

UNIVERSITEIT ANTWERPEN

FACULTEIT TOEGEPASTE INGENIEURSWETENSCHAPPEN

Een evaluatie van courant gebruikte technieken om oververhitting te voorkomen bij BEN-woningen in Vlaanderen

OPTIMALISATIE VAN BEGLAZING EN ZONWERING VOOR NIEUWBOUWWONINGEN

Rob Martens

Masterproef voorgedragen tot het bekomen
van de graad van:

Master of Science in de industriële wetenschappen
Bouwkunde

Promotor(en): Prof. dr. ir.-arch. Leen Lauriks

Copromotor: ir. Stijn Verbeke

UNIVERSITEIT ANTWERPEN

FACULTEIT TOEGEPASTE INGENIEURSWETENSCHAPPEN

Een evaluatie van courant gebruikte technieken om oververhitting te voorkomen bij BEN-woningen in Vlaanderen

OPTIMALISATIE VAN BEGLAZING EN ZONWERING VOOR NIEUWBOUWWONINGEN

Rob Martens

Masterproef voorgedragen tot het bekomen
van de graad van:

Master of Science in de industriële wetenschappen
Bouwkunde

Promotor(en): Prof. dr. ir.-arch. Leen Lauriks

Copromotor: ir. Stijn Verbeke

Voorwoord

De opleiding “Industriële wetenschappen Bouwkunde” heeft in zijn studieprogramma een masterproef opgenomen als verplicht curriculum voor alle studenten die in het academiejaar 2014-2015 ingeschreven zijn in het masterjaar. Bij deze masterproef was het de bedoeling dat de student onder begeleiding van één of meerdere promotoren een studie uitvoerde.

Mijn grote belangstelling in de milieuproblematiek en meer in het bijzonder in het energiezuinig bouwen, vormde de belangrijkste motivatie voor het schrijven van deze masterproef met als titel “Een evaluatie van courant gebruikte technieken om oververhitting te voorkomen bij BEN-woningen in Vlaanderen”. Mijn masterproef wilt een inzicht verschaffen in het al dan niet economische voordeel van zonwerende screens ten opzichte van minder milieuvriendelijke methodes die oververhitting in woningen vermijden.

Deze masterproef bleek vrij snel een zeer interessante, maar tevens zeer uitdagende keuze te zijn. De resultaten uit deze masterproef zijn voor de modale lezer zinvol en duidelijk te begrijpen wat zorgde voor een extra stimulans tijdens het schrijven.

Een masterproef schrijf je niet alleen, en daarom zou ik van dit voorwoord gebruik willen maken om enkele personen te bedanken.

In eerste plaats gaat mijn dank naar mijn copromotor **Ir. Stijn Verbeke**. Zijn professionele begeleiding heeft mij enorm veel bijgebracht en de aangeboden vrijheid bij het schrijven van deze masterproef kon ik ten eerste appreciëren. Tevens wil ik mijn promotor **ir.-arch. Leen Lauriks** bedanken om dit onderwerp als masterproef te lanceren. Het onderwerp wekte onmiddellijk mijn interesse op en gaf mij bovendien de kans om mij hierin een jaar lang te verdiepen.

Graag wil ik ook docent **Leo Vaningelgem** bedanken voor de nodige informatie omtrent het economische gedeelte in deze studie en **Laurens Meeus** om mij de nodige kennis i.v.m. fotonica te verschaffen. Ook wens ik de verschillende fabrikanten, verdelers en installateurs te bedanken met in het bijzonder **Jef Oorts**, voor het aanleveren van prijsoffertes en de nodige informatie.

Uiteraard wil ik ook graag **mijn ouders** bedanken voor de kans en steun die ze gaven voor het volbrengen van deze opleiding.

“De auteur geeft de toelating dit afstudeerwerk voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van het afstudeerwerk te kopiëren voor eigen gebruik. Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit dit afstudeerwerk.”

Datum: 26/05/2015

Naam en handtekening:

Rob Martens

An evaluation of commonly used techniques, used to prevent overheating in nearly zero energy buildings in Flanders

R. MARTENS ^a, IR. S. VERBEKE ^a, IR.-ARCH. L. LAURIKS ^a

^a University of Antwerp: Faculty of Applied Engineering: Construction,
Rodestraat 14, 2000 Antwerp, BELGIUM

Contact: rob.martens@student.uantwerpen.be

Abstract: *This study is an evaluation of three different techniques to prevent overheating in nearly zero energy building in Flanders. The three techniques are: 1. Air-conditioning 2. Solar protection screen 3. Solar control glass. The evaluation is based on thermal comfort, energy consumption and investment and maintenance costs. Also research has been done for the optimal settings for the manually and automatically operated activation of solar protection screens. All simulations have been done on four free-standing building models, which differ in occupant behavior and total surface area of the windows. Taking into account total investment, maintenance cost and energy demand, solar control glass ensures the lowest total price over a period of 20 years. The highest level of thermal comfort is provided by air-conditioning, whereas solar control glass also results in good thermal comfort. The usage of solar protection screens is the most expensive technique to ensure thermal comfort, however due to its dynamic feature, it is the only technique that does not need extra energy use, which makes it the most durable choice.*

Keywords: Air-conditioning, solar control glass, solar protection screen, overheating, passive solar energy

1 Introduction

Nearly zero energy buildings are undoubtedly a great investment in our future due to their low environmental impact and their high energy-efficiency.

Before we can accept this standard of buildings by 2021, it is of great importance to study the aspects of 'overheating'.

The concept of sustainable buildings responds to the current political climate and is primarily aimed at reducing the energy demand drastically. This type of buildings with extensive insulation, high level of airtightness and super-insulating glazing with high solar gain, ... is characterized by ideal thermal conditions in the heating season. On the other hand these techniques can generate excessive heat in the summer period. The heat stacks up and without appropriate measures, very uncomfortable situations may occur.

Various measures can be taken to counter the previous effects. The objective evaluation of some

commonly used techniques in nearly zero energy buildings in Flanders, based on total cost and thermal comfort is the subject of this paper. The techniques that will be evaluated in this study are the use of air conditioning, the use of solar protection screens and the use of solar control glass. Also, a combination of the last two is taken into consideration.

In order to achieve the objective, all the above techniques are simulated in the dynamic simulation program EnergyPlus.

Not only will become clear which techniques will lead to a comfortable indoor climate and favorable economic results, but also how the end-user has to act in the field of activation of screens, to give him the most optimal comfort.

2 Research methodology

2.1 Methodology

In order to make this research applicable on a wide variety of buildings in Flanders, first, a building model was selected, which can be seen as the average building according to statistics.

Since each building is unique, two variables, that are important in the evaluation of economic cost and thermal comfort, were selected. [1]

The variables used in this study are:

- The relative amount of glass (Medium and high)
- The type of occupants (Always home or not at home during the day in the working week)

Then, the simulations in EnergyPlus were carried out on four building models (2 relative amounts of glass x 2 types of occupants) in which each technique to prevent overheating is applied, in order to determine the thermal behavior of the buildings.

Thereafter, the output data from EnergyPlus is used to determine the thermal comfort levels and the economic cost of each technique.

The economic results are based on the actuarial cost of the initial investment, maintenance cost and energy cost, taken into account rising energy prices. The investment cost and maintenance costs are based on prices offered by suppliers and expert advice.

The determination of the thermal comfort is carried out by calculating the number of hours exceeding 26°C (based on the standard NBN_EN 15251 to meet comfort level two) on annual basis and this only at the moments when the people are in the house. For the next evaluations, the ratio is used between the hours of exceedance and the number of hours of attendance. [2]

2.2 Simulation programs

EnergyPlus in combination with the OpenStudio Plug-in was used to simulate the models.

2.2.1 EnergyPlus



figure 1: Logo EnergyPlus. Source: ("EnergyPlus," n.d.)

EnergyPlus is a simulation program developed on behalf of the United States Department of Energy and is based on the most popular functions BLAST and DOE 2.1E. It is a modular program, and can perform calculations to determine temperature and comfort aspects of buildings on basis of simple text files. [3]

It is a dynamic simulation program which makes it possible to evaluate the thermal performances of the building through short time intervals, which can be chosen by the user. These sophisticated simulations executed by EnergyPlus, make it possible to precisely analyze the impact of glazed areas on the physical behavior of a building. Such an estimate cannot be achieved with the semi-stationary methods as used in the legal EPB software or PHPP passive software, based on monthly energy balances. In this way only a rough estimate of the actual consumption and the thermal comfort is calculated. [4]

More information about EnergyPlus can be found via this link:

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm

2.2.2 OpenStudio Plug-in

The Legacy Open Studio Plug-in makes it possible to program the design of the building into EnergyPlus in a user-friendly way. It is a plug-in that works with SketchUp, an intuitive 3D program.

3 Input data

This section explains on what base the building and its installations are chosen and which data is entered in EnergyPlus.

3.1 The building

The building which is used for the simulations can be seen as an average building in Belgium.

The building is a freestanding house and has a habitable area of 216 m². The building is designed for three to four residents and has three bedrooms.

The climate in which it is located, is the climate of an average year in Belgium without days of excessive heat or cold. [5]

3.2 Insulation of the building

The partitions of the building are chosen so that the entire building meets the standards for a Nearly Zero Energy building.

The U value of the exterior walls and floors are both 0,15 W/m²K. The roof has an U value of 0,2 W/m²K.

The windows are always equipped with double glass and placed in a frame with a U value of 1.8 W/m²K.

Construction nodes are not taken into account, because they are significantly reduced by the current solutions with insulation in glass wool and cellular glass. [4]

3.3 variables

According to a survey conducted by ES-SO (ESCORP study), the following parameters of a building are decisive for the determination of the energy-saving capabilities of sun protection screens or solar control glass:

- Climate: The place where the house is located affects the energy savings potential of a building.
 - Orientation of the building: A house will have no need for solar control glass when all the windows are facing north for example.
 - The user profile of the residents: For example: Is it a family where the parents stay at home all day, or just at home before and after their shifts.
 - The quality of the glass windows in the building.
- [6]

Because the climate in Flanders is always the same and because it is advised to direct the orientation of the largest windows always south, only two parameters are taking into account, namely two

different amounts of glass and two different user profiles.

table 1: Glass surface/ Floor area.

Glass Surface/ Floor area	High level of glass surface (%)	Averged level of glass surface (%)
Total	29,15	22,74
Open kitchen & living room	34,80	27,14
Living room	21,87	17,06
Open kitchen	41,94	32,70
Bathroom	23,90	18,64
Bedroom 1 (orientation: south)	35,80	27,93
Bedroom 2 (Orientation: south)	35,80	27,93
Slaapkamer 3 (Orientation: north)	28,10	21,9

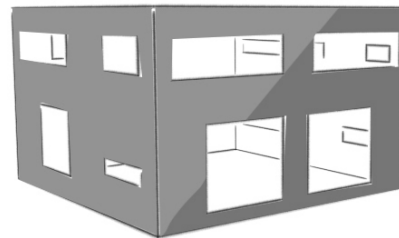


figure 2: Building with high level of glass surface (south, west side)

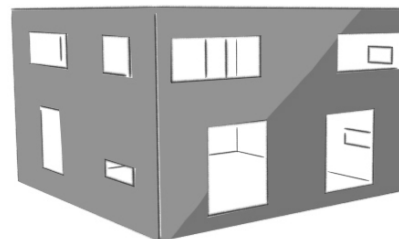


figure 3: Building with average level of glass surface (south, west side)

3.4 The tested techniques to prevent overheating

As stated earlier, this study is carried out to compare solar screens, solar control glazing and air conditioning in terms of cost and thermal comfort.

The evaluation on solar control glass and solar screens will however depend on the orientation in which they are placed. Therefore different configurations are investigated.

- Use of a manually operated dynamic solar screen
 - On south, east and west site
 - Only on the south side
- Use of an automatically operated dynamic solar screen

On south, east and west side
only on the south side

- Use of a static sun protection through solar control glass (On south, east and west)
- A combination of the above (Automatic operated dynamic solar screen on the south side and a solar control glass on the east and west side)

3.5 Input data: Solar control glass

The energy balance of a window is a combination of thermal insulation, as measured by the heat transmission coefficient U , solar gains (TL: light transmission) and the flow of (free) natural light (g : solar factor).

Belgium has drawn up a main line of various types of glass configurations that are manufactured and marketed in Belgium. Generally, there are three types of solar control glass. [7]

table 2: characteristics of the different solar control glass types [7]

Solar control glass	U-value (W/m^2K)	TL (%)	g (%)
Type 1	1	70	40
Type 2	1	60	28
Type 3	1	40	20

Those three types have been applied on one building model (on the east, south and north side) in order to predict the result in energy consumption when a particular type of solar control glass is used. In table 3, the different types of solar control glass are compared with the same building equipped with standard double glazing on energy usage.

table 3: comparison different types of solar control glass

Solar control glass	Ratio exceedance >26°C	Increase energy consumption (heating)	Energy Consumption (kWh)
Type 1	3,41	34%	5357
Type 2	1,73	51%	6032
Type 3	0,61	70%	6790

From these results, it should be noted that a smaller solar factor creates much higher energy costs. Type 2 is used for the continue of this study.

3.6 Input data: Solar protection screen

table 4: characteristics solar protection screen

Sun transmission	21%
Sun reflection	43%
Sun absorption	36%
Light transmission	14%

table 4 shows the characteristics of an often purchased solar protection screen which is used in this study. [8]

3.7 Activation sun protection screen

An important part in this study was the correct setting of the activation of the sun protection screens in order to have good thermal results. The activation can be modeled in several ways with Energy Plus.

Automatic operated screens are most of the times controlled through a sun sensor which measures the sun incidence (illuminance (lux)). Because of the fact that Energyplus is not able to measure this illuminance, irradiance is used to activate the screens.

When the activation was only based on this irradiance, less opportune results were simulated because the screens were often activated during the heating season. By also integrating the interior temperature in the activation, this was avoided.

The best results based on thermal comfort, energy consumption and time of activation of the screen, were achieved by using the underlying EMS¹ program.

automatically operated

"ShadingZ,

If Temp_dayzone>24 && Sun_south>150,

Set ShadingZ=1,

Else,

Set ShadingZ=0,

ENDIF,"

¹ EMS: An energy management system (EMS) is a dedicated computer that can be programmed to control all of a building its energy-related systems.

Manually operated

"ShadingZ,

If (People_athome>0 && Temp_dayzone>24 &&

Sun_south>150,

Set ShadingZ=1,

Else

Set ShadingZ=0,

ENDIF"

Temp_dayzone: Indoor temperature of the dayzone.

Sun_south: Sun irradiance on the south side of the building.

ShadingZ: The activation of all of the shading screens on the south side.

People_athome: 0 if nobody is at home, 1 if more persons are at home.

The activation for the screens at the east and west side are activated in the same way.

With this activation there is no energy loss in the heating season.

3.8 External shading

In the various models there is no external or architectural shading applied. External shading is namely very unpredictable. As a result, external shading is ignored in this study as the impact of external shading remains highly localized, which would cause major irregularities in the final results.

3.9 Thermostat Settings

In order to make it possible to determine the correct energy demand, it is necessary to model the settings of the thermostat.

