | 138 kWh  | 152 kWh | 118 kWh  | 131 kWh  | 116 kWh  | 36 kWh   |
| 75%   | 117 kWh               | 157 kWh  | 231 kWh  | 249 kWh | 208 kWh  | 204 kWh  | 178 kWh  | 138 kWh  |
| 100%  | 158 kWh               | 228 kWh  | 355 kWh  | 375 kWh | 293 kWh  | 292 kWh  | 247 kWh  | 187 kWh  |
| g=0,8 | niet zonnewerend glas |          |          |         |          |          |          |          |
|       | Koeling               |          |          |         |          |          |          |          |
|       | N                     | NO       | O        | ZO      | Z        | ZW       | W        | NW       |
| 25%   | 52,6 kWh              | 81,4 kWh | 113 kWh  | 108 kWh | 74,5 kWh | 94,4 kWh | 89,2 kWh | 67,7 kWh |
| 50%   | 127 kWh               | 178 kWh  | 270 kWh  | 271 kWh | 193 kWh  | 204 kWh  | 184 kWh  | 154 kWh  |
| 75%   | 208 kWh               | 308 kWh  | 500 kWh  | 518 kWh | 361 kWh  | 378 kWh  | 339 kWh  | 253 kWh  |
| 100%  | 299 kWh               | 413 kWh  | 776 kWh  | 826 kWh | 584 kWh  | 602 kWh  | 530 kWh  | 382 kWh  |

#### 4.1.9.1 Conclusie

Hoe meer glas in een gevel aanwezig hoe groter het koelvermogen zal worden. Het positief effect van zonwerend glas is nu duidelijk.

Zonwerend glas zal een lagere koellast met zich meebrengen. In het zuiden is de koellast niet het grootst omdat de zon heel hoog staat in de zomermaanden en enkel een beperkte ruimte aan de ramen zal verwarmen.

Het grootste deel van het jaar zal de zon lager staan en verder in het gebouw verwarmen. Op deze momenten zijn de temperaturen lager en zal de koelvraag dan lager zijn. Het niet geïsoleerde gebouw zal in het tussenseizoen minder koeling vragen omdat er dan meer koude naar binnen komt. In de zomer komt de warmte van buiten gemakkelijk binnen waardoor onze koelvraag dan zal stijgen.

#### **4.1.10 Zonwering**

Eerder is aangetoond dat zonwering een positieve invloed kan hebben op het koelverbruik van een gebouw. Op verschillende manieren kunnen ramen van zonwering worden voorzien. De zonwering kan best aan de buitenzijde van het raam geplaatst worden. Zonwering aan de binnenzijde is minder aangenaam omdat de warmte dan al binnen zit. Als er niets buiten kan geplaatst worden is het een alternatief omdat zonwering aan de binnenzijde diepe instraling in het gebouw vermijdt. Met een weerkaatsende doek wordt het grote deel aan rechtstreekse instraling tegengehouden.

##### **4.1.10.1 Soorten**

Andere vormen dan verder besproken vormen van zonwering zijn uiteraard nog mogelijk. De besproken vormen zijn de meest voorkomende die verder zullen behandeld worden.

#### **Geen zonwering**

Soms is zonwering architecturaal niet gewenst omdat het gebouw dan niet goed tot uiting komt. De bouwheer kan specifiek vragen om geen zonwering te plaatsen of wil achteraf liever werken met aan de binnenzijde bijvoorbeeld gordijnen als zonwering. Zonwering heeft natuurlijk zijn kostprijs. Voor een standaard zonwering mag je al snel rekenen op een 200 €/m<sup>2</sup>. [12]

#### **Zonnedoek**

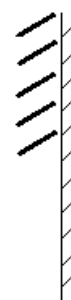
De zonnedoek wordt aan de buitenzijde van het raam geplaatst. De zonnedoek kan handmatig bediend worden bij te felle zonnestraling. Er kan een sturing worden voorzien zodat de zonnedoek automatisch het raam zal verduisteren. Deze sturing volgt de zon en zal weten wanneer de zon op welk punt staat en hinder veroorzaakt. Deze doek laat het daglicht nog binnen maar naar buiten kijken is vaak niet of niet goed meer mogelijk.



**Figuur 4-5 Zonnedoek**

### Lamellen 50%

Dit type van zonwering is een vast type en wordt architecturaal ingewerkt in het ontwerp van een gebouw. Met lamellen 50% wordt bedoeld dat er lamellen zijn voorzien tot ongeveer in de helft van het raam. Doordat de zon in de zomer hoog staat zal die dan niet kunnen instralen. In de winter staat de zon laag, er zijn geen lamellen voorzien aan de onderzijde zodat de zon het gebouw kan opwarmen.



### Oversteek 50%

**Figuur 4-6 Lamellen 50%**

Een oversteek is een vast type van zonwering dat architecturaal ingewerkt wordt in het ontwerp van een gebouw. De oversteek zal ongeveer de helft van de hoogte van het raam oversteken. De oversteek werkt op hetzelfde principe als de lamellen.



### Beschaduwing 100%

**Figuur 4-7 Oversteek 50%**

Het gebouw kan 100% beschaduwd zijn door hoge omstaande gebouwen of bomen. Dit zal resulteren in een lager koelverbruik.

#### 4.1.10.2 Effect van zonwering

In Tabel 4-8 wordt uitgedrukt hoeveel er bespaard kan worden op het koelverbruik door het plaatsen van zonwering, opgedeeld in de verschillende soorten zonwering en het aandeel glas in het gebouw. De tabel is opgesteld voor een geïsoleerd kantoorgebouw.

**Tabel 4-8 Effect van zonwering op het koelverbruik**

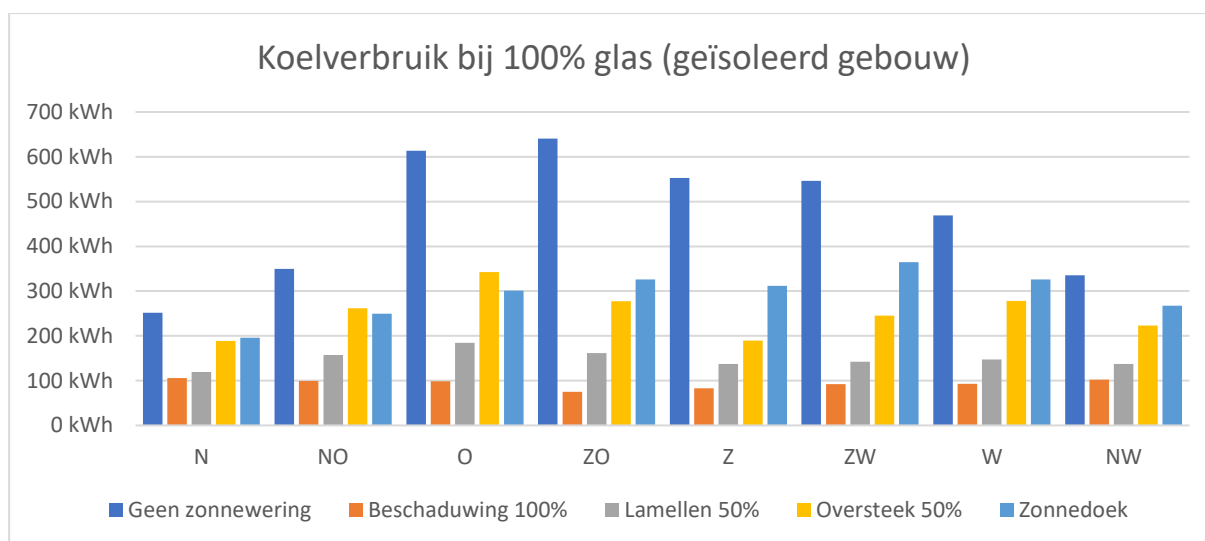
|                   | glas | N       | NO      | O       | ZO      | Z       | ZW      | W       | NW      |
|-------------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zonnedoek         | 100% | -22,26% | -28,54% | -50,95% | -49,16% | -43,54% | -33,23% | -30,37% | -20,14% |
| Beschaduwing 100% | 100% | -58,08% | -71,47% | -83,89% | -88,32% | -84,98% | -83,13% | -80,12% | -69,54% |
| Lamellen 50%      | 100% | -52,60% | -55,06% | -69,97% | -74,79% | -75,21% | -73,98% | -68,57% | -59,11% |
| Oversteek 50%     | 100% | -25,09% | -25,14% | -44,11% | -56,73% | -65,64% | -55,10% | -40,72% | -33,51% |

|                   | glas | N       | NO      | O       | ZO      | Z       | ZW      | W       | NW      |
|-------------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zonnedoek         | 75%  | -22,76% | -32,17% | -44,97% | -49,91% | -42,62% | -36,25% | -37,70% | -14,86% |
| Beschaduwing 100% | 75%  | -59,30% | -74,78% | -84,77% | -87,19% | -84,26% | -82,20% | -79,42% | -69,97% |
| Lamellen 50%      | 75%  | -45,71% | -59,27% | -69,41% | -74,21% | -70,95% | -69,43% | -68,07% | -59,27% |
| Oversteek 50%     | 75%  | -25,19% | -33,11% | -33,99% | -57,81% | -67,29% | -56,89% | -42,77% | -32,88% |

|                   | glas | N       | NO      | O       | ZO      | Z       | ZW      | W       | NW      |
|-------------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zonnedoek         | 50%  | 33,57%  | -40,47% | -49,71% | -46,27% | -38,58% | -33,50% | -19,18% | -22,73% |
| Beschaduwing 100% | 50%  | -24,62% | -76,05% | -87,65% | -86,28% | -84,39% | -85,10% | -78,46% | -69,72% |
| Lamellen 50%      | 50%  | -7,30%  | -63,57% | -69,00% | -71,13% | -60,52% | -64,56% | -63,78% | -56,04% |
| Oversteek 50%     | 50%  | 44,23%  | -36,72% | -53,74% | -57,90% | -63,33% | -59,38% | -61,36% | -35,53% |

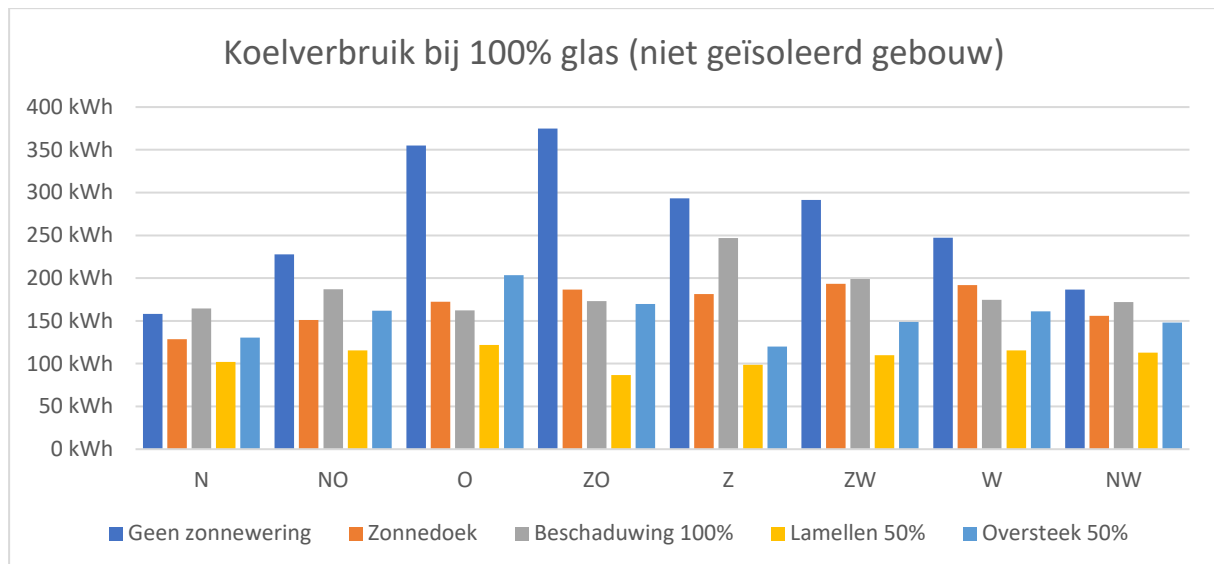
|                   | glas | N       | NO      | O       | ZO      | Z       | ZW      | W       | NW      |
|-------------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Zonnedoek         | 25%  | -1,01%  | -16,15% | -26,33% | -37,41% | -12,52% | -25,90% | -17,16% | -8,72%  |
| Beschaduwing 100% | 25%  | -72,48% | -79,51% | -86,22% | -89,00% | -90,16% | -88,35% | -84,17% | -78,57% |
| Lamellen 50%      | 25%  | -23,71% | -35,89% | -20,28% | -32,71% | 0,00%   | -26,58% | -23,35% | -25,16% |
| Oversteek 50%     | 25%  | -22,98% | -35,17% | -20,25% | -44,26% | -40,16% | -46,56% | -29,31% | -25,04% |

De besparingen van het koelverbruik voor een volledig beglaasde gevel (100% glas) zijn uitgezet in grafiek (Figuur 4-8). In deze grafiek wordt het verbruik van het gebouw weergegeven als er geen zonwering geplaatst is in het blauw. Het resulterende verbruik na het plaatsen van de verschillende soorten zonwering in elke oriëntatie is afgebeeld. Er is duidelijk zichtbaar dat het onderling verschil groter wordt naarmate de oriëntatie meer naar het zuiden gaat.



**Figuur 4-8 Besparingen koelverbruik geïsoleerd gebouw**

Analoog worden de besparingen in het koelverbruik weergegeven in grafiek (Figuur 4-9) voor een niet geïsoleerd kantoorgebouw. Welke zijn terug te vinden in de bijlage E. De besparingen op het verbruik zijn kleiner. Om grote besparingen in energie te verkrijgen in een niet geïsoleerd gebouw zal er eerder bijkomende isolatie geplaatst worden dan zonwering. Globaal gezien is een geïsoleerd gebouw beter maar niet voor het koelverbruik. Vandaar dat het probleem in koelverbruik actueler is bij nieuwbouw.



**Figuur 4-9 Besparingen koelverbruik niet geïsoleerd gebouw**

Uit bovenstaande grafieken is duidelijk te zien dat lamellen in alle oriëntaties er het beste uitkomen. Uiteraard speelt de levensduur en onderhoudskost een rol om een goede keuze te kunnen maken van zonwering. Bij een oversteek of lamellen zal de levensduur hoger liggen en de onderhoudskost lager dan bij een zonnedoek. Een zonnedoek heeft vaak een elektrische aansturing die meer onderhoud vergt en een hogere kostprijs.

Er zijn verschillende types lamellen en zonnedoeken op de markt. Aan de hand van het type kan de besparing in het koelverbruik verschillen.

In de windrichtingen met de grootste koelvraag wordt de grootste winst door een lager verbruik bekomen. Een beschaduwning van 100% geeft het laagste koelverbruik, dit is energetisch de beste keuze echter meestal geen mogelijkheid. Volledige beschaduwning van hoge omstaande gebouwen is afhankelijk per project en moeilijk zelf te realiseren. Hoge omstaande gebouwen of hoge bomen zijn interessant om in rekening te brengen voor de bepaling van het vermogen van een koelinstallatie. Uiteraard dient er dan rekening gehouden te worden met verschillende scenario's indien er een mogelijkheid is dat deze hoge constructies in de toekomst wijzigen.

Hoe kleiner het aandeel glas hoe lager de besparingen. Bij de andere hoeveelheden glas is te zien dat lamellen, het grootste positief effect met zich meebrengen en een veel grotere vermindering van koellast dan een oversteek. De zonnedoek geeft vooral grote besparingen op het verbruik in de zuid-gerichte oriëntaties. De zonnedoek geeft de minste besparingen vergeleken met de andere soorten zonwering. Toch wordt de zonnedoek vaak geplaatst. Een groot voordeel van de zonnedoek is dat de ze manueel bedienbaar is en vaak achteraf bijgeplaatst kan worden. Vaste lamellen of een oversteek moeten architecturaal worden voorzien, niet elk gebouw laat dit toe.

In de grafieken is duidelijk te zien dat bij de oriëntaties O/ZO/Z/ZW de meeste besparingen optreden. Dit zijn de windrichtingen waarin de zon het meest actief is. De besparingen van het koelverbruik zijn heel wat kleiner voor een niet geïsoleerd gebouw. De kleine besparingen zijn te verklaren doordat er nog steeds veel warmte 's nachts weg kan door de muren en het dak.

#### **4.1.11 Algemene conclusie**

Het verbruik van een gebouw is afhankelijk van verschillende factoren. Om een rekenblad te kunnen opstellen dat een schatting in het energieverbruik van gebouwen weergeeft dient er rekening gehouden te worden met de verschillende factoren.

Gebruiksuren van een gebouw bepalen het profiel van de verwarming en koeling van een gebouw. Deze gebruiksuren moeten zeker goed bekeken worden en zijn afhankelijk van de functie van het gebouw. Zo zal een schoolgebouw veel minder gebruiksuren hebben dan kantoorgebouwen waar er tot 18u 's avonds gewerkt wordt.

Gezien de gebruikstijd in schoolgebouwen veel korter is zal het aandeel warmteverlies door ventilatie hier lager liggen. Het energieverbruik van ventilatie verschilt in een systeem C en D. Verlichting is een belangrijke factor in de interne warmteproductie van een gebouw. In de zomer zal deze extra warmte gekoeld moeten worden. Computers en dergelijke apparaten worden al in het ontwerp mee in rekening gebracht omdat die veel interne warmte produceren. Wanneer er nadien extra apparaten worden bijgeplaatst moet er in rekening gebracht worden dat de huidige koelinstallatie deze extra vreemde warmte allicht niet krijgt weggekoeld. Vandaar dat een goed voorontwerp in dergelijke gebouwen zeker een aanrader is.

Hoe beter nieuwbouwprojecten geïsoleerd worden, des te luchtdichter het gebouw zal zijn. De verliezen aan infiltratie zullen daardoor kleiner zijn. De school is een kleiner gebouw dan het kantoorgebouw en zal minder verliezen aan infiltratie hebben. Infiltratie is afhankelijk van spleten, koudebruggen, openingen in het gebouw. De hoge luchtdichtheid van een gebouw zorgt ervoor dat er weinig verse lucht het gebouw natuurlijk binnentreedt. Het grote probleem in nieuwbouwprojecten is de koeling van het gebouw. Door de goede isolatie en luchtdichtheid zal het nodige koelvermogen veel hoger liggen. Hieruit volgt een hoger energieverbruik.

Lamellen en een vaste oversteek scoren duidelijk in alle oriëntaties beter dan andere soorten van zonwering. Het koelverbruik daalt aanzienlijk. Bijkomende voordelen van lamellen/ vaste oversteek zijn de lange levensduur en lage onderhoudskost. Echter dienen lamellen/vaste oversteek al bij het ontwerp van een gebouw architecturaal te worden voorzien. Om achteraf een gebouw nog te kunnen voorzien van zonwering is de zonwerende doek een goed alternatief.