The values chosen for the thermostat are suggested values from EN 15251: 2007. This standard recommends to obtain a temperature between 20 and 25°C in the winter and a temperature between 23 and 26°C in the summer in order to meet comfort category B. (See table 5) [9]

table 5: Determination comfort level [9]

Comfort class	PPD %	PMV
A	<6	-0,2 < PMV < 0,2
B	<10	-0,5 < PMV < 0,5
C	<15	-0,7 < PMV < 0,7
D	>15	-0,7 > PMV and/or PMV > 0,7

3.9.1 Heating

As stated before, there are two user profiles simulated in order to evaluate their different thermal comfort, each requiring a different thermostat setting.

User profile *"during the day, out of the home"*:

When people are home: Heating up to 21°C.

When people are not home or at nighttime: Heating up to 16°C.

User profile *"always home"*:

During the day: Heating up to 21°C.

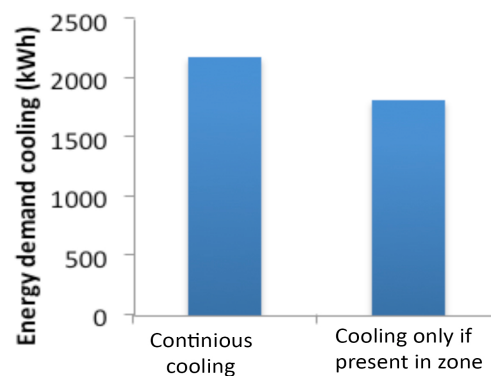
At nighttime: Heating up 16°C.

By the use of this setting, the study also examines the impact of a smart thermostat.

3.9.2 Cooling

The activation of the air conditioning is modeled as a manual operation. Thus, the cooling will start when people are in the house and when the indoor operative temperature exceeds 26 °C.

This operation also ensures that the air conditioning is activated only if the residents are present, which results in a lower energy cost compared to a constant cooling. The advantage of this setting is clarified in the next graph, where the cooling demand is examined on a building equipped with standard double glass and air conditioning. The user model is *"During the day, out of the home"*



graph 1: difference in Energy Usage

The cooling demand with selective cooling is reduced by 16.5%.

3.10 Input data: ventilation

For the ventilation a balanced ventilation system is chosen with heat recovery and full summer bypass,

according to the EPB regulation and the NBN D 50-0014 (If the air temperature inside is higher than 24 °C and the air temperature inside is higher than outside, the heat recovery is turned off automatically.)[4] The bypass is modeled in EnergyPlus using an EMS program.

For the proper ventilation rate, the document: "Ventilation facilities for residential buildings" by the Flemish Energy Agency (Vlaams Energie Agentschap) was consulted. The general rule for the ventilation rate is $3.6 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$. [10]

When the bypass is activated, the ventilation rate in EnergyPlus is programmed on $3,6 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$. When the bypass is deactivated and the heat is recovered, then the air flow is put on $0,72\text{m}^3/\text{h.m}^2$ taking into account an efficiency rate of the heat recovery unit of 80%. These settings are so chosen because only the heat loss from the air exchange is of importance in this study.

The opening and closing of windows is not programmed in the building models. This choice was made because of the fact that the ventilation provides a sufficient amount of ventilation. The opening of windows is therefore not necessary.

The different thermal zones are in contact with each other due to the opening of doors. Because of that reason an air exchange of $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ between the thermal zones is taking into account.

The airtightness of the building corresponds to 0,04 times the building volume per hour. (Breemersch 2013) This value corresponds to an n50-value² 0,6/h, the highest value permissible in passive houses. [11]

3.11 Input data: internal heat loads

The internal heat loads for the day and night zones remain unchanged throughout the simulation research. As well as the soil temperature which is set to 16 ° C for all months of the year. For the internal heat gains in the day zone its residents, lighting equipment and other electrical equipment are taken into account. In both night zones, only the residents and electrical equipment are included because the heat load of the lightning equipment is negligible in the night zone. The lights in the day

zone have a total power of 120 watts, the other electrical equipment has a power of $2,1 \text{ W}/\text{m}^2$. [8]

3.12 The thermal zones

To perform a simulation in EnergyPlus, thermal zones must be defined. A thermal zone is not a geometric, but a thermal concept. The input data, such as the setting of the thermostat, the presence of inhabitants, the energy gains by artificial light are zone specific. The requested output data will be presented for each zone separately as well. A zone is thus characterized by a corresponding pattern of temperature and internal heat gains.

Taking this in consideration, one of the first steps in the simulation was to divide the building into different thermal zones as illustrated in figure 4 and figure 5.

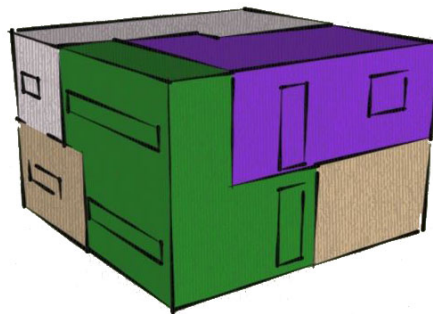


figure 4: thermal zones (orientation North East)

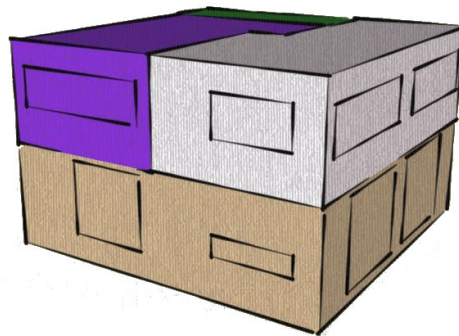


figure 5: Thermal zones (orientation South West)

The different thermal heat zones are:

- Day zone (Brown)
- The hall (Green)
- The night zone on the south side (White)
- The night zone on the north side (Purple)

By using those different zones, one can determine when the residents are awake or not. As a result it can be determined when the manual blinds can be operated or not.

² N50-value: The n50-value is the ventilation rate per hour through a component at a differential pressure of 50 Pa between inside and outside.

Setting the thermal zones in this way, it is also possible to give the thermostat in the night zone a different setting than in the day zone.

A distinction between the night zone on the north side and the night zone on the south sides is made since it is expected that the bedroom on the south side will have a greater number of exceeding hours, compared to the bedroom on the north side.

The hall zone is also set up as a separate zone. This is because this area requires less heating than the other zones. The focus in this study has been put on the day and night zones.

4 Analysis of the results

4.1 Requested data

In the simulation program Energy Plus, it is possible to retrieve different results.

As mentioned, this study examines the financial aspects of the aforementioned data. Therefore, the energy for cooling and heating was always requested as output parameter. This energy could then, when multiplied by the efficiency of the respective heating or cooling system, be converted to a certain annual cost for energy.

In order to be able to determine the thermal comfort, the operative temperature was also always requested. That output parameter makes it possible to calculate the amount of exceeding hours

(>26°C). Since a solar screen gives a smaller accession of natural light and creates a less optimal view, it is not ideal when the screen are constantly down. Therefore, the number of operating hours of the screen is also called as output.

4.2 Economic analysis

Three kind of costs are taken into account for the economic analysis:

- Initial cost
- Cash outflow for energy demand
- Cash outflow for maintenance

4.2.1 Initial cost

In calculating the initial investment, only relevant data is taken into account. Only the costs which differ between the alternatives are measured. The initial cost prices are based on prices given by manufacturers and installers.

For clarification purposes, an example: The cost price calculation of solar control glass at the east, south and west side.

In this configuration of solar control glass in the East, South and West facade, the additional cost of solar control glass compared to standard double glazing must be charged.

graph 2: Initial cost price

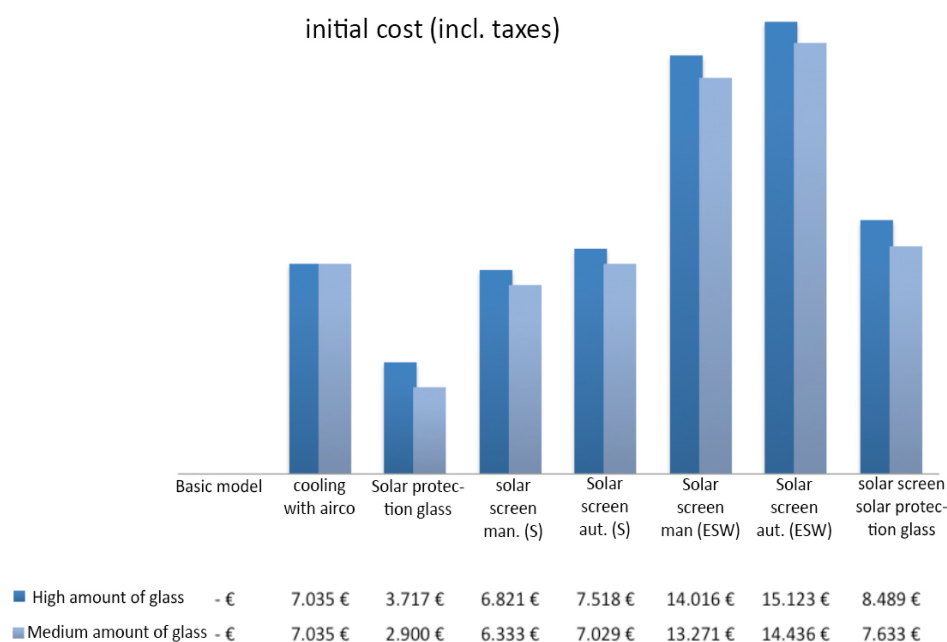


Table 6: Calculation of the energy costs

Amount of glass	Technique to prevent overheating	Energy for heating (kWh)	Energy for cooling (kWh electricity)	Consumption condensing boiler(kWh)	Consumption heat pump (kWh electricity)	Energy costs	Energy costs for preventing Overheating
High	Basis model (no cooling)	3760,00	0,00	4131,87	0,00	204,94 €	0,00 €
	Airconditioning	3735,50	1977,00	4104,95	878,67	344,19 €	139,25 €
	Solar protection glass OZW	5800,15	0,00	6373,79	0,00	316,14 €	111,20 €
	Solar screens	3764,79	0,00	4137,14	0,00	205,20 €	± 0,00 €
	Comb. solar screens/solar protection glass	4138,00	0,00	4547,25	0,00	225,54 €	20,60 €
Medium	Basis model (no cooling)	3982,50	0,00	4376,37	0,00	217,07 €	0,00 €
	Airconditioning	3956,00	1116,00	4347,25	496,00	294,98 €	77,91 €
	Solar protection glass OZW	5910,50	0,00	6495,05	0,00	322,15 €	105,08 €
	Solar screens	3970,00	0,00	4362,64	0,00	216,39 €	± 0,00 €
	Comb. solar screen/solar protection glass	4323,00	0,00	4750,55	0,00	235,63 €	18,56 €

Standard double glazing : € 122,10/m²

Solar control glazing: € 181,70/m² [12]

What results in an additional cost of: € 59,6/ m²

The house with a high amount of glass has a total glazed area of 49,3 m² the in east, south and west facade which leads to an additional cost of € 2,938.28. The home with a lower amount of glass has an additional cost of € 2,292.31. (excl. VAT)

All prices are shown on graph 2. We can conclude that solar control glass is the cheapest option. Solar screens on the East, South and West facade are by far the most expensive option to limit overheating. The cost difference between manually or automatically controlled screens is small because the control price is only a fraction of the total cost.

4.2.2 Cash outflow for energy demand

A building will have different energy costs for heating and cooling depending on the used cooling or shading technique. e.g.: Solar control glass will reduce the cooling demand in the summer heavily but there will be a huge demand for energy in the summer caused by the smaller solar gains.

In order to establish an economic comparison, the different energy demands need to be identified. These total energy consumptions were calculated by Energy Plus and are shown in Table 6.

The energy consumption off the two user profiles was almost completely the same. Hence, the average of both profiles is shown in Table 6.

Because the energy demands are all the same on all the different configurations of solar control screens it is only mentioned once in the table.

To express the energy quantities in monetary terms, the rate of both gas (a condensing boiler is used for heating) and electricity (a heat pump is used for cooling) should be known parameters. The cheapest gas bill results in € 0,0496/ kWh incl. VAT The cheapest price for electricity results in € 0.160/kWh incl. VAT. These prices are calculated based on the prices of April 2015. [13]

The annual increase of energy prices of gas or electricity are impossible to predict. Therefore, different scenarios are used. These scenarios will range from -5% decrease to 20% increase a year.

The energy consumptions from Energy Plus were calculated with the usage of an ideal heating and cooling system with an efficiency of 100%. However, as a result, these energy consumptions are not realistic. To avoid possible bias, the calculated consumptions are thus multiplied by an efficiency factor which results in realistic consumptions.

Efficiency of the heat pump: 2,25 [14]

Efficiency of the condensing boiler: 0,91
(Determined in the Flanders EPB³ software)

The difference in energy consumption for artificial light is not taken into account in this study. This is due to the fact that a study was commissioned by the Association of the glass industry in Belgium which demonstrated that the use of solar shading has very little effect on energy demand for artificial light. [4] Also the additional consumption of electric motors from the solar screens has not been selected as a substantial parameter. This consumption was, according to manufacturers and installers, negligible

- Solar screens: 425 euro for replacement of a screen of 4m² after a period of 15 years. Interpolation is used to calculate the total cost.

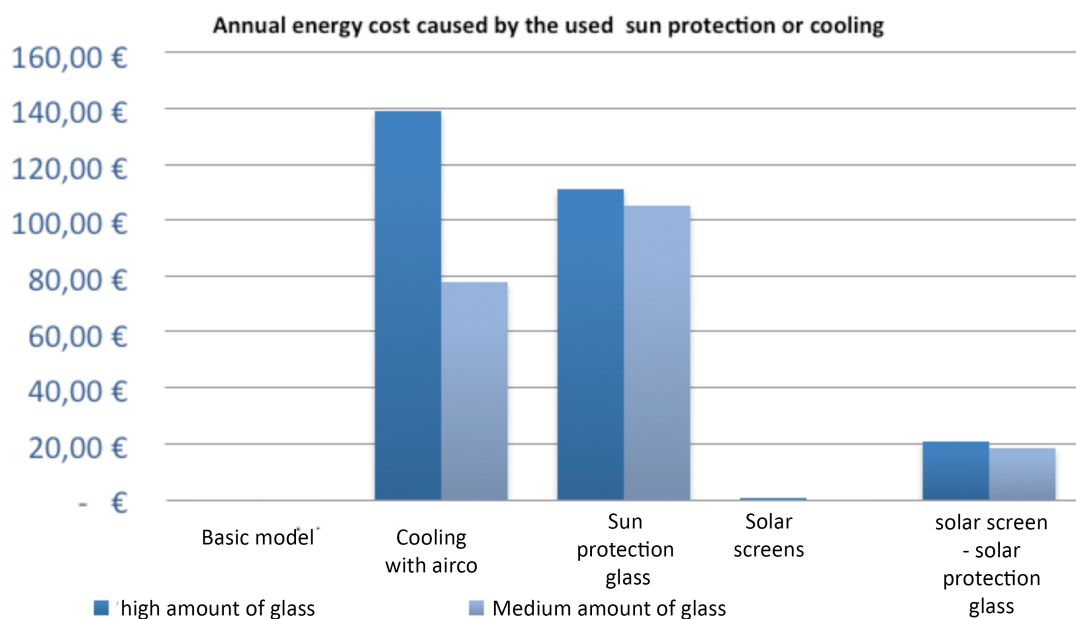
Given this economic comparison is only relying on techniques to cool the house, only the extra energy demand required by the used sun protection or cooling technology must be taken into account. (The cost prices in the last column of Table 6) These values are graphically showed on graph 3.