Goed geïsoleerde gebouwen hebben meer nood aan zonwering dan niet goed geïsoleerde gebouwen. Doordat niet of slecht geïsoleerde gebouwen meer spleten hebben en circulatie verkrijgen van natuurlijke lucht zal het gebouw in tussenseizoenen sneller afkoelen.



## 4.2 Controle

Het kantoorcomplex is eerder al gesimuleerd met een dynamisch gebouwsimulatiepakket in hoofdstuk 2.3. Er wordt nu nagegaan of met het opgestelde rekenblad gelijke verbruiken worden bekomen. Er wordt nu beschreven wat de input is in het rekenblad voor het kantoorgebouw.

### 4.2.1 Gebruiksuren

Zoals voorgaand beschreven rekent het rekenblad met 2700 u bezetting voor een kantoor. De totale oppervlakte van het kantoorgebouw bedraagt 2100 m<sup>2</sup>.

### 4.2.2 Ventilatie

Het complex zal geventileerd worden met een systeem C. Uit ventilatieberekeningen is het debiet van 4000 m<sup>3</sup>/h bekomen. In hoofdstuk 4.1.2 is beschreven dat het warmteverlies door ventilatie en de verbruiken afkomstig van de simulaties telkens zijn uitgevoerd met een ventilatiedebiet van 100 m<sup>3</sup>/h en ventileren bij een conditie van 26/32°C.

Door interpolatie van het debiet en de oppervlakte van het kantoorgebouw zal het warmteverlies, de koellast en het jaarverbruik in verwarming en koeling bekomen worden.

### 4.2.3 Verlichting

In kantoorruimtes is er een lichtsterkte van 500 lux gewenst op het werkoppervlak. De lichtefficiëntie is verondersteld op 2 W/m<sup>2</sup> 100 lux.

Bepalen van het jaarverbruik:

$$P = A \cdot E \cdot \text{specifiek vermogen} \quad 4-4$$

$$P = 2100 \cdot 500 \cdot \frac{2}{100} = 21000 \text{ W}$$

$$E = 2100 \cdot 500 \cdot \frac{2}{100} \cdot 2700/1000 = 56700 \text{ kWh}$$

### 4.2.4 Bezetting

De bezetting wordt bepaald door de grootte van de ruimtes en het aantal werkplaatsen aanwezig in het gebouw.

De bezetting kan eenvoudig geteld worden door het aantal zitplaatsen op de bouwplannen te tellen. De bezetting voor het kantoorgebouw is bepaald op 214 personen, deze personen zullen zittend, zeer licht werk beoefenen.

Er wordt rekening gehouden met een metabolisme van 100 W/persoon. Hieruit volgt het jaarverbruik dat 57780 kWh bedraagt.

### 4.2.5 Apparatuur

Naargelang de bezetting kan de apparatuur ingeschat worden. Met een bezetting van 214 personen is verondersteld dat er 200 computers aanwezig zullen zijn en 10 printers of dergelijke.

Het jaarverbruik wordt dan:

$$E = \left( 200 \cdot 100 \frac{W}{\text{computer}} + 10 \cdot 200 \frac{W}{\text{printer}} \right) * \frac{2700}{1000} = 59400 \text{ kWh} \quad 4-5$$

### 4.2.6 Constructie

De constructie van het gebouw is een belangrijke factor in zowel het verbruik van de verwarming als het verbruik van de koelinstallatie. Het kantoorgebouw uit hoofdstuk 2.3 is een nieuwbouw en zal bestaan uit geïsoleerde wanden met zonwerende beglazing. De voorgevel is georiënteerd naar het noorden. De hoeveelheid glas per gevel wordt ingevuld. De verbruiken per gevel voor verwarming en voor koeling worden nu bekomen. De verbruiken zijn afkomstig uit de hier eerder vermelde tabellen die geïnterpoleerd zijn met de oppervlakte van het gebouw.

**Tabel 4-9 Constructie van het gebouw**

| BOUW | Aanwezigheid isolatie    | Geïsoleerd     |             |           |
|------|--------------------------|----------------|-------------|-----------|
|      | Zonwerend glas           | Zonwerend glas |             |           |
|      | Zonwering                | Geen           | Verwarming  | Koeling   |
|      | Aandeel glas in gevel N  | 75%            | 868,41 kWh  | 172,6 kWh |
|      | Aandeel glas in gevel NO | 50%            | 441,92 kWh  | 159,3 kWh |
|      | Aandeel glas in gevel O  | 0%             | 0 kWh       | 0 kWh     |
|      | Aandeel glas in gevel ZO | 0%             | 0 kWh       | 0 kWh     |
|      | Aandeel glas in gevel Z  | 0%             | 0 kWh       | 0 kWh     |
|      | Aandeel glas in gevel ZW | 0%             | 0 kWh       | 0 kWh     |
|      | Aandeel glas in gevel W  | 50%            | 393,06 kWh  | 196 kWh   |
|      | Aandeel glas in gevel NW | 75%            | 1044,57 kWh | 232,4 kWh |

### 4.2.7 Infiltratie

Voor een nieuwbouw wordt gerekend met een infiltratie van 0,6 ac/h. Voorgaand is beschreven welke verliezen er optreden door infiltratie. Op dezelfde wijze kan door middel van interpolatie het jaarverbruik bepaald worden.

#### 4.2.8 Resultaten

De resultaten bekomen van het rekenblad zijn weergegeven in Tabel 4-1 en tabel 4-11.

**Tabel 4-10 Warmteverlies**

| Warmteverlies (kW) |             |            |              |        |
|--------------------|-------------|------------|--------------|--------|
| Gebouw             | Infiltratie | Ventilatie | Aandeel glas | Totaal |
| 15,034             | 0,99        | 44         | 22,87        | 82,89  |

**Tabel 4-11 Koellast**

| Koellast (kW) |              |             |             |            |           |            |        |
|---------------|--------------|-------------|-------------|------------|-----------|------------|--------|
| Gebouw        | Aandeel glas | Infiltratie | Verlichting | Apparatuur | Bezetting | Ventilatie | Totaal |
| 11,826        | 77,77        | -0,29       | 21          | 22         | 21,4      | 7,6        | 161,30 |

De jaarverbruiken voor verwarming uit het rekenblad worden in Tabel 4-12 weergegeven.

**Tabel 4-12 Jaarverbruik verwarming**

| Jaarverbruik verwarming (kWh) |             |            |              |           |
|-------------------------------|-------------|------------|--------------|-----------|
| Gebouw                        | Infiltratie | Ventilatie | Aandeel glas | Totaal    |
| 2362,900                      | 3843,717    | 39680,000  | 6770,757     | 52657,374 |

Zoals het rekenblad nu is opgesteld wordt er verondersteld dat er gedurende 2700 u per jaar extra warmtewinsten afkomstig van apparatuur, bezetting en verlichting weggekoeld worden. Dit is echter niet het geval. Koeling zal pas nodig zijn wanneer de ruimtetemperatuur 26°C bereikt. Het aantal overschrijdingsuren op jaarbasis zal moeten gebruikt worden om de interne warmtewinsten correct te kunnen berekenen. Er wordt verondersteld dat de overschrijdingsuren 945 uur bedragen ofwel 35% van de bezettingstijd. Dit wil zeggen dat er gedurende 945 uren per jaar dat het gebouw in dienst is de ruimtetemperatuur groter of gelijk is aan 26°C.

De koelinstallatie zal deze tijd niet altijd op vol vermogen draaien. Er wordt daarom een factor ingevoerd die weergeeft hoeveel de koelinstallatie op vol vermogen zal draaien. Om voor deze factor de juiste waarde te kennen wordt een Tabel 4-14 opgesteld. In deze tabel worden resultaten bekomen uit het rekenblad vergeleken met resultaten bekomen uit de koellastberekening zoals beschreven in hoofdstuk 2 (Tabel 4-13). Als deze nagenoeg aan elkaar gelijk zijn, zal de bijhorende factor een goede indicatie zijn die weergeeft gedurende hoeveel tijd de koelinstallatie op vol vermogen zal draaien.

**Tabel 4-13 Interne warmtewinsten berekening**

|  | Interne warmtewinsten uit koellastberekening (kWh) |            |           |
|--|----------------------------------------------------|------------|-----------|
|  | Verlichting                                        | Apparatuur | Bezetting |
|  | 8558,88                                            | 9860,00    | 11402,4   |

**Tabel 4-14 Interne warmtewinsten rekenblad**

| Factor | Interne warmtewinsten uit rekenblad (kWh) |            |           |
|--------|-------------------------------------------|------------|-----------|
|        | Verlichting                               | Apparatuur | Bezetting |
| 0,1    | 2196,18                                   | 2300,76    | 2238,01   |
| 0,2    | 4392,52                                   | 4601,52    | 4476,02   |
| 0,3    | 6588,54                                   | 6902,28    | 6714,04   |
| 0,4    | 8784,72                                   | 9203,04    | 8952,05   |
| 0,5    | 10980,9                                   | 11503,8    | 11190,06  |
| 0,6    | 131777,08                                 | 13804,56   | 13428,07  |
| 0,7    | 15373,26                                  | 16105,32   | 15666,08  |
| 0,8    | 17569,44                                  | 18406,08   | 17904,10  |
| 0,9    | 19765,62                                  | 20706,84   | 20142,11  |
| 1      | 21961,80                                  | 23007,6    | 22380,12  |

De factor wordt aangenomen op 0,4. Dit wil zeggen dat gedurende 40 % van de tijd dat het gebouw in dienst is, de koelinstallatie op 100 % draait. Deze factor is nu bepaald voor een welbepaald kantoorgebouw. Omdat de rekentool een sjabloon voor de bepaling van het verbruik moet zijn, dient er een controle worden uitgevoerd naar de juistheid van de factor. Deze controle naar de juistheid van de factor wordt uitgevoerd in hoofdstuk 4.3 door het rekenblad toe te passen op verschillende gebouwen.