4.2.3 Cash outflow for maintenance

The following costs are considered for the cash outflow for maintenance. These costs are based on indications of manufactures and suppliers.

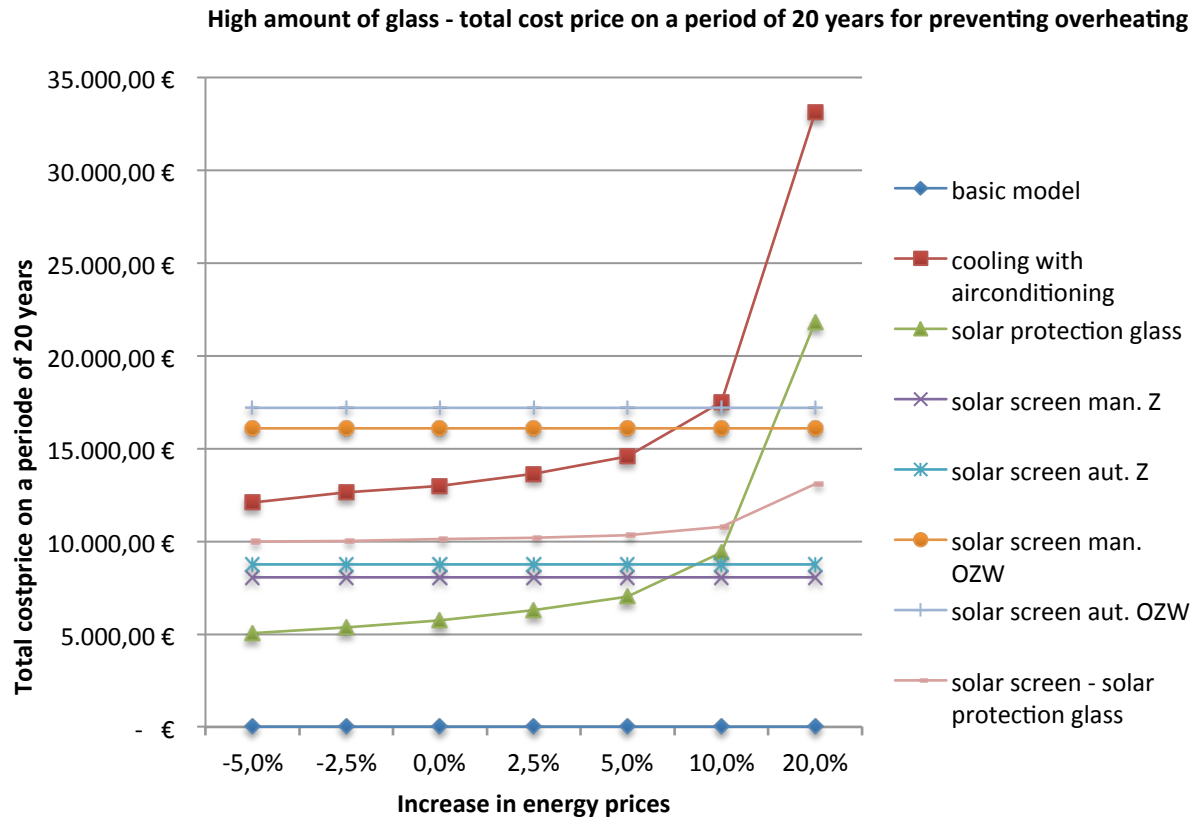
- Air-conditioning: Completely new installation after 13,5 years

graph 3: Annual energy cost caused by the used sun protection or cooling (Incl. VAT)



³ EPB: a semi-stationary simulation program to predict the thermal behavior of buildings in Flanders.

graph 4: Total cost price on a period of 20 years for preventing overheating



4.2.4 Total cost for a period 20 years

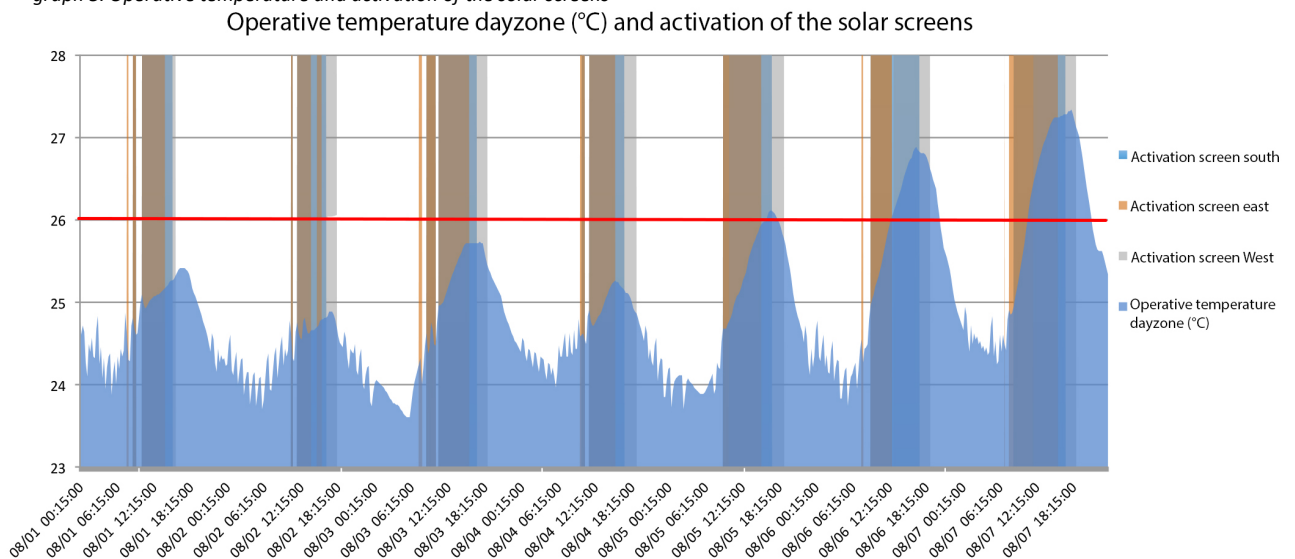
graph 4 shows the total cost of the investigated technologies that reduce overheating in Nearly Zero Energy Buildings with a high amount of glass surface. The total cost is a summation of the initial cost, the cost for maintenance and the total costs for energy. The given total costs are discounted on the basis of the average current interest.

The graph with the average glass surface is similar.

The duration of 20 years is determined by the

economic life of the various investments. Since the life expectancy of most techniques and materials is estimated at 20 years, a period of 20 years has been chosen.

graph 5: Operative temperature and activation of the solar screens



4.3 Thermal comfort

As stated earlier, the economic analysis is not the instrument to make a conclusive. In order to be able to take a correct decision, it is necessary to be able to link any type of solar protection or cooling to a level of comfort.

The determination of this level is executed by determining the number of excess hours. For determining these number of excess hours, it was crucial to use an dynamic program like EnergyPlus. graph 5 shows the operative temperature of a warm week in August, changing with each time step. Also the activation of the solar screens is shown.

The excess hours are calculated by determining the number of hours in which the indoor operative temperature goes above 26 ° C. Only the hours that the residents are present in the house are taken into account. Since each zone has a different number of hours exceeding, the weighted average was taken depending on the respective presence in the zone.

To compare the different models, the excess hours are converted to an annual rate of temperature excess.

4.3.1 Thermal comfort of foresighted user behavior

In previous research the manual activation of solar screens was activated by 3 factors: the presence of the occupants, indoor operative temperature and the incidence of the sun on the respective facades. Especially with this manual operation, less opportune results were simulated as the sun protection screens were always much too late activated due to the absence of the users.

Therefore it is examined how it's possible to

improve the manual control aspect .

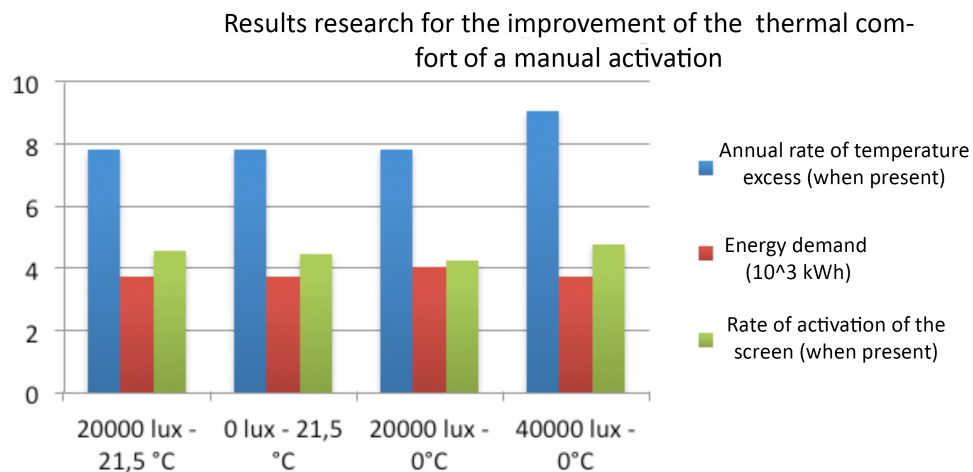
It is assumed that the residents consider whether the screen must be activated during the day or not before they leave the house. This consideration can be based on the indoor temperature at the time of departure and the average incidence of the sun during the hours they are not present in the house. This can be known by looking at the weather forecast.

For the indoor temperature a limit is taken of 21.5 ° C, as it gives a good indication whether the home is heated or not. (Because the building is heated up to 21°C) The sun incidence is not, as in the previous simulations, based on irradiance but on the horizontal illuminance (lux) because it gives a better approximation of the reality than irradiance.

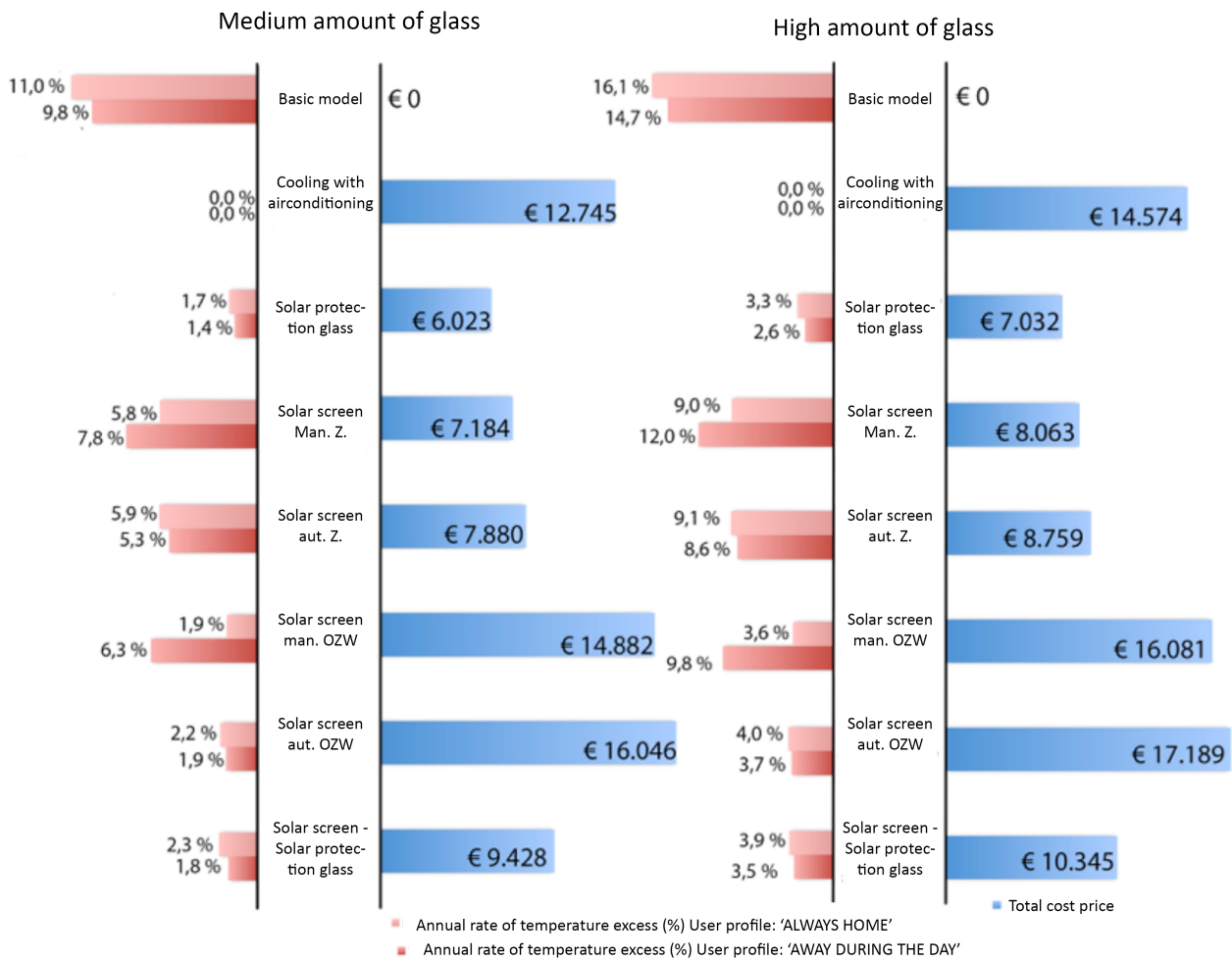
Four simulations were made to determine a good activation. (see graph 6) The graph demonstrates that a consideration for the activation of the solar screens is best done by using the indoor temperature (at moment of departure) or by a combination of the indoor temperature and the incidence of the sun. A consideration, based solely on the incident of the sun, will demand extra energy in winter (20.000 lux) or will result in a lower level of comfort (40.000 lux).

By simulating such user behavior, the amount of excess hours can be reduced by 35% compared to a user behavior in which the sun protection is only activated when the inhabitants are at home. This strong decrease shows that a sun protection screen can only be used efficiently when it is activated timely.

graph 6: Results research for the improvement of manual activations



graph 7: Financial costs and thermal comfort



4.4 Financial costs – Thermal comfort

The graph above (graph 7) gives a summary of the results of this study. For the determination of the costs an annual increase of energy price of 5% was used by considering graph 4.

5 Conclusion

By evaluating several common techniques used to prevent overheating in the field of thermal comfort and economic costs (purchase, maintenance costs and energy costs) it can be concluded that non of the investigated techniques should be excluded.

Solar screens have a higher total cost, but they are the most environmentally responsible choice since this technique asks no additional energy to prevent overheating. Products that use less energy will only become more competitive in the future.

Solar control glazing has excellent results in the field of thermal comfort and has, despite a smaller heat entry in the winter, a relatively small total cost.

Although the static character demands a greater heat demand, it has no significant economic effect since the nearly zero energy buildings are well insulated enough.

Caused by the relatively high purchase cost and the high maintenance cost, the use of **air-conditioning** is not the cheapest option to prevent overheating. But it can guarantee the highest level of thermal comfort in the summer period. The additional energy demand for cooling in the summer season can be compared to the extra heat demand with the use of solar protection glass.

Acknowledgments

I would to thank my promoter ir. Stijn Verbeke for the help and guidance trough this study.

I would also want to thank docent L. Vaningelgem for the help in the economic part.

References

- [1] ES-SO vzw. 2005. "ESCORP-EU25." *Energy*.
http://www.es-so.com/images/downloads/ESCORP-EU25_volledig.pdf.
- [2] Bureau voor normalisatie. 2007. "NBN EN 15251." *Belgische Norm*.
- [3] Crawley, Drury B, Jon W Hand, Michael Kummert, and Brent T Griffith. 2006. "Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs." *Building and Environment* 43 (4): 6–7.
doi:10.1016/j.buildenv.2006.10.027.
- [4] Verbond van de glasindustrie vzw. 2014a. "Een Glasheldere Kijk Op Kwaliteitsvolle Bijna-Energieneutrale Woningen." Brussel.
<http://www.vgi-fiv.be/wp-content/uploads/2014/10/Een-glasheldere-kijk-op-kwaliteitsvolle-BEN-woningen.pdf>.
- [5] Van den Bossche, Lisa, and Tom Verbeke. 2011. "Een Economische Vergelijking Tussen Een Nieuwbouw Passiefhuis En Een Epb-Gestandaardiseerde Nieuwbouwwoning." University of Ghent.
- [6] ES-SO vzw. 2005. "ESCORP-EU25." *Energy*.
http://www.es-so.com/images/downloads/ESCORP-EU25_volledig.pdf.
- [7] Verbond van de glasindustrie vzw. 2014b. "Identificatie Ug-Waarde Zontoetredingsfactor G Lichttransmissie LT Samenstelling." Brussel.
<http://www.vgi-fiv.be/wp-content/uploads/2012/11/Een-glasheldere-kijk-op-de-Belgische-beglazingen-September-2014.pdf>.
- [8] Breemers, Dries. 2013. "Strategieën Voor Beperking Oververhitting in Woningen." Artesis Hogeschool Antwerpen.
- [9] Bureau voor normalisatie. 2007. "NBN EN 15251." *Belgische Norm*.
- [10] Vlaams Energyschap. 2010. "Ventilatie : Handmatige Berekening." <http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/ventilatiehandmatigeberekening.pdf>.
- [11] Cobbaert, Bart. n.d. "Kwaliteitsverklaring Passiefhuis." http://www.passiefhuisplatform.be/sites/default/files/u7/certificatiecriteria_en_randvoorwaarden/Beoordelingsset_certificatie_presentatie.pdf.
- [12] Livios. 2015b. "Richtprijzen Buitenschrijnwerk." <http://www.livios.be/nl/ruwbouw/ramen-en-deuren/richtprijzen-buitenschrijnwerk/>.
- [13] VREG. 2015. "Nettarieven & Heffingen." Accessed April 28.
<http://www.vreg.be/nl/energieprijs>.
- [14] Vlaams Energie Agentschap. 2014a. "Bijlage V Energiebesluit: Bepalingsmethode van Het Peil van Primair Energieverbruik van Woongebouwen." <http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/BijlageEPW20131129vergunningenN>

Inhoudstafel

Voorwoord	1
Verklaring van afkortingen en symbolen	4
1. Inleiding	5
1.1 Inhoud masterproef	6
2. Literatuuronderzoek	7
2.1 Energieprestatieregelgeving	7
2.1.1 Wetgeving nieuwbouwwoning	7
2.2 De Trias Energetica	9
2.3 Comfortniveau	9
2.3.1 PMV/PPD model	10
2.3.2 Aantal overschrijdingsuren	11
2.4 Straling van de zon	11
2.4.1 Soorten straling	11
2.4.2 Zonnestraling	12
2.4.3 Invloed van de stand van de zon	12
2.4.4 Hoe materiaal beïnvloed wordt door straling	14
2.5 Activering zonwerende screens	14
2.5.1 Illuminantie en irradiantie	15
2.6 Zonwerende screens en zonwerend glas	15
2.7 Casestudy	16
3. Onderzoeksmethodiek	17
3.1 Methodologie	17
3.2 Simulatieprogramma's	17
3.2.1 EnergyPlus	17
3.2.2 Open Legacy Plugin	18
3.3 Input data	18

4. Simulatiemodellen	19
4.1 Ontwerp woning	19
4.2 Scheidingsconstructies	19
4.3 Variabelen	20
4.4 Te onderzoeken configuraties	21
4.5 Input data: Zonwerend glas	22
4.6 Input data: Zonwerend screen	23
4.6.1 Eigenschappen screen	23
4.6.2 Activatie zonwering	23
4.6.3 Vooruitziend gebruikersgedrag	26
4.7 Externe beschaduwing	27
4.8 Instellingen thermostaat	27
4.8.1 Verwarming	27
4.8.2 Koeling	28
4.9 Instellingen ventilatie	28
4.10 Instellingen interne warmtewinsten	29
4.11 Thermische zones	29
5. Analyse van de onderzoeksresultaten	31
5.1 Algemene bespreking	31
5.1.1 Opgevraagde gegevens	31
5.1.2 Algemene bespreking resultaten	31
5.2 Economische vergelijking	34
5.2.1 Initiële investering	34
5.2.2 Kosten-bate analyse	36
5.2.3 Berekening kost op 20 jaar	41
5.2.4 Vergelijking thermisch comfort	45
6. Conclusies en aanbevelingen	49
6.1 Conclusies simulatieonderzoek	49
6.1.2 Vergelijking gemiddeld – hoog glasoppervlakte	49
6.1.3 Vergelijking thuis- of uitwerkend	50

6.1.4	Evaluatie van de toegepaste methode die oververhitting beperken	50
6.1.5	Besluit	52
6.2	Aanbevelingen verder onderzoek	52
Referenties		53
Bijlagen		56
Lijst Figuren		62
Lijst Tabellen		63

Verklaring van afkortingen en symbolen

°C	graden Celsius
g	zonnefactor (%)
h	uur
J	Joule
K	Kelvin
kWh	kiloWattuur (1 kWh = 3,6 MJ)
LT	Lichttransmissie (%)
m	meter
n	nano
U	warmtedoorgangscoefficiënt (W/(m ² K))
W	Watt (1W= 1J/s)
ZTA	zonnefactor (%)
τ	transmissiefactor (%)
ρ	reflectiefactor (%)
α	absorptiefactor (%)
λ	Lambda-waarde (W/(mK))
EPB	EnergiePrestatie en Binnenklimaat
ES-SO	European Solar-Shading Organisation
VEROZO	Belgische beroepsvereniging van rolluiken en - zonweringsproducenten

1. Inleiding

De BEN-woningen zijn met hun lage milieu-impact en hoge energie-efficiëntie ongetwijfeld een grote investering in onze toekomst. Maar vooraleer we in 2021 deze standaard zullen moeten accepteren, moeten we ook voldoende weten over het considerabel aspect 'oververhitting'.

Het concept van duurzaam bouwen speelt in op de hedendaagse politiek en is er in belangrijke mate op gericht om de energiebehoeften ten gevolge van de warmtevraag in het stookseizoen drastisch te reduceren. Deze visie met sterk doorgedreven isolatie, grote luchtdichtheid, super isolerende beglazing met grote zontoetreding,... zorgt voor ideale omstandigheden in het stookseizoen maar zorgt ook voor een nadelige keerzijde in de zomer. De warmte stapelt zich op en zonder ook hier de adequate maatregelen voor te nemen kan het erg oncomfortabel wonen zijn.

De maatregelen die getroffen kunnen worden zijn talrijk. Op residentieel niveau wordt vaak gekozen voor zonwering, al dan niet dynamisch, of actieve koeling. De objectieve evaluatie van enkele courant gebruikte mogelijkheden bij BEN-woningen in Vlaanderen, nl. het gebruik van airconditioning, het gebruik van zonwerende screens, het gebruik van zonwerend glas en een combinatie van deze laatste twee, is het onderwerp van deze masterproef. Deze evaluatie, gebaseerd op twee erg belangrijke pijlers nl. comfort en kostprijs, is uitgevoerd met behulp van het dynamische simulatieprogramma EnergyPlus.

Bovendien zal niet alleen duidelijk worden welke ingrepen tot een comfortabel binnenklimaat en economisch gunstig resultaat zullen leiden, maar ook hoe de eindgebruiker zich het best gedraagt op het gebied van activering van de zonwering om hem het beste comfort te bezorgen.



Afbeelding 1-1: Woning met dynamische zonwerende screens. Bron: (Zonweringen "Ambiance" 2015)

1.1 Inhoud masterproef

In wat volgt, vindt u eerst een literatuurstudie waarbij dieper ingegaan wordt op onderwerpen die in deze studie aan bod komen. Ook zal de huidige problematiek en wetgeving omtrent energie in de woningbouw in detail besproken worden.

Nadien volgt de methodiek van de studie. In dit deel wordt uitgelegd hoe de studie is uitgevoerd, welke computerprogramma's zijn gebruikt, welke gebouwmodellen zijn ingevoerd en hoe de eindresultaten bekomen zijn.

Vervolgens wordt het gebouwmodel in detail besproken. Om toekomstige onderzoekers de nodige informatie te geven voor analyse van de bekomen resultaten uit dit onderzoek, worden alle essentiële gegevens ingevoerd in EnergyPlus, hierbij gestructureerd weergegeven.

Vervolgens worden de resultaten uit EnergyPlus gebruikt om een economische vergelijking op te stellen tussen de verschillende zonwerings- of koelingstechnieken en om hun thermisch comfortniveau te bepalen aan de hand van het aantal overschrijdingsuren. Ook wordt er bepaald in welke mate een vooruitziend gebruikersgedrag bij de activering van zonwerende screens, invloed heeft op het thermisch comfort in een woning.

Als laatste volgt de conclusie waarbij elke type individueel geëvalueerd wordt aan de hand van de bekomen resultaten.

2. Literatuuronderzoek

2.1 Energieprestatieregeling

Het milieu, de instandhouding ervan en energievoorziening zijn onderwerpen die van cruciaal belang zijn op ecologisch, economisch en politiek vlak.

De conventionele bronnen voor energievoorziening raken in sneltempo op en bovendien zorgt de verbranding van fossiele brandstoffen voor een toenemende CO₂ uitstoot, wat zorgt voor een sterke toename van het broeikaseffect, stijging van de zeespiegel en grotere kans op natuurrampen. In 1997 is hiertoe het 'Kyotoprotocol' opgericht: Een mondiaal actieprogramma om de uitstoot van broeikasgassen terug te dringen. In België zou zo de uitstoot moeten verminderd zijn tot 7,5% onder het niveau van 1990. (Verbeke 2015)

Doordat in België meer dan 55% van de totale energie wordt geïmporteerd uit onder meer Rusland en de Arabische staten, heeft België een zeer broze afhankelijkheid. Zo worden jaarlijks miljarden euro's overgedragen naar andere landen voor de import van energie. De stijging van de energieprijzen maken gezinnen bovendien sterk afhankelijk waardoor meer en meer gezinnen in energiearmoede terecht kunnen komen. (Verbeke 2015) Hierdoor zullen producten die minder energie verbruiken competitiever worden en bedrijfstakken die hierin slagen zullen meer nieuwe banen kunnen scheppen.

Gebouwen zijn door hun opbouw en exploitatie verantwoordelijk voor 40% van Europa's primaire energiebehoefte en zijn zo, met meer energieverbruik dan de industrie- of transportsector, de grootste energie verbruikende sector. Hierdoor is het besparingspotentieel bij gebouwen dan ook enorm. Dit is de reden waartoe de Richtlijn betreffende de Energieprestatie van Gebouwen (EPBD) is uitgevaardigd door de Europese Commissie. Deze richtlijn is uitgebracht om de lidstaten te stimuleren om wegen en middelen te zoeken om het energieverbruik van gebouwen drastisch te verminderen en om het aandeel hernieuwbare energie te verhogen, en dit met meer dan 20% tegen 2020. (Elsberger and Sutherland 2010) Zo zal elke mogelijke energiebesparing aangespoord moeten worden en zal geen enkele mogelijkheid onbenut gelaten mogen worden om dit doel te bereiken. (ES-SO vzw 2007)

Hedendaags zijn al aanzienlijke energiebesparingen gerealiseerd door grote aandacht te besteden aan de energieprestaties van huizen en kantoren. Zo zorgt het merendeel van het huidige patrimonium in Vlaanderen vandaag nog voor een jaarlijkse energievraag voor ruimteverwarming van meer dan 250 kWh/m² terwijl een BEN-woning een maximale energievraag heeft van 70 kWh/m² (Vlaams EnergieAgentschap 2014b) en een passiefhuis slechts 15 kWh/m². (Christophe Marrecau 2011)

Aangezien architecten houden van transparantie en grote partijen helder glas, worden de grote glasoppervlakten bij deze sterk geïsoleerde woningen de zwakke plekken van een gebouw doordat het risico van buitensporige oververhitting 's zomers duidelijk aanwezig is. Het antwoord hierop is nog te vaak de installatie van dure en energie verbruikende airconditioning apparatuur. De stormachtige toename van luchtkoeling systemen in het patroon van energieverbruik is een bron van grote zorg omdat het vaak een oplossing is voor een probleem dat vermeden of beheersbaar had kunnen – en moeten – zijn door gebruik te maken van een gepast zonweringssysteem. (ES-SO vzw 2007)

2.1.1 Wetgeving nieuwbouwwoning

Zoals hiervoor vermeld, is door druk van onder andere het Kyoto protocol, in 2002 de Europese Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) in werking getreden. Deze Europese richtlijn verplicht de lidstaten om de energieprestatie van de gebouwen te verbeteren. De vier voornaamste richtlijnen van het EPBD zijn:

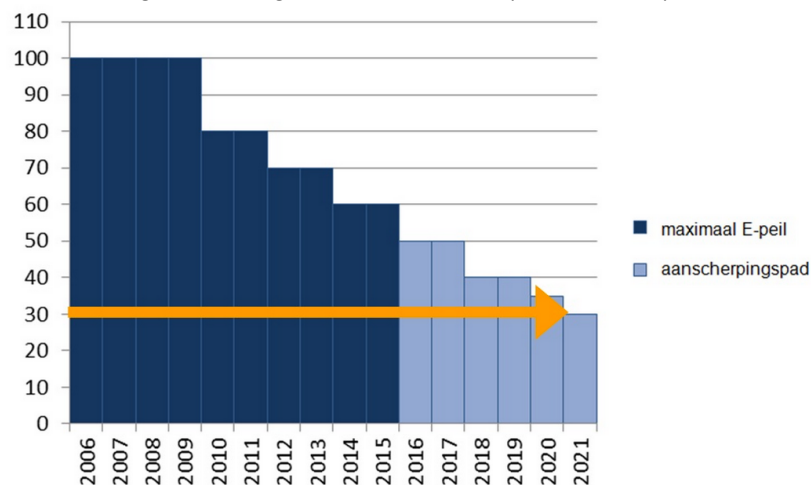
- Elke lidstaat moet een berekeningsmethode hebben om de energieprestatie van gebouwen te bepalen.
- Er moeten regels zijn die eisen stellen aan de energieprestatie van gebouwen.
- Bij de verkoop of verhuur van een gebouw moet er steeds een energieprestatiecertificaat opgesteld worden.
- Er moet een regulering bestaan voor de inspectie van airconditioning en boilers. (Anderson 2006)

Door deze richtlijnen is er hierdoor in Vlaanderen een regelgeving ontstaan die eisen stelt bij de bouw van nieuwbouwwoningen.