Deze factor wordt enkel gebruikt om het verbruik van de interne warmtewinsten correct weer te geven. De jaarverbruiken voor koeling bekomen uit het rekenblad worden in Tabel 4-15 weergegeven.

**Tabel 4-15 Jaarverbruik koeling**

| Jaarverbruik koeling (kWh) |              |             |             |            |           |            |          |
|----------------------------|--------------|-------------|-------------|------------|-----------|------------|----------|
| Gebouw                     | Aandeel glas | Infiltratie | Verlichting | Apparatuur | Bezetting | Ventilatie | Totaal   |
| 1266,455                   | 1873,24      | -3024,13    | 8784,72     | 9203,04    | 8952,05   | 25320,00   | 52375,32 |

Het totale energieverbruik voor verwarming en koeling uit het rekenblad en via de software moeten nagenoeg aan elkaar gelijk zijn. Deze vergelijking wordt gemaakt in Tabel 4-16.

**Tabel 4-16 Vergelijking**

|                          | <b>Berekend</b> | <b>Simulatie</b> |
|--------------------------|-----------------|------------------|
| <b>Totaal verwarming</b> | 52657,374       | 54499 kWh        |
| <b>Totaal koeling</b>    | 52375,382       | 48674 kWh        |
| <b>Totaal verbruik</b>   | 105032,76       | 103173 kWh       |

#### **4.2.9 Conclusie**

Uit de simulatie blijkt dat er meer verbruik aan verwarming zal zijn dan het berekende verbruik. De simulatie zal de verbruiken veel nauwkeuriger bepalen door rekening te houden met de gemiddelde temperaturen van de afgelopen jaren. Doordat er een hoger verbruik voor verwarming wordt berekend in de simulatie zal het verbruik in koeling iets lager zijn.

Het berekende totale jaarverbruik is nagenoeg gelijk aan het verbruik bekomen uit de simulatie. Hieruit kan worden besloten dat de factor 0,4 voor interne warmteproductie een goede inschatting is. Om dit beter te kunnen controleren zal het rekenblad toegepast worden op verschillende kantoorgebouwen en schoolgebouwen.

Het verbruiksprofiel van het gebouw is sterk afhankelijk van de werknemers. Het verbruiksprofiel is zowel in de simulatie als in de berekening een schatting waardoor de effectieve jaarverbruiken kunnen afwijken van deze resultaten.

### **4.3 Toepassing verschillende gebouwen**

Voor het kantoorgebouw uit hoofdstuk 2.3 komt het ingeschatte jaarverbruik van het rekenblad goed overeen met de simulatie. Om toeval uit te sluiten worden er verschillende kantoor- en schoolgebouwen berekend via het rekenblad. Deze uitgebreide berekeningen zijn terug te vinden in bijlage F.

Eerst wordt er een overzicht gegeven van specifieke eigenschappen van de gebouwen toegepast op het rekenblad (Tabel 4-17). Hierna volgt een overzicht van de resultaten van de verschillende gebouwen in Tabel 4-18.

**Tabel 4-17 Overzicht gebouwen**

| Naam gebouw                   | Type gebouw | Gebruiksuren | Oppervlakte         | Ventilatiesysteem | Bezetting |
|-------------------------------|-------------|--------------|---------------------|-------------------|-----------|
| Kantoorgebouw (Hoofdstuk 2.3) | Kantoor     | 2700 u       | 2100 m <sup>2</sup> | Type C            | 214       |
| Schoolgebouw Don Bosco        | School      | 1100 u       | 207 m <sup>2</sup>  | Type D            | 45        |
| Industrieel kantoor           | Kantoor     | 2700 u       | 536 m <sup>2</sup>  | Type D            | 181       |

**Tabel 4-18 Resultaten verschillende gebouwen**

|                               | Via rekenblad (kWh/jaar) |          |           | Via simulatie (kWh/jaar) |         |          |
|-------------------------------|--------------------------|----------|-----------|--------------------------|---------|----------|
| Gebouw                        | Verwarming               | Koeling  | Totaal    | Verwarming               | Koeling | Totaal   |
| Kantoorgebouw (Hoofdstuk 2.3) | 52657,37                 | 52375,38 | 105032,76 | 54499                    | 48674   | 103173   |
| Schoolgebouw Don Bosco        | 3579,34                  | 5615,55  | 8462,06   | 3215,69                  | 5023,49 | 8239,18  |
| Industrieel kantoor           | 45436,76                 | 32376,57 | 77335,30  | 44327,82                 | 28905,8 | 73233,62 |

### 4.3.1 Bespreking resultaten

Drie verschillende gebouwen waaronder 2 kantoorgebouwen en 1 schoolgebouw zijn onderworpen aan het rekenblad. Voor alle geteste gebouwen zijn de verbruiken voor verwarming en koeling gelijkaardig aan de verbruiken berekend met de dynamische gebouwsimulatie software. Hieruit volgt dat de eerder berekende factor van 0,4 een goede indicatie is.

De jaarverbruiken berekend via simulatiesoftware liggen lager dan de verbruiken berekend via het opgestelde rekenblad. Doordat de software gebruik maakt van verschillende algoritmes om de stand van de zon en schaduwvorming te kunnen bepalen zullen de resultaten via simulaties preciezer zijn. Toch bekomt men via het rekenblad zeer goede inschattingen van het verbruik in verwarming en in koeling van een gebouw. Deze rekentool zal het studiewerk verlichten en een goede indicatie geven van het verbruik in koeling en verwarming van een gebouw.

Het jaarverbruik in koeling en in verwarming gesommeerd geeft het totale jaarverbruik aan energie van een gebouw.

## 5 KEUZE VAN HET SYSTEEM

---

### 5.1 Comfort

De keuze van een verwarmings- of koelinstallatie hangt af van verschillende factoren, onder andere het comfort in een gebouw. In hoofdstuk 1 zijn verschillende afgiftesystemen beschreven met elk hun voor- en nadelen. Naargelang de comfortwens kan er al een eerste keuze gemaakt worden in afgiftesystemen.

Er zijn tal van mogelijkheden in afgiftesystemen naargelang de comfortwens. Zo zijn er afgiftesystemen met of zonder luchtverplaatsing. Niet alle afgiftesystemen zullen even snel een gebouw kunnen verwarmen of koelen. Als comfortwens kan de snelheid van een systeem belangrijk zijn. Ventilatoren in de ruimte zullen zorgen voor een betere luchtmenging en luchtverplaatsing maar brengen bijkomend geluid in de ruimte. Een overzicht van de comfortwensen en de geschikte afgiftesystemen is weergegeven in Tabel 5-1.

**Tabel 5-1 Comfortwens**

| Comfortwens            | Directe extractie |        | Koelbalk |           | Klimaat<br>plafond | Beton-<br>kernactivering |
|------------------------|-------------------|--------|----------|-----------|--------------------|--------------------------|
|                        | Opbouw            | Inbouw | Statisch | Dynamisch |                    |                          |
| Veel personen aanwezig | +++               | +++    | +        | ++        | --                 | ---                      |
| Snel koelen/verwarmen  | +++               | ++     | +        | ++        | --                 | ---                      |
| Luchtstroom ongewenst  | ---               | -      | +        | -         | +++                | +++                      |
| Stille omgeving        | ---               | --     | ++       | -         | +++                | +++                      |

### 5.2 Esthetiek

In overleg met de bouwheer en de architect bepaalt het esthetisch aspect mee de keuze van het systeem. Deze keuze is belangrijk in de systeemkeuze omdat niet alle afgiftesystemen mogelijk zijn bij de verschillende verwarmings- en koelinstallaties. Welke afgiftesystemen er mogelijk zijn bij de meest voorkomende systemen is beschreven in hoofdstuk 1.

Betonkernactivering is een visueel onopvallend systeem voor verwarming en koeling maar niet iedereen vindt het industrieel karakter van beton een meerwaarde. Het plafond zal bij betonkernactivering altijd zichtbaar zijn. Overige technieken zoals verlichting en ventilatie worden zichtbaar gemonteerd. Dit kan de keuze van betonkernactivering beïnvloeden omdat er dan toch een visuele aanwezigheid van technieken in het gebouw is.

Een klimaatplafond is visueel onopvallend in een gebouw. Technieken zoals verlichting, ventilatie zitten boven het klimaatplafond waardoor de ruimte strak oogt. Koelbalken zijn meer aanwezig in een ruimte. Betonkernactivering of een klimaatplafond zijn technieken die plaatsvinden in het volledige plafond van de ruimte. Een koelbalk zal maar een stukje van de ruimte innemen. Directe extractie-systemen kunnen zowel in opbouw als inbouw in een ruimte geplaatst worden. Het voordeel van directe extractie-systemen is dat ze kunnen geplaatst worden net daar waar verse lucht nodig is. Er zijn vaak maar enkele units nodig in een ruimte. Er wordt een visuele voorstelling gegeven in Tabel 5-2 van de verschillende afgiftesystemen uit hoofdstuk 1 in een gebouw.