Bouwaanvragen die vanaf 1 januari 2015 zijn binnen gediend moeten aan volgende eisen voldoen:

- Thermische isolatie → K-peil: Maximaal K40
- Energieprestatie → E-peil: Maximaal E60
- Netto-Energiebehoefte → Maximaal 100 -25c of 70 kWh/m² (Waarbij c = compactheid)
- Minimale ventilatievoorziening
- Beperking van risico op oververhitting
- Minimum aandeel aan hernieuwbare energie (Vlaams EnergieAgentschap 2015a)

Tot 2021 wordt het verplichte E-peil stapsgewijs aangescherpt: E50 in 2016, E40 in 2018 en E35 in 2020. (Zie Afbeelding 2-1) Vanaf 2021 moet elke nieuwe woning minstens aan de BEN-eisen voldoen (Zie Afbeelding 2-2). Dat betekent dat bouwaanvragen of meldingen vanaf 2021 het E30-peil moeten respecteren.



Afbeelding 2-1: Verstrenging pad EPB wetgeving. Bron: (Vlaams EnergieAgentschap 2015b)

Om te garanderen dat de vooropgestelde eisen haalbaar en betaalbaar blijven, wordt om de twee jaar een nieuwe studie gemaakt over de optimale E-peilen. Indien nodig wordt dit vooropgestelde pad bijgestuurd. (Vlaams EnergieAgentschap 2015b)



Afbeelding 2-2: Eisen BEN-woning. Bron: (Vlaams EnergieAgentschap 2014b)

Eén van de eisen hierboven vermeld is: Beperken van het risico op oververhitting. Zo moet de oververhittingsindicator steeds onder een maximaal toegelaten waarde blijven. Bij dossiers met vergunningsaanvragen vanaf 1 januari 2014 bedraagt de maximaal toegelaten waarde 6500 Kh. Deze waarde wordt berekend door een EPB-verslaggever die hiervoor een simulatieprogramma gebruikt, nl. EPB. Voor een zo laag mogelijk E-peil is het steeds interessant om het oververhittingsrisico zo veel mogelijk te beperken.

Om het risico op oververhitting te beperken moet er vanaf de ontwerpfase aandacht besteed worden aan:

- De oriëntatie van de vensters
- De zonnetoetredingsfactor van de beglazing
- Effectieve zonwering aan vensters

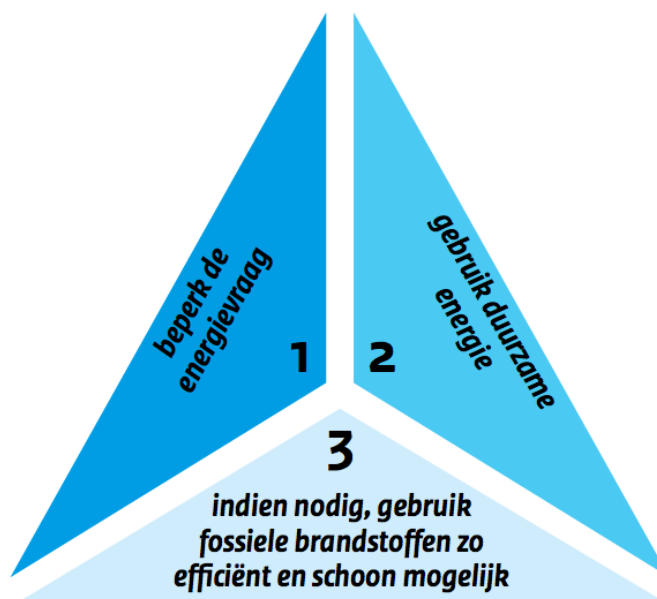
- Externe zonwering door aanpalende gebouwen, bomen, oversteken,...
- Beschaduwing van vensters door luifels
- De relatieve hoeveelheid aan beglazing
- Voldoende ventilatie (Vlaams EnergieAgentschap 2015)

2.2 De Trias Energetica

De Trias Energetica is een driestappenstrategie die moet bijdragen tot een energie-efficiënte aanpak bij het ontwerp van een woning.

De stappen van de Trias Energetica moeten opeenvolgend genomen worden. De eerste stap is gericht op maatregelen die de vraag verminderen. Het gaat dus om passieve maatregelen die geen extra energie vragen zoals de plaatsing van voldoende isolatie, zongerichte verkaveling, ... In tweede instantie moet ervoor gezorgd worden dat zoveel mogelijk energie uit hernieuwbare bronnen komt. Wanneer deze hernieuwbare energie niet de volledige energievraag dekt, moet er in derde instantie efficiënt omgesprongen worden met de fossiele brandstoffen. (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland 2013)

Het gebruik van een dynamische zonwering situeert zich in de eerste stap van de Trias Energetica, het zorgt namelijk voor een lagere energievraag. Zo zal een goede zonwering ervoor zorgen dat de koelingsvraag wordt beperkt. De term 'zonwering' is dan ook een brede term die wordt gebruikt om alle technieken te beschouwen die de toetreding van overmatige zonne-energie in gebouwen beperken.



Afbeelding 2-3: Trias Energetica . Bron: (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland 2013)

2.3 Comfortniveau

Zoals eerder gesteld evalueert deze studie verschillende soorten technieken om oververhitting te beperken, op het vlak van kostprijs en thermisch comfort. Een belangrijke bijvraag in dit onderzoek is dus: *“In welke mate zal de keuze van het type zonwering invloed hebben op het thermische comfort bij een BEN-woning in Vlaanderen?”*

Aangezien de onderzochte woningen voorzien zijn met een warmteafgiftesysteem, wat het comfort in de winterperiode verzekert, wordt in deze studie enkel het thermisch comfort in de zomer onderzocht.

Voor deze onderzoeksvraag is norm NBN EN 15251 geraadpleegd. Deze norm beschrijft de ergonomie van de thermische omgeving. Hierin worden onder meer grenswaarden vastgelegd waarbinnen mensen comfortabel kunnen leven en werken. (Bureau voor normalisatie 2007)

Uit onderzoek is gebleken dat de volgende factoren van invloed zijn op het thermische behaaglijkheidsgevoel van de mens:

- De luchttemperatuur
- De gemiddelde stralingstemperatuur ⁴
- De luchtsnelheid ⁵
- De waterdampdruk
- De thermische weerstand van de kleding
- Het activiteitsniveau
- De relatieve vochtigheid (WVOI, n.d.)

Om het comfort te evalueren over een lange periode (seizoen, jaar) zijn dus verscheidene factoren nodig die opgemeten kunnen worden in echte gebouwen ofwel berekend kunnen worden door dynamische simulatie programma's zoals EnergyPlus.

NBN EN 15251 geeft 3 methoden die gebruikt kunnen worden om het thermisch comfort uit te drukken in cijfers.

Methode 1: Bij deze methode wordt het percentage bepaald van het aantal uren die zich buiten een gespecificeerd thermisch gebied bevinden. Bij deze methode wordt er enkel rekening gehouden met de uren wanneer het gebouw bewoond is. (Zie 2.3.2)

Methode 2: Deze methode werkt volgens hetzelfde principe als methode 1 maar zal een bepaald gewicht geven aan elke overschrijding. Zo zal een grotere overschrijding zwaarder doorwegen dan een kleinere overschrijding.

Methode 3: Voor deze methode wordt het thermisch comfortmodel van Fanger gebruikt, nl. het PMV/PPD model. (Zie 2.3.1) (Bureau voor normalisatie 2007)

2.3.1 PMV/PPD model

PMV (predicted mean vote) is een maat voor de temperatuurbeleving. Het is de gemiddelde score van een grote groep personen op een zeven punten schaal voor temperatuur beleving. (Zie Tabel 2-1)

Tabel 2-1: Zeven punten schaal temperatuurbeleving. Bron: (WVOI, n.d.)e

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

De ideale score is 0 of neutraal. Hierbij is de warmteproductie van het lichaam is gelijk aan warmteverlies. Aangezien een neutrale omgeving niet continu mogelijk is, wordt gestreefd de temperatuur beleving tussen +0.5 en -0.5 te houden. Om het PMV getal te kunnen berekenen moeten lucht- en stralingstemperatuur, luchtsnelheid, dampspanning, inspanningsgraad en kleding gekend zijn.

PPD (predicted percentage dissatisfied) is ook een maat voor comfort. Echter, bij deze parameter wordt geen rekening gehouden met het gemiddelde van de groep, maar met het percentage van de mensen die zich niet comfortabel voelen met het binnenklimaat. Dat zijn de personen die het koud, koel, warm of heet vinden. Wanneer de gemiddelde temperatuurbeleving van een groep neutraal is, bedraagt het percentage ontevreden 5%. Het is namelijk onmogelijk om een thermische omgeving te creëren waarbij iedereen tevreden stemt door individuele biologische verschillen. Wanneer er minder dan 10% van de mensen een thermisch onbehagen ervaart is er sprake van een acceptabel comfortniveau (PMV +0.5 tot -0.5). (WVOI, n.d.)

⁴ Onder de gemiddelde stralingstemperatuur wordt verstaan de gemiddelde oppervlaktetemperatuur van plafond, vloer, wanden, ramen en verwarmingselementen. (Rotte 1992)

⁵ Net als de gemiddelde stralingstemperatuur heeft ook de relatieve luchtsnelheid een grote invloed op de thermische behaaglijkheid. Hoe hoger de luchtsnelheid, hoe hoger de gewenste temperatuur. (Rotte 1992)

Op basis van deze parameters kunnen drie comfortklassen onderscheiden worden:

Tabel 2-2: Comfortklassen. Bron: (Bureau voor normalisatie 2007)

Comfortklasse	PPD %	PMV
A	<6	$-0,2 < PMV < 0,2$
B	<10	$-0,5 < PMV < 0,5$
C	<15	$-0,7 < PMV < 0,7$
D	>15	$-0,7 > PMV \text{ EN/OF } PMV > 0,7$

2.3.2 Aantal overschrijdingsuren

De verschillende gegevens die nodig zijn voor invulling van het comfortmodel van fanger zijn moeilijk te voorspellen. Daarom wordt voor de thermische evaluatie in deze studie methode 1 gebruikt waarbij het aantal overschrijdingsuren bepaald wordt en dit enkel wanneer de inwoners aanwezig zijn in het gebouw.

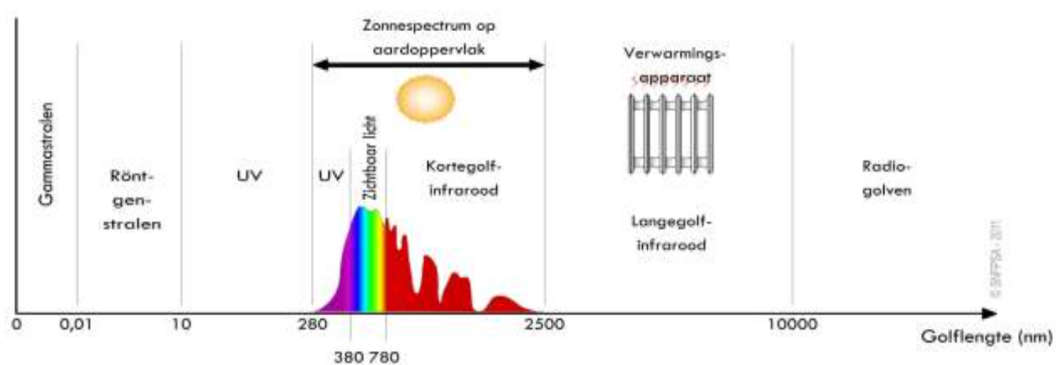
Om te voldoen aan comfortklasse B uit bovenstaande tabel (Tabel 2-2), wordt door NBN_EN 15251 aangewezen om steeds een operationele temperatuur⁶ te behalen tussen 20 en 25°C in de winter en tussen 23 en 26°C in de zomer. (Bureau voor normalisatie 2007) Daarom zal in deze studie het aantal overschrijdingsuren bepaald worden door het aantal uren boven de operationele temperatuur van 26°C.

2.4 Straling van de zon

Dit hoofdstuk behandelt enkele basiselementen van de verschillende soorten straling die een rol spelen bij de prestatie van zonweringsystemen. Ook wordt aangetoond hoe een materiaal zich gedraagt onder invloed van dergelijke straling.

2.4.1 Soorten straling

Gebouwen worden blootgesteld aan diverse soorten straling. Deze kunnen van zowel natuurlijke als kunstmatige oorsprong zijn.



Afbeelding 2-4: Elektromagnetische spectrum. Bron: (ES-SO vzw 2012)

Afbeelding 2-4 is een weergave van het volledige elektromagnetische spectrum. Wat betreft een zonweringsysteem zijn de golflengtes tussen 280 en 10.000 nm belangrijk. Hierbinnen bevindt zich de zonnestraling met een golflengte tussen 280 en 2.500 nm en de lange golf infraroodstraling met een

⁶ Operatieve binnentemperatuur: Het gemiddelde van de luchttemperatuur en de stralingstemperatuur. Deze operationele temperatuur geeft een goede indicatie van de gevoelstemperatuur.

golflengte tussen 2.500 en 10.000 nm. Deze laatste is het gevolg van het temperatuurniveau van een materiaal (zoals een radiator) en is onzichtbaar. (ES-SO vzw 2012)

2.4.2 Zonnestraling

De zon is een ster die op een afstand van ongeveer 150 miljoen km van de aarde staat en produceert een enorme hoeveelheid energie (66 miljoen W/m^2) die via straling naar de aarde wordt geleid. Slechts $\pm 1300 \text{ W/m}^2$ bereikt de atmosfeer. Ongeveer 6% wordt teruggekaatst naar de ruimte en ongeveer 15% van deze straling wordt geabsorbeerd door de atmosfeer en in alle richtingen uitgestraald in de vorm van diffuse straling. Het resterende deel (79%) wordt via de atmosfeer direct naar de aarde geleid.

Zo bedraagt, bij een helder blauwe hemel, de energie die het aardoppervlak bereikt ongeveer 1000 W/m^2 .

Bij een zonweringssysteem kan zo de algehele invallende straling van de zon in drieën onderverdeeld worden.