**Tabel 5-2 Visuele voorstelling verbruikers**

| Directe extractie                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Opbouw unit                                                                                                                                                              | Inbouw                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p>Kantoren Studiebureau Forté:</p>  <p><b>Figuur 5-1 Voorstelling opbouw unit</b></p> | <p>Satelliet boven plafond. Inkom kantoorgebouw te Turnhout:</p>  <p><b>Figuur 5-2 Inbouw satelliet voorstelling [14]</b></p> <p>Unit in plafond. Kantoorgebouw te Balen:</p>  <p><b>Figuur 5-3 Inbouw unit voorstelling [14]</b></p> |



| Koelbalk                                                                             |                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Statisch                                                                             | Dynamisch                                                                          |
|     |  |
| <b>Figuur 5-4 Statische koelbalk voorstelling [4]</b>                                | <b>Figuur 5-5 Dynamische koelbalk voorstelling [16]</b>                            |
| Klimaatplafond                                                                       |                                                                                    |
|   |                                                                                    |
| <b>Figuur 5-6 Klimaatplafond voorstelling [17]</b>                                   |                                                                                    |
| Betonkernactivering                                                                  |                                                                                    |
|  |                                                                                    |
| <b>Figuur 5-7 Betonkernactivering voorstelling [18]</b>                              |                                                                                    |

Betonkernactivering is een visueel onopvallende techniek maar overige gebouwtechnieken worden zichtbaar gemonteerd waardoor betonkernactivering toch niet zo onopvallend in een gebouw zal zijn. Betonkernactivering zal enkel uitgevoerd kunnen worden in nieuwbouw omdat er leidingen in het beton moeten gelegd worden. Een klimaatplafond kan uitgevoerd worden in een renovatie. Het volledige plafond vernieuwen is een grote ingreep en zal een grote kost met zich meebrengen. Er wordt in Tabel 5-3 een onderscheid gemaakt tussen een bestaand gebouw waarbij het plafond niet vernieuwd wordt en een bestaand gebouw waarbij het plafond vernieuwd zal worden. De flexibiliteit van het plafond is vooral na de werken belangrijk als er iets gewijzigd moet worden. In betonkernactivering is dit niet mogelijk omdat de leidingen al in het beton vastliggen. Bij directe extractie en koelbalken is een verandering in het koelcircuit nog te realiseren. Klimaatplafonds zijn minder flexibel dan directe extractie-systemen of koelbalken maar flexibeler dan betonkernactivering.

**Tabel 5-3 Esthetiek**

| Esthetiek                                          | Directe extractie |                     | Koelbalk |           | Klimaat<br>plafond | Beton-<br>kernactivering |
|----------------------------------------------------|-------------------|---------------------|----------|-----------|--------------------|--------------------------|
|                                                    | Opbouw<br>unit    | Inbouw<br>satelliet | Statisch | Dynamisch |                    |                          |
| Visueel<br>onopvallend                             | ---               | +                   | ---      | -         | ++                 | +                        |
| Bestaand<br>gebouw<br>(plafond niet<br>vernieuwen) | +++               | +                   | -        | +         | -                  | ---                      |
| Bestaand<br>gebouw<br>(plafond<br>vernieuwen)      | +++               | +++                 | ++       | ++        | ++                 | ---                      |
| Flexibiliteit<br>in plafond                        | +++               | ++                  | ++       | ++        | -                  | ---                      |

De keuze van het systeem zal toegepast worden op het kantoorgebouw uit hoofdstuk 2.3. De architect laat de ruimte om een keuze te maken van afgiftesysteem. Op basis van de esthetiek vraagt de architect niet te werken met een direct extractie-systeem of betonkernactivering. De overige systemen worden verder met elkaar vergeleken.

### 5.3 Kost van een systeem

In de hoofdstukken 3 & 4 is beschreven hoe het piek- en het jaarverbruik bepaald worden voor verschillende gebouwen. Toegepast op het kantoorgebouw beschreven in hoofdstuk 2.3 wordt er nagegaan welke installatiegrootte er geplaatst moet worden om het gebouw te verwarmen en koelen. Er zullen 4 verschillende installaties besproken worden voor het kantoorgebouw uit hoofdstuk 2.3 die met elkaar worden vergeleken waaruit een keuze zal gemaakt worden.

### 5.3.1 Dimensionering

Om een groot kantoorgebouw te kunnen verwarmen en koelen wordt er gebruik gemaakt van een combinatie van verschillende installaties. Een koelinstallatie zal gedimensioneerd worden op het piekvermogen.

Uit Tabel 5-4 kan het piekvermogen voor het kantoorgebouw afgeleid worden. Omwille van het snel reageren eventueel onverwachte factoren wordt er ca. 20% overgedimensioneerd. Het benodigde installatievermogen voor de kantoorruimtes is in Tabel 5-4 terug te vinden.

**Tabel 5-4 Totaal installatievermogen koeling**

| Zone                             | Oppervlakte (m <sup>2</sup> ) | Koelvermogen (kW) |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Zone 1: technische ruimten       | 193                           | 4,43              |
| Zone 2: groeizone beneden        | 274                           | 11,16             |
| Zone 3: onthaal en vergaderzalen | 415                           | 18,49             |
| Zone 4: groeizone boven          | 193                           | 13,05             |
| Zone 5: kantoren en refter       | 728                           | 53,96             |
| Zone A: labo                     | 296                           | 22,54             |
| Totaal koelvermogen              |                               | 123,63            |
| Marge installatie                |                               | 1,2               |
| Totaal installatievermogen       |                               | 150               |

Het totale vermogen nodig aan verwarming wordt in Tabel 5-5 weergegeven. In de warmteverliesberekening is al een marge van 20% opgenomen. Deze marge dient niet opnieuw genomen te worden.

**Tabel 5-5 Totaal installatievermogen verwarming**

| Zone                             | Oppervlakte (m <sup>2</sup> ) | Warmtecapaciteit (kW) |
|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Zone 1: technische ruimten       | 193                           | 3,24                  |
| Zone 2: groeizone beneden        | 274                           | 11,73                 |
| Zone 3: onthaal en vergaderzalen | 415                           | 19,95                 |
| Zone 4: groeizone boven          | 193                           | 43,92                 |
| Zone 5: kantoren en refter       | 728                           | 50,74                 |
| Zone A: labo                     | 296                           | 47,34                 |
| Zone X: magazijn                 | 3734                          | 271,74                |
| Totaal installatievermogen       |                               | 450                   |

### 5.3.2 Installatiekost

De totale installatiekost van een systeem bestaat uit de kost aan energieproductie, de bijkomende installatiekost van de technische ruimte voor de verdeling van het systeem en de installatiekost van het leidingnetwerk met de verschillende afgiftesystemen.

#### 5.3.2.1 Energieproductie

De energieproductie bestaat uit de warmteproductie en de koude productie. De warmte- en koude productie bestaan telkens uit een opwekker met toebehoren. De kosten voor de energieproductie kan uit de offerte (bijlage G) gehaald worden van de verschillende opwekkers. De kost aan energieproductie wordt voor 4 verschillende systemen bepaald.

##### Systeem 1: Koelmachine

Het eerste systeem dat bekeken wordt is een koelmachine (150 kW) gecombineerd met 2 gasketels (elk 200 kW). De berekening van de totale kost aan energieproductie wordt in Tabel 5-6 weergegeven.

**Tabel 5-6 Energieproductie systeem 1**

| Energieproductie         |                  |                 |
|--------------------------|------------------|-----------------|
| Warmteproductie          |                  | Kost (€)        |
|                          | 2 gasketels      | 30000,00        |
|                          | Toebehoren       | 22138,00        |
|                          |                  | <b>52138,00</b> |
| Koude productie          |                  |                 |
|                          | Koudwatermachine | 23913,73        |
|                          | Buffer           | 3500,00         |
|                          | Toebehoren       | 5000,00         |
|                          |                  | <b>32413,73</b> |
|                          |                  |                 |
| Totaal energieproductie: |                  | <b>84551,73</b> |

##### Systeem 2: Grond/water warmtepomp

Als tweede systeem wordt een warmtepomp grond/water (140 kW) bekeken die voor de koeling en verwarming van het gebouw zorgt, gecombineerd met een gasketel (330 kW) om pieken in verwarming op te vangen en het magazijn te verwarmen. De berekening van de totale kost aan energieproductie wordt in Tabel 5-7 weergegeven.

**Tabel 5-7 Energieproductie systeem 2**

| Energieproductie         |            |                  |
|--------------------------|------------|------------------|
| Warmteproductie          |            | Kost (€)         |
|                          | Gasketel   | 20000,00         |
|                          | Toebehoren | 16664,00         |
|                          |            | <b>36664,00</b>  |
| Koude productie          |            |                  |
|                          | Warmtepomp | 41445,00         |
|                          | Boringen   | 30000,00         |
|                          | Toebehoren | 20126,00         |
|                          |            | <b>91571,00</b>  |
|                          |            |                  |
| Totaal energieproductie: |            | <b>128235,00</b> |

### Systeem 3: Lucht/water warmtepomp

Het derde systeem dat bekeken wordt is een warmtepomp lucht/water die voor de koeling en verwarming van het gebouw instaat, gecombineerd met een gasketel (330 kW) om pieken in verwarming op te vangen en het magazijn te verwarmen. De berekening van de totale kost aan energieproductie wordt in Tabel 5-8 weergegeven.

**Tabel 5-8 Energieproductie systeem 3**

| Energieproductie         |            |                 |
|--------------------------|------------|-----------------|
| Warmteproductie          |            | Kost (€)        |
|                          | Gasketel   | 20000,00        |
|                          | Toebehoren | 16664,00        |
|                          |            | <b>36664,00</b> |
| Koude productie          |            |                 |
|                          | Warmtepomp | 40060,52        |
|                          | Toebehoren | 14711,00        |
|                          |            | <b>54771,52</b> |
|                          |            |                 |
| Totaal energieproductie: |            | <b>91435,52</b> |

#### Systeem 4: Lucht/lucht warmtepomp

Het laatste systeem dat bekeken wordt is een lucht/lucht warmtepomp in combinatie met een gasketel. De gasketel (330 kW) zal de vloerverwarming in het kantoorgebouw aansturen en het magazijn verwarmen. De berekening van de totale kost aan energieproductie wordt in Tabel 5-9 weergegeven.

**Tabel 5-9 Energieproductie systeem 4**

| Energieproductie         |            |                  |
|--------------------------|------------|------------------|
|                          |            | Kost (€)         |
|                          | Gasketel   | 20000,00         |
|                          | Toebehoren | 21164,00         |
|                          |            | <b>41164,00</b>  |
|                          | Warmtepomp | 85124,00         |
|                          | Toebehoren | 64578,00         |
|                          |            | <b>149702,00</b> |
|                          |            |                  |
| Totaal energieproductie: |            | <b>190866,00</b> |

#### 5.3.2.2 Installatiekost technische ruimte

De installatiekost van de technische ruimte bevat de verschillende collectoren aanwezig in de technische ruimte voor de verdeling naar de verschillende delen van het gebouw, het elektrische bord en de regeling. Deze installatiekost is sterk afhankelijk per gebouw naargelang de grootte, plaats van de technische ruimte, soort bezetting, etc. Om een goede inschatting te kunnen maken van deze installatiekost zijn de kosten van gelijkaardige projecten bekeken. Op basis van gelijkaardige projecten zal een inschatting van de installatiekost worden bekomen van de technische ruimte zoals weergegeven in Tabel 5-10.

Voor de eerste 3 systemen zal de installatiekost van de technische ruimte niet veranderen omdat er telkens als afgiftemedia water in het gebouw aanwezig zal zijn. In systeem 4 zullen de verbruikers lucht als afgiftemedium bevatten en het leidingsysteem koelmiddel. De installatiekost van de technische ruimte is daardoor anders.

**Tabel 5-10 Installatiekost technische ruimte**

| Installatiekost technische ruimte |                      |                        |                    |
|-----------------------------------|----------------------|------------------------|--------------------|
| Warmteproductie                   |                      | Kost systeem 1-2-3 (€) | Kost systeem 4 (€) |
|                                   | Verwarmingscollector | 12000,00               | 2000,00            |
|                                   | Toebehoren           | 25300,00               | 7300,00            |
|                                   |                      | <b>37300,00</b>        | <b>9300,00</b>     |

|                                           |                 |                  |                 |
|-------------------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Koude productie                           |                 |                  |                 |
|                                           | Koelcollector   | 48490,00         | /               |
|                                           |                 | <b>48490,00</b>  | <b>/</b>        |
| Automatische regeling                     |                 |                  |                 |
|                                           | Elektrisch bord | 40000,00         | 8000,00         |
|                                           | Regeling        | 96650,00         | 15575,00        |
|                                           |                 | <b>136650,00</b> | <b>23575,00</b> |
| Indienststelling                          |                 |                  |                 |
|                                           | Algemeen        | 2500             | 1000            |
|                                           |                 | <b>2500,00</b>   | <b>1000,00</b>  |
|                                           |                 |                  |                 |
| Totaal installatiekost technische ruimte: |                 | <b>224940,00</b> | <b>33875,00</b> |

### 5.3.2.3 Afgiftesystemen

Voor de eerste 3 systemen bestaat het afgiftesysteem uit vloerverwarming in de kantoren op het gelijkvloers en uit klimaatplafonds in de rest van het gebouw. Voor systeem 4 zijn inbouwsatellieten met kanaalwerk en roosters als afgiftesysteem gekozen. In het magazijn wordt er gekozen voor luchtverhitters als afgiftesysteem. De bepaling van de kost aan leidingnetwerk en afgiftesysteem is in Tabel 5-11 voorgesteld. Voor het klimaatplafond is een offerte beschikbaar. De overige kosten zijn bekomen uit vergelijkbare projecten.

**Tabel 5-11 Leidingnetwerk en afgifte**

| Leidingnetwerk en afgifte |                                      |                        |                          |
|---------------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Vloerverwarming           |                                      | Kost systeem 1-2-3 (€) | Kost systeem 4 (€)       |
|                           | Leidingwerk                          | 1500,00                | 1500,00                  |
|                           | Inregelkranen en afsluiters          | 300,00                 | 300,00                   |
|                           | Afgiftesysteem                       | 7918,00                | 7918,00                  |
|                           |                                      | <b>9718,00</b>         | <b>9718,00</b>           |
| Afgiftesysteem            |                                      | <b>Klimaatplafond</b>  | <b>Directe extractie</b> |
|                           | Leidingwerk en inregelkranen (water) | 127500,00              | /                        |
|                           | Afgiftesysteem                       | 141480,00              | 114290,00                |
|                           |                                      | <b>268980,00</b>       | <b>114290,00</b>         |

|                                   |                              |                  |                  |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------|------------------|
| Magazijn                          |                              |                  |                  |
|                                   | Leidingwerk en inregelkranen | 32500,00         | 32500,00         |
|                                   | Afgiftesysteem               | 24000,00         | 24000,00         |
|                                   |                              | <b>56500,00</b>  | <b>56500,00</b>  |
| Totaal leidingnetwerk en afgifte: |                              | <b>335198,00</b> | <b>180570,50</b> |

De totale installatiekost is de sommatie van de kost aan energieproductie, de installatiekost van de technische ruimte en de installatiekost van het leidingnetwerk en afgiftesysteem. De totale installatiekost per systeem is in Tabel 5-12 voorgesteld.

In de eerste 3 systemen verandert de installatiekost van de technische ruimte en de installatiekost voor het leidingnetwerk en het afgiftesysteem niet. Zowel voor de koelmachine als de warmtepompen lucht/water en grond/water is het afgiftemedia in het gebouw water waardoor het leidingnetwerk en de afgiftesystemen niet veranderen. In systeem 4 wordt er gebruik gemaakt van een warmtepomp lucht/lucht en zal er als afgiftemedia lucht zijn. Het warmtetransport in het gebouw is hier koelmiddel. Met koelmiddel als afgiftemedia en een ventilator per ruimte zal de regeling in het gebouw veel eenvoudiger zijn. Er zal er geen koelplafond geplaatst worden maar koelunits zoals beschreven in hoofdstuk 1, koelunits zijn goedkoper en eenvoudiger dan een koelplafond. De installatiekost van de technische ruimte, het leidingnetwerk en het afgiftesysteem ligt veel lager in systeem 4.

**Tabel 5-12 Totale installatiekost**

|                               | Kost (€)                  |                                         |                                         |                                         |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
|                               | Systeem 1:<br>Koelmachine | Systeem 2:<br>Warmtepomp<br>grond/water | Systeem 3:<br>Warmtepomp<br>lucht/water | Systeem 4:<br>Warmtepomp<br>lucht/lucht |
| Energieproductie              | 84551,73                  | 128235,00                               | 91435,52                                | 190866,00                               |
| Installatie technische ruimte | 224940,00                 | 224940,00                               | 224940,00                               | 33875,00                                |
| Leidingnetwerk en afgifte     | 335198,00                 | 335198,00                               | 335198,00                               | 180507,50                               |
| <b>Totale installatiekost</b> | <b>644689,73</b>          | <b>688373,00</b>                        | <b>651573,02</b>                        | <b>405248,50</b>                        |
| Verskil t.o.v. goedkoopste    | 2                         | 4                                       | 3                                       | 1                                       |
|                               | +59%                      | +70%                                    | +61%                                    |                                         |



### 5.3.3 Onderhoudskost

Om een goede vergelijking te kunnen maken tussen de verschillende systemen dient er rekening gehouden te worden met de onderhoudskost. De onderhoudskost is niet voor elke installatie hetzelfde. Voor het onderhoud kan een systeem opgedeeld worden in het deel voor verwarming, het deel voor koeling en de aanwezige pompen. In het vierde systeem met de lucht/lucht warmtepomp zijn geen pompen aanwezig maar ventilatoren. De bekomen tarieven in Tabel 5-13 zijn inschattingen gemaakt op basis van gelijkaardige projecten.

**Tabel 5-13 Bepaling van de onderhoudskost**

| Onderhoudskosten | Kost op jaarbasis (€/jaar) |                                         |                                         |                                         |
|------------------|----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
|                  | Systeem 1:<br>Koelmachine  | Systeem 2:<br>Warmtepomp<br>grond/water | Systeem 3:<br>Warmtepomp<br>lucht/water | Systeem 4:<br>Warmtepomp<br>lucht/lucht |
| Verwarming       | 1500                       | 1000                                    | 1500                                    | 1500                                    |
| Koeling          | 2000                       | 1000                                    | 1000                                    | 2000                                    |
| Pompen           | 3000                       | 3000                                    | 3000                                    | /                                       |
| Ventilatoren     | /                          | /                                       | /                                       | 600                                     |
| Koelmiddel       | /                          | /                                       | /                                       | 1000                                    |
| <b>Totaal</b>    | <b>6500</b>                | <b>5000</b>                             | <b>5500</b>                             | <b>5100</b>                             |

Uit Tabel 5-13 kan er opgemerkt worden dat het verschil in onderhoudskost beperkt is. Warmtepompen vergen iets minder onderhoud dan een koelmachine en een grond/water warmtepomp zal het minst aan onderhoud vragen.

### 5.3.4 Verbruikskost

De verbruikskost van elk systeem wordt bepaald met de berekende jaarverbruiken in koeling en verwarming bekomen uit hoofdstuk 4.

Uit Tabel 3-12 kan het jaarverbruik van het kantoorgebouw gehaald worden, deze worden in Tabel 5-14 opnieuw weergegeven.