- Directe straling: Dit is de zonnestraling die niet door de atmosfeer wordt geabsorbeerd of gereflecteerd.
- Diffuse straling: Dit is het deel van de zonnestraling dat door de atmosfeer wordt geabsorbeerd en in alle richtingen wordt uitgestraald.
- Gereflecteerde straling: Deze komt overeen met de reflectie van de directe en diffuse straling op het aardoppervlak.

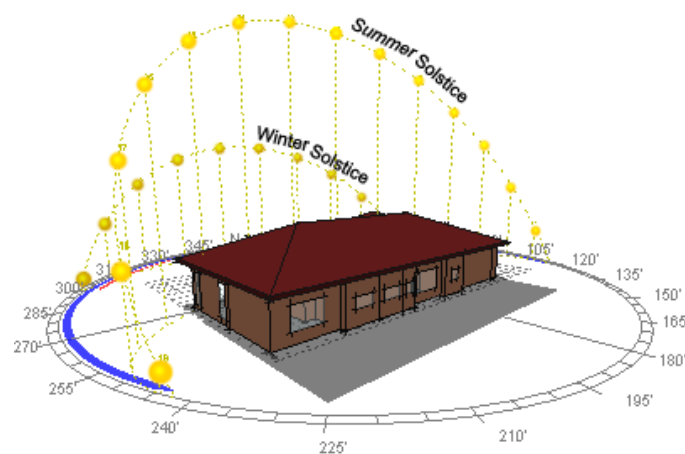
Deze zonnestraling bestaat uit drie hoofdonderdelen die samen het zonnenspectrum vormen:

- Ultraviolet (UV)-straling (250 nm tot 380 nm): Deze stralen zijn onzichtbaar voor het menselijk oog. Deze stralingen kunnen gevaarlijk zijn bij overmatige blootstelling. Ze zorgen voor veroudering van materialen en kunnen kleuren verbleken.
- Zichtbare straling (380 nm (violet) tot 780 nm (rood)): Dit zijn de stralen die worden waargenomen door het menselijk oog. Vormen, reliëf en kleuren kunnen hierbij worden onderscheiden.
- Korte golf infraroodstraling (780 nm tot 2500 nm): Deze stralen worden waargenomen als warmte en zijn onzichtbaar.

De totale 'kracht' van een straling wordt weergegeven door zijn stralingssterkte (in W/m^2). (ES-SO vzw 2012)

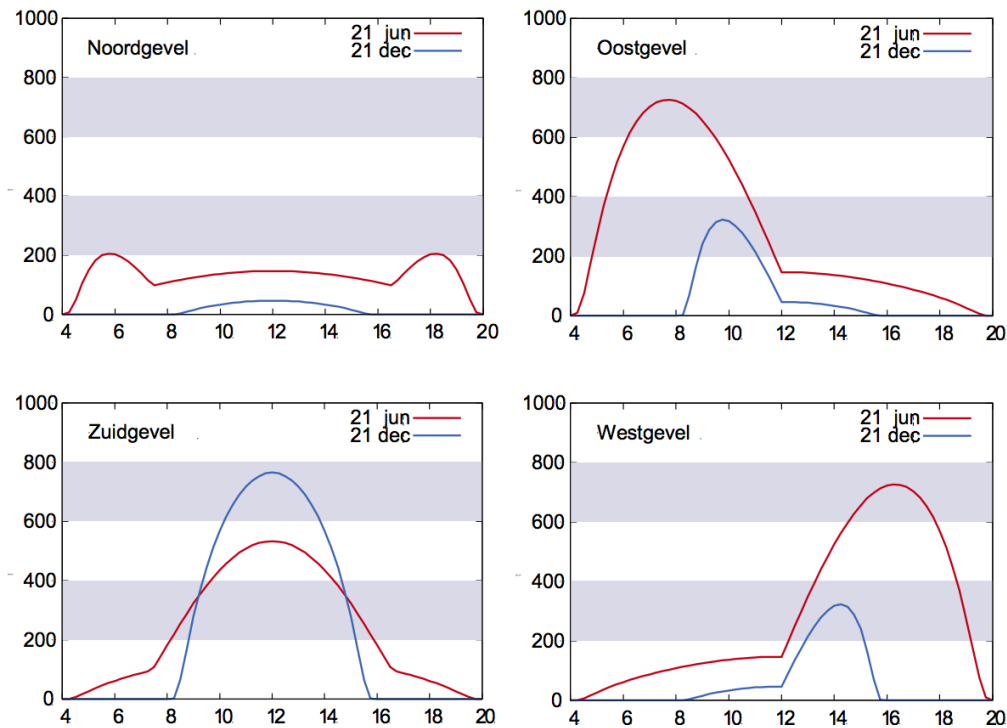
2.4.3 Invloed van de stand van de zon

De sterkte van de zonnestraling op een bepaald vlak is sterk afhankelijk van de stand van de zon aan de hemel. Deze stand varieert over het hele jaar en over 24 uur van een dag. (zie Afbeelding 2-5). Ook de geografische breedte speelt hierbij een rol.



Afbeelding 2-5: Wisselende stand van de zon. Bron: (Ecotect, n.d.)

Bij een woning ontvangt elke gevel een verschillende hoeveelheid aan zonnestraling. Volgende grafieken tonen de zonnewinsten in zomer en winter per oriëntatie. De linkse as geeft de stralingssterkte weer (in W/m^2).



Afbeelding 2-6 Stralingssterkte voor verticaal oppervlak op noorden, oosten, westen en zuiden bij 50° noorderbreedte in W/m^2 . Bron: (ES-SO vzw 2012)

Bovenstaande grafieken (Afbeelding 2-6) zijn berekend bij een blauwe hemel zonder inachtneming van mogelijke omringende gebouwen of andere externe schaduwings. Hierdoor kan het weergegeven niveau op bovenstaande grafiek gezien worden als de maximale zonnestralingssterkte die een verticaal oppervlak kan ontvangen. Deze gegevens gelden voor een geografische breedte van 50° N. Bij andere breedten zullen de gegevens verschillen. In Europa is het algemene patroon echter ongeveer overal hetzelfde.

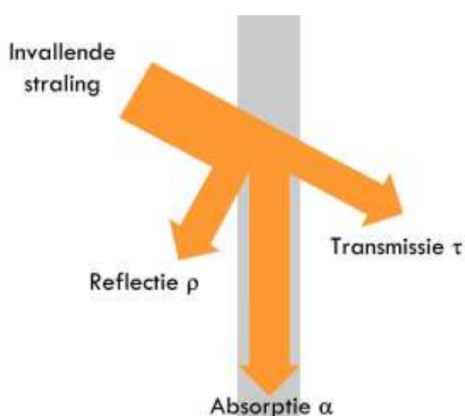
Hieruit blijkt het volgende:

- De gevels georiënteerd naar het noorden krijgen de kleinste hoeveelheid zonnestraling. Enkel aan het begin van de ochtend en laat in de avond in de zomer bereikt een kleine hoeveelheid zonnestraling het verticale oppervlak.
- De gevels georiënteerd naar het zuiden krijgen vrijwel de hele dag door zonnestraling. Het is dan ook van groot belang om het glasoppervlak op deze oriëntatie te maximaliseren voor optimale toetreding van zonnewarmte in het gebouw in de winter en de gevels in de zomer te beschermen ter voorkoming van oververhitting. Vanwege de lage geografische breedte van de zon, blijkt de stralingssterkte hoger te zijn in de winter dan in de zomer.
- De gevels gericht naar het westen en oosten vertonen een symmetrisch patroon. Het oppervlak op het oosten krijgt het grootste deel van de straling in de ochtend, terwijl het oppervlak op het westen het grootste deel van de straling in de avond krijgt. (ES-SO vzw 2012)

2.4.4 Hoe materiaal beïnvloed wordt door straling

Als invallende straling een oppervlak belicht (bv. glas, stof of lamellen) splitst deze zich in drie delen:

- Het deel van de invallende straling die door het materiaal wordt doorgelaten. Dit is dus de verhouding tussen de doorgelaten stralingen en de totale invallende straling. Deze wordt aangegeven met de transmissiefactor τ (%).
- Het deel van de invallende straling dat door het materiaal wordt gereflecteerd. Dit is dus de verhouding tussen de gereflecteerde straling en de totale invallende straling. Deze wordt aangegeven met de reflectiefactor ρ (%).
- Een deel dat wordt geabsorbeerd door het materiaal. Dit wordt aangegeven met de absorptiefactor α . Dit is verhouding tussen de geabsorbeerde straling en de totale invallende straling.
- Hieruit volgt: $\tau + \rho + \alpha = 100\%$.



Transmissie, reflectie en absorptie zijn materiaalspecifieke kenmerken. Deze kunnen sterk afhangen van het soort materiaal, openheid en kleur.

Reflectie en absorptie kunnen ook afhankelijk zijn van de productzijden, bijvoorbeeld in het geval van coatings of kleurverschillen. Twee waarden kunnen dan noodzakelijk zijn: ρ en ρ' .

(ES-SO vzw 2012)

Afbeelding 2-7: Opsplitsing invallende straling.

Bron: (ES-SO vzw 2012)

2.5 Activering zonwerende screens

De activatie van zonwerende screens kan steeds manueel of automatisch gebeuren. De automatische bediening kan uitgevoerd worden via een timer functie of via een zon- en wind sensor.

Bij de activatie door middel van een timer wordt de zonwering aangestuurd via een vooraf ingestelde uurregeling. Bij deze activering wordt dus geen rekening gehouden met het buitenklimaat.

Een betere methode (zoals ook blijkt bij punt 2.7) om de zonwering te laten activeren, is via zon- en windsensors. De zonsensor registreert de illuminantie (lux) en zal bij overschrijding van een door de gebruiker ingestelde waarde de zonwering activeren. De windsensor dient als beveiliging en zal de zonwering optrekken wanneer een bepaalde windsnelheid wordt overschreden. De automatische bediening heeft als voordeel dat de zonwering ook geactiveerd kan worden wanneer de inwoners niet thuis zijn waardoor grote ongewenste warmtewinsten vermeden kunnen worden. (Breemers 2013)

Bij de modellering van de verschillende zonwerende screens en de activatie hiervan was het niet mogelijk om de zonwering te laten activeren afhankelijk van een bepaalde hoeveelheid illuminantie. Voor de modellering van de activatie is daarom steeds de hoeveelheid irradiantie (W/m^2) gebruikt om de zonwering te laten activeren daar deze wel beschikbaar is in EnergyPlus. Het volgend deel van dit literatuuronderzoek is geschreven om beide grootheden, en de link die er bestaat tussen beide, te verklaren.

2.5.1 Illuminantie en irradiantie

Irradiantie (W/m^2) (incidente radiantie, zoals vermeld in EnergyPlus) is de radiometrische flux, per eenheid van oppervlak, ontvangen door een bepaald vlak.

Flux, uitgedrukt in Watt, is de hoeveelheid doorgegeven energie in Joule per seconde. Irradiantie is dus de ontvangen of verzonden hoeveelheid radiometrische energie op een bepaald oppervlak van één vierkante meter.

Met radiometrische energie wordt de energie bedoeld, verkregen door het volledige elektromagnetische spectrum. Deze wordt dus niet beperkt door stralingen van de zon. (Zie *Afbeelding 2-4*) De hoeveelheid van de radiometrische energie kan steeds berekend worden door de radiante flux te integreren waarbij rekening gehouden wordt met de tijd. In andere woorden: Het oppervlak moet berekend worden dat zich bevindt onder de grafiek in *Afbeelding 2-4* waarbij de grenzen zich over het volledig elektromagnetische veld spreiden. (Durinck 2013)

Illuminantie (lux), of verlichtingssterkte, is de zichtbare flux, per eenheid van oppervlak, ontvangen door een bepaald vlak. Illuminantie wordt dus ongeveer op dezelfde manier als irradiantie berekend. Alleen, waar bij irradiantie rekening wordt gehouden met het volledige elektromagnetische spectrum, wordt bij illuminantie enkel rekening gehouden met het zichtbare veld met golflengte tussen 380 en 780 nm. Illuminantie is dus het deel van de irradiantie dat waargenomen wordt door het menselijke oog. Doordat het oog niet elke kleur even sterk waarneemt moet er wel rekening gehouden worden met het vermogen per kleur. Zo is het menselijke oog veel gevoeliger voor rood dan voor groen. (Vangorp and Yksout 2005)(Ryckaert and Hanselaer 2013)

Om te controleren of er ook werkelijk een numeriek verband bestaat tussen deze eenheden zijn de waarde van irradiantie en illuminatie ten opzichte van elkaar vergeleken. De waarde die zijn vergeleken, zijn afkomstig van een Excel bestand met de resultaten van het weerstation uit Ukkel voor een volledig referentiejaar. In deze file is weergegeven wat de horizontale globale illuminantie en irradiantie is met een tijdsverloop van 1 uur. Door beide eenheden ten opzichte van elkaar te plaatsen werd duidelijk dat er een sterke link bestaat. Zo is de verhouding tussen beide eenheden vrij constant waardoor er in het verdere onderzoek gebruik kan worden gemaakt van irradiantie in plaats van het meer praktische (maar niet toegankelijke) illuminantie.

2.6 Zonwerende screens en zonwerend glas

Het belangrijkste verschil tussen zonwerende screens en zonwerend glas is het dynamische van zonwerende screens ten opzichte van het statische karakter van zonwerend glas. Dit maakt het mogelijk om met zonwerende screens in de winter van alle zonnewinsten te profiteren en om de in zomer de overvloedige warmtewinsten te blokkeren. Zonwerend glas zal daarentegen op elk moment van het jaar dezelfde hoeveelheid warmte blokkeren.

In welke mate zonwerend glas de invallende straling tegenhoudt hangt af van de zonnefactor g (vroeger ZTA). Deze waarde drukt de relatie uit tussen de totale energietoetreding en de invallende zonne-energie. De totale invallende energie is de som van de direct doorgelaten zonne-energie en de geabsorbeerde energie die de beglazing weer afstaat aan het interieur.

Een andere belangrijke glaskarakteristiek is de U-waarde of de warmEDOORgangSCOëficient. Deze waarde beschrijft in welke mate een bouw materiaal (of beglazing) de warmte transporteert bij lucht op lucht. De U-waarde geeft de warmtestroomdichtheid bij een temperatuurverschil van 1°C . (Beck 2009)

Door de groeiende aandacht naar zonweringen is er een sterk gediversifieerd marktaanbod ontstaan. Voor de verschillende mogelijkheden die er bestaan, wordt er verwezen naar de masterproef van Dries Breemers. Ook voor extra informatie omtrent beglazing en zonwerende beglazing wordt er naar deze masterproef verwezen. (Breemers 2013)

2.7 Casestudy

Om zicht te hebben op mogelijke resultaten werd een studie bekeken die het gebruik van rolluiken evalueerde. Dit is een studie uitgevoerd door het ingenieursbureau TBC voor de Franse vereniging van producenten van zonneschermen en luiken (SNFPSA). In deze studie is bepaald in welke mate rolluiken het thermisch comfort kunnen verbeteren. Bij deze studie werd de thermische evaluatiemethode gebruikt die het aantal overschrijdingsuren in kaart brengt. Deze is gedefinieerd door een temperatuur hoger dan 27°C.