**Tabel 5-14 Jaarverbruik kantoorgebouw**

|                               | Jaarverbruik (kWh/jaar) |         |        |
|-------------------------------|-------------------------|---------|--------|
|                               | Verwarming              | Koeling | Totaal |
| Kantoorgebouw (hoofdstuk 2.3) | 54499                   | 48674   | 103173 |

Er zal gerekend worden met prijzen voor gas en elektriciteit weergegeven in Tabel 5-15. De elektriciteitsprijs waarmee wordt gerekend is de prijs per kilowattuur gebruikmakende van een hoogspanningscabine.

**Tabel 5-15 Energieprijzen**

|                     | Kost (€/kWh) |
|---------------------|--------------|
| Gasprijs            | 0,06         |
| Elektriciteitsprijs | 0,085        |

Voor de koelmachine van systeem 1 zal het verbruik van de verwarming en de koeling als volgt berekend worden. Voor vereenvoudiging wordt er geen rekening gehouden met het verbruik van de pompen in de installatie.

$$\text{Verbruikskost} = \frac{E}{\eta} \cdot \text{€/kwh} \quad 5-1$$

Waarbij

E = jaarverbruik voor verwarming of koeling [kWh/jaar]

$\eta$  = Het rendement van de gasketel of EER/COP van de warmtepomp [%]

€/kWh = gas of elektriciteitsprijs [€/kWh]

De verbruikskost voor systeem 1 is in Tabel 5-16 voorgesteld. De gasketel heeft hier een rendement van 90% en de koelmachine heeft een koelrendement of EER van 3,2. Dit wil zeggen dat de warmtepomp 3,2 kW warmte genereert met 1 kW elektriciteit.

**Tabel 5-16 Verbruikskost systeem 1**

| Verbruikskost |               | Verbruik (€/jaar) |
|---------------|---------------|-------------------|
| Verwarming    |               |                   |
|               | $\eta = 90\%$ | 3633,3            |
| Koeling       |               |                   |
|               | EER = 3,2     | 1292,9            |
| <b>Totaal</b> |               | <b>4926,2</b>     |

De uitgebreide berekening voor de 4 systemen van de verbruikskost is terug te vinden in bijlage H. Er wordt nu een overzicht gegeven van de verschillende verbruikskosten in Tabel 5-17.

**Tabel 5-17 Verbruikskost voor de vier systemen**

|                                | Verbruikskost (€/jaar)    |                                         |                                         |                                         |
|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
|                                | Systeem 1:<br>Koelmachine | Systeem 2:<br>Warmtepomp<br>grond/water | Systeem 3:<br>Warmtepomp<br>lucht/water | Systeem 4:<br>Warmtepomp<br>lucht/lucht |
| Verwarming                     | 3633,3                    | 1135,4                                  | 1447,6                                  | 1447,6                                  |
| Koeling                        | 1292,9                    | 569,9                                   | 1292,9                                  | 1292,9                                  |
| <b>Totaal</b>                  | <b>4926,2</b>             | <b>1705,3</b>                           | <b>2740,5</b>                           | <b>2740,5</b>                           |
| Verschil t.o.v.<br>goedkoopste | 4                         | 1                                       | 2-3                                     | 2-3                                     |
|                                | +189%                     |                                         | +61%                                    | +61%                                    |

De hoogste verbruikskost per jaar zal voorkomen bij de koelmachine. Dit is te verklaren omdat warmtepompen een veel hoger rendement behalen. Het interessantste systeem op basis van de verbruikskost is de warmtepomp grond/water.

In de bodem is er warmte gedurende een heel jaar aanwezig op een nagenoeg constante temperatuur. In de winter zal de grond/water warmtepomp warmte uit de bodem onttrekken op 12°C. De warmtepomp zal deze warmte van ±12°C moeten verwarmen tot 50 à 60°C. Een lucht/water of lucht/lucht warmtepomp zal zijn warmte onttrekken uit de buitenlucht. In de winter zal een lucht/water of lucht/lucht warmtepomp warmte van -10 à -15°C moeten verwarmen tot 50 à 60°C. Deze warmtepompen zullen meer vermogen nodig hebben, wat resulteert in hogere verbruikskosten op jaarbasis.

Op dezelfde manier is de hogere verbruikskost in koeling te verklaren bij lucht/water en lucht/lucht warmtepompen. In de zomer zullen die buitenlucht van 20 à 30°C moeten koelen terwijl een grond/water warmtepomp een koude ter beschikking heeft op ±12°C.

### 5.3.5 Stilstandsverliezen

Wanneer er geen verwarming of koeling in het gebouw gevraagd wordt zal de installatie een stilstandsverlies met zich meebrengen. Met dit stilstandsverlies dient rekening gehouden te worden. Afkomstig uit vergelijkbare projecten wordt er een inschatting gemaakt van 10 kWh/dag stilstandsverlies voor verwarming en 5 kWh/dag stilstandsverlies voor koeling. Er wordt gerekend met 10 % stilstandsverlies in leidingen voor koeling en verwarming. De kost aan stilstandsverliezen wordt in Tabel 5-18 weergegeven voor de verschillende systemen.

**Tabel 5-18 Bepaling kost van de stilstandsverliezen**

|                     | Kost (€/jaar)             |                                         |                                         |                                         |
|---------------------|---------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Stilstandsverliezen | Systeem 1:<br>Koelmachine | Systeem 2:<br>Warmtepomp<br>grond/water | Systeem 3:<br>Warmtepomp<br>lucht/water | Systeem 4:<br>Warmtepomp<br>lucht/lucht |
| Verwarming          | 28,6                      | 40,6                                    | 20,3                                    | 13,0                                    |
| Koeling             | 9,4                       | /                                       | 9,4                                     | 5,6                                     |
| Leidingen           | 492,6                     | 170,5                                   | 274,1                                   | 274,1                                   |
| <b>Totaal</b>       | <b>530,7</b>              | <b>211,1</b>                            | <b>303,7</b>                            | <b>292,7</b>                            |

Het stilstandsverlies in de leidingen bedraagt 10% van de verbruikskost in verwarming en koeling. Doordat de verbruikskost voor een koelmachine het hoogst is zullen de stilstandsverliezen uitgedrukt in € in de leidingen het hoogst zijn. Stilstandsverliezen voor verwarming en koeling zijn verwaarloosbaar ten opzichte van de verliezen in de leidingen.

## 5.4 Levensduur

De bouwheer zal willen investeren in een systeem met een hoge levensduur. De levensduur wordt theoretisch gezet op 15 à 25 jaar op basis van richtwaarden opgegeven door de fabrikant. De levensduur van een installatie is sterk afhankelijk van het gebruik ervan. Het vaak in- en uitschakelen van een installatie of laattijdig onderhoud kan resulteren in een kortere levensduur.

In de vergelijking zal er gerekend worden met een levensduur van 15 jaar van de installaties. Er wordt verwacht dat deze levensduur voor elk systeem gehaald wordt.

## 5.5 Vergelijking

Om een goede vergelijking te maken tussen de vier verschillende systemen worden de verschillende kosten naast elkaar gezet in Tabel 5-19. Er wordt een *life cycle cost* berekend op 15 jaar omdat de levensduur van de installaties verondersteld is op minstens 15 jaar. Deze *life cycle cost* zal de totale kost zijn van de installatie na 15 jaar. Het systeem met de laagste *life cycle cost* zal financieel de interessantste keuze zijn voor het kantoorgebouw. De vermelde prijzen zijn ramingen en kunnen in praktijk lichtjes afwijken. Aannemers zullen een voorstel van prijsofferte moeten indienen. De ramingen zijn goede schattingen van de kostprijs van een installatie. De laagste *life cycle cost* bekomen uit ramingen zal de laagste *life cycle cost* zijn voor de werkelijke prijzen.

De *life cycle cost* wordt voor elk systeem op de volgende manier bepaald:

$$\text{Life cycle cost} = \text{Installatiekost} + \frac{\text{onderhoud} + \text{verbruik} + \text{stilstand}}{\text{jaar}} * 15 \text{ jaar}$$

Tabel 5-19 Life cycle cost

| Systemen                  | Installatie (€) | Onderhoud (€/jaar) | Verbruik (€/jaar) | Stilstand (€/jaar) | <b>Life cycle cost 15 jaar (€)</b> | Verschil t.o.v. goedkoopste |      |
|---------------------------|-----------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------------------------------|-----------------------------|------|
| 1: Koelmachine            | 644689,73       | 6500               | 4926,20           | 530,70             | <b>824043,23</b>                   | 4                           | +56% |
| 2: Warmtepomp grond/water | 688373,00       | 5000               | 1705,30           | 211,10             | <b>792119,00</b>                   | 3                           | +50% |
| 3: Warmtepomp lucht/water | 651573,02       | 5500               | 2740,50           | 303,70             | <b>779736,02</b>                   | 2                           | +48% |
| 4: Warmtepomp lucht/lucht | 405248,50       | 5100               | 2740,50           | 292,70             | <b>527246,50</b>                   | 1                           |      |

De *life cycle cost* na 15 jaar zal veel lager liggen bij systeem 4, de lucht/lucht warmtepomp. De onderhoudskost, verbruikskost en de kost van de stilstandsverliezen liggen lager bij een grond/water warmtepomp dan bij de lucht/lucht warmtepomp.

Doordat de installatiekost van de lucht/lucht warmtepomp veel lager ligt dan de grond/water warmtepomp zal de *life cycle cost* hier lager liggen. De lucht/lucht warmtepomp is financieel het interessantste systeem bekeken op 15 jaar om in het gebouw te plaatsen.

In Tabel 5-19 is de *life cycle cost* berekend zonder rekening te houden met een eventuele stijging in de energieprijzen. De elektriciteitsprijzen schommelen de laatste jaren sterk en zullen in 15 jaar tijd wellicht een sterke stijging ondergaan. In Tabel 5-20 is dezelfde vergelijking tussen de 4 systemen opnieuw weergegeven maar die houdt nu rekening met een stijging van de elektriciteits- en gasprijs. De installatiekost en de onderhoudskost zullen constant blijven. De verbruikskost en de stilstandsverliezen zullen echter toenemen bij stijgende energieprijzen.

Er wordt verondersteld dat de gasprijs zelf weinig stijgt en de inflatie van 2% volgt. De elektriciteitsprijs wordt verondersteld sterker te stijgen dan de inflatie en zal 4% per jaar toenemen.

De berekening van de energieprijzen en de *life cycle cost* is terug te vinden in bijlage H.

**Tabel 5-20 Life cycle cost met stijgende energieprijzen**

| Systemen                  | Installatie (€) | Onderhoud (€/jaar) | Verbruik (€/jaar) | Stilstand (€/jaar) | <b>Life cycle cost 15 jaar (€)</b> | Verskil t.o.v. goedkoopste |     |
|---------------------------|-----------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------------------------------|----------------------------|-----|
| 1: Koelmachine            | 644690          | 6500               | 6395,90           | 772,15             | <b>849710,51</b>                   | 4                          | 55% |
| 2: Warmtepomp grond/water | 688373          | 5000               | 2481,15           | 307,14             | <b>805197,44</b>                   | 3                          | 47% |
| 3: Warmtepomp lucht/water | 651573          | 5500               | 3987,39           | 441,87             | <b>800511,97</b>                   | 2                          | 46% |
| 4: Warmtepomp lucht/lucht | 405249          | 5100               | 3987,39           | 425,87             | 547947,38                          | 1                          |     |

Met een stijging van de energieprijzen zal systeem 4 opnieuw de laagste *life cycle cost* hebben na 15 jaar. Het verschil tussen systeem 4 en de andere systemen is iets kleiner geworden. Er kan geconcludeerd worden dat de stijging van de elektriciteits- en gasprijzen weinig invloed zal hebben op de keuze naargelang de *life cycle cost*. Er dient echter nog een afweging gemaakt te worden naargelang het comfort en het esthetisch aspect van de installatie.

## 5.6 Besluit

De keuze van de verwarmings- en koelinstallatie is afhankelijk van verschillende factoren. Op basis van de comfortwens kan al een selectie gemaakt worden in verbruikers en installatie. Niet enkel het gewenste comfort maar het esthetisch aspect is belangrijk in de keuze van de juiste installatie.

De totale installatiekost van een systeem bestaat niet enkel uit de aankoopprijs maar bevat de installatie van de technische ruimte, het leidingnetwerk en de afgifte. De kost aan energieproductie is verschillend per systeem en afhankelijk van de energie opwekker. De installatiekost van de technische ruimte en het leidingnetwerk is afhankelijk van het afgiftemedium in het gebouw. Voor de eerste 3 systemen is het afgiftemedium water en is de installatiekost van de technische ruimte en het leidingnetwerk aan elkaar gelijk. Het laatste systeem zal lucht plaatselijk opwarmen en gebruikt een koelmiddel als afgiftemedium in het gebouw.

Koelmiddel en plaatselijke opwarming met lucht als afgiftemedium in het gebouw zal een eenvoudiger regeling met zich meebrengen.

Koelplafonds worden niet geplaatst met koelmedium als afgiftemedium maar enkel bij water. In systeem vier verkrijgt men satelliet units in plaats van een koelplafond.

Satelliet units zijn veel eenvoudiger in installatie en goedkoper in aankoop, hierdoor is de installatiekost van de technische ruimte en de kost van het leidingnetwerk met afgifte lager dan voor de eerste drie systemen.

Een verwarmings- en koelinstallatie vergt natuurlijk onderhoud. Het onderhoud is niet voor elk systeem hetzelfde. In een warmtepomp vindt geen verbranding plaats wat het onderhoud sterk doet afnemen. Aangezien voor de 4 systemen een installatie met gasketels wordt voorzien voor de verwarming van het magazijn zal er weinig verschil zijn in de onderhoudskost. Een gasketel vergt meer onderhoud. Het onderhoud van pompen weegt het zwaarst door voor de eerste drie systemen. In het vierde systeem wordt in regeling gebruik gemaakt van een lucht/lucht warmtepomp. Deze warmtepomp bevat ventilatoren in ieder lokaal die onderhoud vergen. Het koelmiddel in de leidingen heeft onderhoud nodig. De onderhoudskost ligt hoger bij een lucht/lucht warmtepomp omdat filters en kanalen regelmatig gereinigd moeten worden. In vergelijking met andere kosten is dit beperkt.

De verbruikskost is naast de installatiekost en de onderhoudskost van een installatie belangrijk. Op het moment dat er geen warmte of koude gevraagd wordt in het gebouw zullen er stilstandsverliezen optreden. Deze stilstandsverliezen zullen zich resulteren in een kleine kost op jaarbasis. Opnieuw komt de grond/water warmtepomp eruit als interessantste systeem met de laagste stilstandsverliezen.

Een lange levensduur van de installatie zal zorgen voor een optimale benutting van de investering. De levensduur is afhankelijk van het gebruik van de installatie. Het vaak in- en uitschakelen of laattijdig onderhoud kan resulteren in een kortere levensduur.

De installatie met de hoogste installatiekost zal niet altijd de duurste installatie zijn omdat er rekening gehouden wordt met verschillende factoren die de *life cycle cost* beïnvloeden. De *life cycle cost* is bepaald na 15 jaar omdat een installatie een verwachte levensduur van minimaal 15 jaar heeft. Een lucht/lucht warmtepomp zal voor het kantoorgebouw financieel gezien de interessantste keuze zijn. Natuurlijk dient er overwogen te worden of een lucht/lucht warmtepomp zal voldoen in de comfortwens. In vergelijking met het ander systeem is er in de ruimten meer luchtverplaatsing en meer geluid met een lucht/lucht warmtepomp.

Voor dit kantoorgebouw zoals beschreven in hoofdstuk 2.3 is er gekozen om te werken met inbouwsatellieten die de koeling en verwarming in het kantoorgebouw voorzien. Het voordeel van inbouwsatellieten is dat de lucht in de ruimte gebracht wordt met ventilatieroosters. Er wordt gekozen voor regelbare nozzle roosters zodat bij ongewenste luchtverplaatsingen er nog kan bijgestuurd worden. Doordat er een ventilator in iedere ruimte aanwezig is, is het systeem sneller maar is er meer luchtverplaatsing en geluid in de ruimten. De opwekking wordt voorzien met een lucht/lucht warmtepomp.

# REFERENTIES

- [1] deautoaircospecialist. [Online]. Available: <https://www.deautoaircospecialist.nl/aircosysteem/werking/>.
- [2] keyzers koeltechniek, „catalogus warmtepompen,” 2019. [Online]. Available: <https://www.keyzers-koeltechniek.be/nl/catalogus/warmtepompen-en-live-heat-pump-be/werking-warmtepomp>.
- [3] Forté, „Document koeling,” Geel.
- [4] B. a. vlaanderen, Artist, *Statische koelbalk*. [Art].
- [5] „gidsduurzamegebouwen,” 2019. [Online]. Available: <https://www.gidsduurzamegebouwen.brussels/nl/koelbalken.html?IDC=9572>.
- [6] „inteco,” [Online]. Available: <https://www.inteco.nl/werking-klimaatplafond>.
- [7] „architectura,” [Online]. Available: <http://www.architectura.be/nl/nieuws/2820/betonkernactivering-wat-hoe-en-waarom>.
- [8] *Raadhuis hoogstraten*, 2017.
- [9] ISSO redactie, ISSO 't kleintje Koellast, Rotterdam: Stichting ISSO, 2010.
- [10] ATIC, „Berekening van de warmtewinsten en warmtelasten van lokalen en gebouwen,” ATIC, Leuven, 2014.
- [11] DesignBuilder, *DesignBuilder*, Geel, Antwerpen, 2018.
- [12] „Zonnewering prijzen,” 25 Maart 2019. [Online]. Available: <https://www.homedeaal.be/zonwering/zonwering-prijzen/>.
- [13] *Project van Forté*.
- [14] grada, Artist, *businesspark futurama praag*. [Art].
- [15] Inteco, Artist, *klimaatplafonds*. [Art].
- [16] b. dekokk, Artist, *nieuw laboratorium kankeronderzoek*. [Art].
- [17] gyproc, „thermische massa gyproc”.
- [18] V. d. walle, „thermische massa rubber,” [Online]. Available: <http://www.vdwalle.com/knowledgebase/rubber/types.htm>.
- [19] greentop, „greentop-greenroofs,” [Online]. Available: <http://greentop-greenroofs.com/groendaken>.
- [20] J. d. vree, „thermische massa,” 03 2019. [Online]. Available: [http://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/volumieke\\_massa.htm](http://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/volumieke_massa.htm).



# BIJLAGEN

|           |                                                   |
|-----------|---------------------------------------------------|
| Bijlage A | Koellastberekening kantoorgebouw                  |
| Bijlage B | Grafieken jaarverbruiken koelregime 26/32         |
| Bijlage C | Grafieken jaarverbruiken koelregime 24/32         |
| Bijlage D | Grafieken piekvermogen                            |
| Bijlage E | Besparingen koelverbruik – niet geïsoleerd gebouw |
| Bijlage F | Berekeningen met rekenblad                        |
| Bijlage G | Offertes systemen                                 |
| Bijlage H | Berekening vergelijking                           |