Tabel 2-3: Resultaten van de evaluatie van verschillende activatiemethoden.

	Parijs	La Rochelle	Nice
Luiken heel de dag open	19,60%	34,60%	39,10%
Tijdklokmodus	-15,50%	-16,70%	-8,70%
Buitentemperatuurmodus	-4,70%	-5,50%	-0,10%
lichtniveau modus	-15,30%	-17,80%	-11,50%

- De modus 'tijdklok': de rolluiken zijn van 8.00 tot 18.00 uur neergelaten.
- De modus 'buitentemperatuur': de rolluiken zijn 50% neergelaten als de buitentemperatuur hoger is dan 23°C en volledig neergelaten als de buitentemperatuur hoger is dan 26°C.
- De modus 'lichtniveau': de rolluiken zijn volledig neergelaten als de invallende lichtsterkte hoger is dan 10.000 lux.

Voor verder onderzoek in deze studie blijkt dat de methode 'lichtniveau' de beste optie is om het percentage discomfort te verlagen. De modus 'tijdklok' levert soortgelijke resultaten, maar bij deze methode was het beschikbare daglichtniveau veel lager, wat als oncomfortabel beschouwd kan worden voor de gebruikers van het gebouw.

3. Onderzoeksmethodiek

3.1 Methodologie

Om het objectief van de onderzoeksvraag te kunnen behalen is er eerst instantie gestreefd om de studie toepasbaar te maken voor een zo groot mogelijke groep van nieuwbouwwoningen in Vlaanderen. Daarom is voor deze studie een gebouwmodel geselecteerd dat volgens statistische gegevens als de gemiddelde woning kan gezien worden. (Zie 4.1: ontwerp woning)

Aangezien elke woning uniek is, zijn vervolgens de belangrijkste variabelen geselecteerd die mogelijks effect kunnen hebben op de evaluatie op gebied van thermisch comfort en kostprijs. De gebruikte variabelen in dit onderzoek zijn de relatieve hoeveelheid glas (gemiddeld en hoog) en het type van bewonersprofiel. Zo is een onderscheid gemaakt in bewonersprofiel tussen inwoners die zich steeds in de woning bevinden en tussen inwoners die tijdens de werkweek overdag uit de woning zijn. (Zie 4.3: Variabelen)

Nadien zijn deze vier modellen in het simulatieprogramma EnergyPlus gesimuleerd om de energetische balans op te stellen. Deze gegevens zijn vervolgens gebruikt om de economische vergelijking op te stellen tussen de verschillende configuraties. Ook is het comfortniveau per koeling/zonwering bepaald om een toekomstige bouwheer de mogelijkheid te geven een evenwichtige keuze te maken. (Zie 5: Analyse van de onderzoeksresultaten).

De economische vergelijkingen zijn gebaseerd op het verdisconteerde totaal van de initiële investeringskosten, de onderhoudskosten en de energiekosten met inbegrip van wisselende energieprijzen. De investeringskosten en kosten naar onderhoud zijn gebaseerd op offertes en op vakkundige adviezen. De vergelijkingen op gebied van thermisch comfort zijn uitgevoerd door het aantal overschrijdingsuren te berekenen in EnergyPlus.

3.2 Simulatieprogramma's

Om de verschillende modellen te kunnen simuleren is een analyse uitgevoerd met EnergyPlus in combinatie met de Openstudio plug-in.

3.2.1 EnergyPlus

EnergyPlus is een simulatieprogramma ontwikkeld in opdracht van het United States Departement of Energy en is gebaseerd op de belangrijkste functies van BLAST en DOE 2.1E. Het is een modulair programma en kan aan de hand van eenvoudige text files berekeningen uitvoeren om de temperaturen en comfortaspecten van gebouwen op te stellen. (Crawley et al. 2006)

EnergyPlus is een dynamisch simulatieprogramma wat het mogelijk maakt om de gebouwprestaties te beoordelen aan de hand van korte tijdsintervallen. De tijdstap van beoordeling kan door de gebruiker zelf worden ingesteld, in deze studie is er gekozen voor een tijdsinterval van telkens 15 minuten.

Deze dynamische simulaties zorgen ervoor dat de invloed van zonwerende screens of wisselende beglazingskarakteristieken nauwkeurig geanalyseerd kunnen worden op de thermische gedragingen van het gebouw. Met gebruik van de wettelijke EPB of de PHPP-passiefhuissoftware kunnen dergelijke ramingen niet gerealiseerd worden aangezien deze semi-stationaire methoden gebaseerd zijn op maandelijkse energiebalansen en niet op korte tijdstappen zoals bij het gebruik van EnergyPlus. Met het gebruik van EPB of PHPP kunnen dus enkel ruwe schattingen gemaakt worden van het werkelijke verbruik of het thermische comfort. (Verbond van de glasindustrie vzw 2014a)

EnergyPlus is bovendien ook in staat om simulaties door te voeren aan de hand van een reëel opgemeten buitenklimaat. Er kan dus rekening gehouden worden met de buitentemperatuur, stand van de zon, bewolking, directe en indirecte straling, etc. van een referentiejaar naar keuze.



Afbeelding 3-1: Logo

EnergyPlus. Bron:

("EnergyPlus," n.d.)

Meer informatie over EnergyPlus:

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm

3.2.1.1 Verschil semi-stationaire – dynamische simulatieprogramma's (EPB – EnergyPlus)

Een belangrijk verschil tussen een semi-stationair programma, zoals EPB, en een dynamisch programma, zoals EnergyPlus, zijn de tijdsintervallen waarover de energiebalansen worden berekend. Bij de stationaire programma's gaat dit over maandelijkse tijdsintervallen terwijl een dynamisch programma de energiebalans bij elke gevraagd tijdsinterval kan berekenen. Ook de technieken die effect hebben op deze energiebalans kunnen dynamisch ingevoerd worden, wat essentieel was om het effect van de verschillende bedieningen bij zonwerende screens te kunnen bepalen.

Bij EPB wordt de woning als één geheel beschouwd en zullen de resultaten op de volledige woning betrekking hebben. Bij EnergyPlus is het mogelijk het gebouw in verschillende volumes op te delen zodat per thermisch volume een apart resultaat kan berekend worden.

Indien het thermische comfort moet bepaald worden is het dus van essentieel belang om een dynamisch programma te gebruiken.

Stationaire simulaties zijn bovendien minder nauwkeurig dan dynamische gebouwsimulaties. Het vraagt veel minder gegevensinput van de gebruiker en de berekeningstijd is beperkt. Dynamische simulaties zijn complexer en vragen de nodige kennis van de gebruiker. Het programma vraagt een grote gegevensinput en geeft tevens ook een grote output aan resultaten. Bij EnergyPlus moeten alle waarden ingevuld worden, bij EPB kan er vaak gekozen worden voor de 'waarde bij ontstentenis' waarbij het programma zelf een waarde definieert.

Er dient wel opgemerkt te worden dat een simulatie uitgevoerd in EnergyPlus een model blijft dat verschilt van de werkelijke situatie. Er zullen steeds verschillen zijn tussen een gesimuleerd zomercomfort en het werkelijke comfort. Zo kan de bezetting, regeling van bepaalde systemen, interne lasten, buitenklimaat,.. steeds verschillen met het gesimuleerde model. Dit ondermijnt geenszins het nut van de simulatie. Dankzij een dynamische simulatie kan men onderbouwde beslissingen nemen alvorens het gebouw er staat alsook tijdens de gebruiksfase. (Cenergie 2009)

3.2.2 Open Legacy Plugin

De Legacy Openstudio Plug-in maakt het mogelijk om op een gebruiksvriendelijke manier het ontwerp van het gebouw in EnergyPlus te programmeren. Het is een Plug-in die werkt met Sketchup: een eenvoudig 3D-programma.

3.3 Input data

Een belangrijk aspect in deze studie was de input van de juiste gegevens in EnergyPlus. Een groot deel van de inputgegevens zijn ingevuld a.d.h.v. voorgestelde waarden uit normen. Een ander deel had ruimte voor interpretatie. Zo is het bijvoorbeeld niet te voorspellen welk type van zonwerend screen of type van ventilatie wordt toegepast. Voor de invulling van deze gegevens zijn in het mate van het mogelijke gemiddelden genomen of werd er de gedachtegang gevolgd van een verstandig bouwheer.

4. Simulatiemodellen

In dit deel wordt uitgebreid besproken hoe de modellen in EnergyPlus tot stand zijn gekomen en welke input data gebruikt zijn.

4.1 Ontwerp woning

In deze thesis is er gestreefd naar een gestandaardiseerd ontwerp, gebaseerd op statistische gegevens en gegevens van officiële instanties, waardoor deze studie op verschillende woningen toepasbaar is. Dit maakt de case ook meer herkenbaar voor de modale lezer en biedt de mogelijkheid aan de Vlaamse particulier deze studie als handleiding te raadplegen bij het bouwen van zijn woning.

De woning is gekozen uit een studie naar de economische haalbaarheid van een passiefwoning en is gebaseerd op volgende statistische gegevens:

“Het aantal bewoners van de woning is gebaseerd op de grootte van een gemiddeld huishouden in Vlaanderen. In 2009 bedroeg de gemiddelde grootte van particuliere huishoudens in België 2,46 personen. Deze gegevens zijn afkomstig van het Centraal bureau van de Statistiek België en zijn gebaseerd op gegevens uit het rijksregister. Aangezien het grootste percentage van gezinnen uit drie personen is samengesteld uit een echtpaar met 1 kind, is in deze studie gewerkt met een huishouden bestaande uit een echtpaar met 1 kind.

Uit de Vlaamse Woonsurvey 2005 blijkt dat 79,8% van de 5214 ondervraagden woont in een eengezinswoning, 18,9% in een appartement en het overige percentage in een studio, loft, kamer of andere. De survey vertelt ook dat woningen met twee verdiepingen het meest voorkomen in Vlaanderen (57,3% van de woningen).

De totale oppervlakte van de gelijkvloerse verdieping in een Vlaamse eengezinswoning blijkt gemiddeld 108m² te bedragen. De Vlaamse eengezinswoning telt gemiddeld 2,9 slaapkamers.

Uit de Uitwendige Woningschouwing 2005 en de 6584 onderzochte eengezinswoningen, blijkt dat 42,0% van de eengezinswoningen een open bebouwing is, 25,9% een halfopen bebouwing en 32,0 % een gesloten bebouwing.” (Van den Bossche and Verbeke 2011)

Zo is een eengezinswoning met 3 inwoners gemodelleerd waarbij de oppervlakte van de gelijkvloerse en eerste verdieping $\pm 108\text{m}^2$ bedraagt. De woning bevat 3 slaapkamers en is een open bebouwing. De woning wordt gemodelleerd in een gemiddeld Belgisch klimaatjaar. (Referentie: meteo Ukkel, zonder dagen van overmatige hitte of koude). In bijlage bevinden zich de plannen van de woning. (Zie bijlage 1: Grondplannen woning)

4.2 Scheidingsconstructies

De scheidingsconstructies zijn zo gekozen, dat het gebouw in zijn geheel voldoet aan de normen voor een BEN-woning.

De buitenmuren bestaan uit gevelsteen, geventileerde spouw, glaswol (20 cm, $\lambda = 0,032 \text{ W/(mK)}$), snelbouwstenen en pleisterwerk.

Het dak is samengesteld uit een laag beton, glaswolisolatie (20 cm, $\lambda = 0,032 \text{ W/(mK)}$), en een dampwerende laag.

De vloer bestaat uit een laag gewapend beton met daarop chape, cellulair glas, (22 cm, $\lambda = 0,041 \text{ W/(mK)}$), chape en vloerafwerking. (Verbond van de glasindustrie vzw 2014a)

De U-waarde van de muren en vloeren bedraagt $0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Het dak heeft een U-waarde van $0,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Deze waarden voldoen dus ruim aan de eisen gesteld voor BEN-gebouwen in het kader van 2021. (Luc Peeters 2015)

Koudebruggen zijn in deze studie niet in rekening gebracht aangezien de huidige oplossingen met isolatie in glaswol en cellulair glas deze sterk kunnen vermijden. (Verbond van de glasindustrie vzw 2014a)

De vensters zijn in deze studie steeds voorzien van dubbel glas. Het standaard dubbel glas heeft een U-waarde van 1,1. De zonwerende beglazing in deze studie heeft een U-waarde van 1,0. De kaders waarin ze geplaatst zijn hebben een U-waarde van 1,79 W/(m²K).

4.3 Variabelen

Om deze studie meer te kunnen beschouwen als een globaal onderzoek dan een casestudie was het nodig om verschillende modellen te simuleren. Bij dit onderzoek was het dan ook nodig om bij het gebouwmodel de nodige variabele parameters in acht te nemen en om andere parameters te veralgemenen.

Volgens een onderzoek uitgevoerd door ES-SO, nl. de ESCORP studie, zijn volgende parameters van een woning belangrijk voor de bepaling van de energiebesparende capaciteiten van een zonwering.

- **Klimaat:** De plaats waar de woning zich in bevindt heeft invloed op het besparingspotentieel van een zonwering bij een gebouw. Daardoor werd in de ESCORP-studie rekening gehouden met vier verschillende klimaatklassen.
- **De oriëntatie:** Bij halfopen woningen, of bij appartementswoningen zijn niet alle zijden voorzien van evenveel beglazing. Daardoor is het belangrijk in welke oriëntatie ze zijn gericht. Bv. een studio zal veel minder aan een zonwering hebben indien alle raampartijen naar het noorden zijn gericht.
- **Het gebruiksprofiel van de bewoners:** Zo zal een zonwering een verschillende potentiële energiewinst hebben indien de gebruikers continu thuis zijn. Bv. een gezin waarbij één van de ouders thuis blijven) of slechts thuis zijn voor en na hun werkuren.
- **De glaskwaliteit van de vensters in het gebouw.** (ES-SO vzw 2005)

Het procentuele gehalte van glasoppervlak in de zuid-, oost- en westgevel werd niet vermeld in de ESCORP studie. In deze studie zal dit toch als een variabele parameter worden gekozen om deze invloed te kunnen evalueren. De conclusies van deze studie zullen uitwijzen of de ESCORP studie juist was in hun keuze om dit niet als variabele op te nemen.

Aangezien de studie gaat over nieuwbouwwoningen in Vlaanderen is het niet nodig om alle variabelen genoemd in de ESCORP studie, op te nemen.

Zo zal enkel het klimaat van België gesimuleerd worden. Meer precies zullen de klimaatgegevens van Ukkel gebruikt worden voor de verschillende simulaties.

Het gebruikte glas is ook steeds ingegeven als een vaste waarde. Aangezien de thesis gaat over nieuwbouwwoningen is er in dit onderzoek vanuit gegaan dat er rekening wordt gehouden met de regelgeving van de BEN-woningen en dat er glas wordt gebruikt met een U-waarde van 1,1 en een g-waarde van 0,6. In deze studie wordt ook zonwerend glas als passieve koelingstechniek gesimuleerd. Bij deze simulatie zijn de beglazingskarakteristieken uiteraard anders.

Aangezien het ideaal is om de grootste glaspartijen naar het zuiden te richten is de oriëntatie ook een vaste waarde in dit onderzoek. De woningen zullen dus steeds gesimuleerd worden met de grootste glaspartijen gericht naar het zuiden.

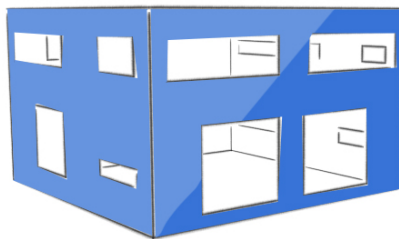
Het procentuele gehalte van het glasoppervlak en de verschillende bewonersprofielen zullen in het verdere onderzoek echter wel in acht genomen worden en zullen dus niet veralgemeend worden. Zo is er in deze studie een sterk beglaasde en een gemiddeld beglaasde woning geëvalueerd waarbij bij elke woning twee verschillende bewonersprofielen zijn toegepast.

De procentuele hoeveelheden van glas ten opzichte van de vloeroppervlaktes zijn gebaseerd op een studie van het verbond van de glasindustrie waarbij de impact van beglazingskarakteristieken werd berekend. (Verbond van de glasindustrie vzw 2014a) De gegevens in volgende tabel (Tabel 4-1) zijn gebaseerd op het procentuele oppervlakte van glas. Het raamkader wordt er dus niet bijgeteld. Ook EnergyPlus voegt het raamkader toe aan de buitenkant van de ingegeven glasoppervlaktes.

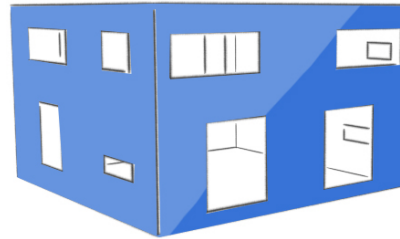
De gebouwmodellen hebben in deze studie volgende glas-muur ratio's:

Tabel 4-1: Glasoppervlaktes van sterke en normaal beglaasde woningen.

Beglaasd oppervlak/Vloeroppervlak	Sterk beglaasd (%)	Gemiddeld beglaasd (%)
Totaal	29,15	22,74
open keuken + leefruimte	34,80	27,14
Leefruimte	21,87	17,06
Open keuken	41,94	32,70
Badkamer	23,90	18,64
Slaapkamer 1 (oriëntatie: zuid)	35,80	27,93
Slaapkamer 2 (oriëntatie: zuid)	35,80	27,93
Slaapkamer 3 (oriëntatie: noord)	28,10	21,9



Afbeelding 4-2: Zuid- en westgevel van sterk beglaasde woning.



Afbeelding 4-1: Zuid- en westgevel van gemiddeld beglaasde woning.

De tweede variabele is het bewonersprofiel. Zo is er in deze studie een onderscheid gemaakt tussen een gezin van twee ouders en één kind, waarbij de ouders elke weekdag van 08:00 tot 16:00 gaan werken, en tussen een gezin met de zelfde gezinssamenstelling maar waarbij de ouders thuis werken. De toepassing van dit onderscheid zorgt er ook voor dat het besparingspotentieel kan bepaald worden voor mensen die thuis de verwarming af kunnen zetten tijdens hun werkuren.

Het schema van de aanwezigheid van de inwoners in de woning bevindt zich in bijlage 2.

4.4 Te onderzoeken configuraties

Zoals eerder gesteld wordt deze studie uitgevoerd om het gebruik van zonwerende screens, zonwerend beglazing en airconditioning met elkaar te vergelijken op gebied van kostprijs en thermisch comfort. Bij het zonwerend glas en de zonwerende screens zal de evaluatie echter nog afhangen van de oriëntatie waarin ze geplaatst zijn. Daarom zijn er verschillende configuraties onderzocht.

Afbeelding 2-6 toont aan dat de noordkant van het gebouw 's winters en 's zomers weinig warmtewinsten van zon ontvangt. De plaatsing van zonwerend glas of zonwerende screens aan de noordkant lijkt hierdoor overbodig.

De zuidkant krijgt doorheen heel het jaar veel warmtewinsten waardoor een dynamisch zonwerend screen hier optimaal gebruikt zou kunnen worden.

De oost- en westkant kennen vooral in de zomerperiode grote warmtewinsten en hebben beperkte warmtewinsten in het stookseizoen. De plaatsing van zonwerende beglazing zou de overtollige warmte in de zomer dus goed tegenhouden zonder in het stookseizoen veel warmtewinsten te verliezen.

Door deze redenering in acht te nemen en door ook rekening te houden met verschillende bedieningen zijn de volgende 6 configuraties met zonwerende screens en zonwerend glas gekozen:

- Gebruik van een manueel bediend dynamisch zonwerend screen
 - aan zuid-, oost- en westkant.
 - enkel aan de zuidkant.
- Gebruik van een automatisch bediend dynamisch zonwerend screen
 - aan zuid-, oost- en westkant.

- enkel aan de zuidkant.
- Gebruik van een statische zonwering door middel van zonwerend glas (aan zuid-, oost- en westkant).
- Een combinatie van de genoemde (Automatisch bediend dynamische zonwerend screen aan zuidkant en zonwerende beglazing een oost- en westkant)

Buiten deze 6 modellen wordt ook nog een model met airconditioning en een model zonder actieve koeling noch zonwering onderzocht.

→ in totaal 8 verschillende modellen die gesimuleerd worden met twee verschillende bewonersprofielen en met twee verschillen glasoppervlaktes.

Ook zal er in deze studie getest worden of er een significant energieverval ontstaat wanneer de inwoners op de hoogte zijn van het weer van de respectievelijke dag. Wanneer de inwoners op de hoogte zijn van het weer kunnen ze namelijk de zonwering aanzetten vooraleer ze naar hun werk vertrekken, ondanks dat het op die moment nog niet warm genoeg is om de zonwering aan te zetten.

Met inbegrip van deze variabelen zullen er in dit onderzoek $8 \times 2 \times 2 + 1 = 33$ verschillende modellen gesimuleerd worden.

Zoals in de opsomming hierboven vermeld, is er ook een vergelijking opgesteld tussen een manuele en automatisch bedienbare zonwerende screens. Hoewel automatische zonweringen meestal enkel worden gebruikt in niet-residentiële gebouwen⁷, zoals scholen en kantoorgebouwen, is in deze studie getest of automatische zonweringen ook hun voordeel kunnen behalen in residentiële woningen.

4.5 Input data: Zonwerend glas

Een beglazing kan niet alleen afgewogen worden op enkel de warmtetransmissie coëfficiënt U. De energetische balans is een combinatie van: de thermische isolatiewaarden, de zonneprestaties (TL: lichttransmissie) en de aanvoer van (gratis) natuurlijk licht (g: zonnefactor).

In België is door het Verbond van de glasindustrie een hoofdgamma opgesteld van verschillende soorten glasconfiguraties die in België worden gefabriceerd en gecommmercialiseerd. Over het algemeen zijn er hierbij drie zonwerende beglazingen. (Verbond van de glasindustrie vzw 2014b)

Tabel 4-2: Glaskarakteristieken zonwerende beglazing.

	U-waarde (W/m ² K)	TL (%)	g (%)
Dubbele zonwerende HR beglazing 1	1	70	40
Dubbele zonwerende HR beglazing 2	1	60	28
Dubbele zonwerende HR beglazing 3	1	40	20

Om het gevolg te kunnen voorspellen van de keuze van een bepaald type van zonwerend glas zijn op één gebouwmodel deze drie verschillende beglazingskarakteristieken toegepast en dit op de oost-, zuid- en westgevel. Het gebruikte gebouwmodel is de woning met gemiddelde beglazing. Het verbruik voor verwarming bedraagt in dezelfde woning met standaard dubbel glas 3995 kWh.

Tabel 4-3: Het gevolg van het type zonwerend glas op vlak van thermisch comfort en verbruik

	Overschrijding van 26°C indien thuis (%)	Stijging energieverbruik verwarming t.o.v. standaard glas (%)	Verbruik verwarming (kWh)
Dubbele zonwerende HR beglazing 1	3,41	34	5357
Dubbele zonwerende HR beglazing 2	1,73	51	6032
Dubbele zonwerende HR beglazing 3	0,61	70	6790

⁷ Stelling gebaseerd op de verkoopcijfers van Boflex vertegenwoordiger: Jef Oorts

Na analyse van bovenstaande resultaten is gekozen om in deze studie steeds de dubbele zonwerende HR beglazing 2 60/28 te gebruiken. Dit zonwerend glas is in het simulatiemodel in de zuid-, oost- en westgevel geplaatst. In de noordgevel is dit niet nodig aangezien hier weinig zonlicht op valt.⁸

4.6 Input data: Zonwerend screen

4.6.1 Eigenschappen screen

In het simulatieonderzoek is steeds gebruik gemaakt van hetzelfde type screen. Hierdoor kan er een juiste vergelijking worden gemaakt tussen de verschillende simulatieanalyses. Om een representatief resultaat te bekomen is er gekozen voor een type screen dat frequent wordt gebruikt in de woningbouw. Het bijhorende doek, dat in dit onderzoek voornamelijk van belang zal zijn, heeft de naam 'Soltis 86'. De kleur van het doek is grijs en is terug te vinden onder de referentie '86-2046'. (Breemersch 2013)

Tabel 4-4: Gegevens zonwerend screen: SOLTIS 86

Zon-transmissie	21%
Zon-reflectie	43%
Zon-absorptie	36%
Lichttransmissie	14%

4.6.2 Activatie zonwering

Een belangrijk aspect in deze studie zijn de setpoints voor de activering van de zonwerende screens. De activatie hiervan kan via EnergyPlus namelijk op verscheidene manieren gemodelleerd worden. Er is in deze studie gezocht naar een activatie die zowel realistisch in gebruik is en bovendien ook goede resultaten oplevert qua thermisch comfort.

Uit documentatie van een zonnensensor van de fabrikant 'Somfy' is gebleken dat de zonwering bij een automatische sturing wordt geactiveerd vanaf een bepaalde hoeveelheid illuminantie, uitgedrukt in lux. Aangezien EnergyPlus deze illuminantie niet berekent, wordt de irradiantie gebruikt om de zonnensensor na te bootsen. De link die tussen deze beide grootheden, Illuminantie en irradiantie, bestaat wordt nader verklaard bij punt 2.5.1.

Aangezien een zonsensor vrij instelbaar is door de gebruiker zelf is er geen vaste waarde beschikbaar die de hoeveelheid irradiantie weergeeft vanaf wanneer de zonwering geactiveerd zou moeten worden. Voor die reden is er een sensitiviteitsstudie uitgevoerd om realistische instelwaarden te bekomen voor de analyse.

Bij de simulaties van de sensitiviteitsstudie is gekozen om de activatie niet alleen afhankelijk te maken van de irradiantie, maar ook van de binnentemperatuur.

Bij de manueel bedienbare zonwering wordt dit toegepast omdat de inwoners de zonwering pas zullen activeren als ze de temperatuur in de woning als warm bevinden. Hierbij wordt de operationele temperatuur gebruikt aangezien deze het best aansluit bij de gevoelstemperatuur. Bij de simulaties met manuele bediening werd er ook rekening mee gehouden dat de inwoners thuis waren daar het niet mogelijk is om de zonwering te activeren indien er geen inwoners aanwezig zijn.

Bij de automatische bediening is dezelfde redenering gevolgd. Ook hier is de binnentemperatuur van belang bij de activatie van de zonwering. De inwoners kunnen in de winterperiode immers al op voorhand bedenken dat hun woning, ondanks sterkte zoninval, zal moeten verwarmd worden en daarom de zonnewinsten willen benutten. Ze zullen tijdens die dagen dan ook de automatische zonwering uitzetten.

⁸ Tabel 4-3 maakt duidelijk dat een kleinere zontoetreding g, snel resulteert in een veel grotere energievraag. Het is dus belangrijk om een doordachte keuze te maken bij de aankoop van zonwerende beglazing. Zo is het inefficiënt om bij een woning met kleine glasoppervlaktes een zonwerende beglazing met een erg lage zontoetredingsfactor te kiezen.

Bovendien is het perfect mogelijk om een zonwering zo te programmeren dat deze afhankelijk is van de zon inval én binnentemperatuur. Voor deze bediening wordt dan ook de binnen luchttemperatuur gebruikt aangezien deze eenvoudiger op te meten is dan de operationele temperatuur.

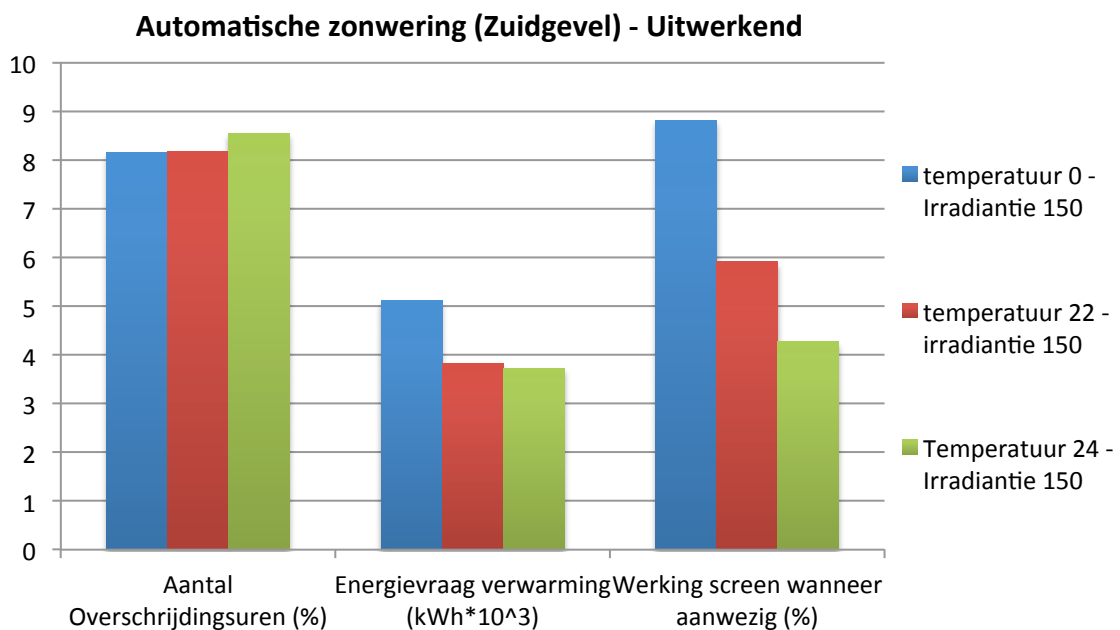
4.6.2.1 Sensitiviteitsstudie

Bij deze studie zijn verschillende instelwaarden voor de activatie van de zonweringen onderzocht bij drie modellen. Bij het eerste model, nl. de woning met automatische zonwering op het zuiden waarbij de inwoners thuiswerkend zijn, is het onderzoek het sterkste uitgewerkt. De andere twee modellen zijn gesimuleerd om te zien of de conclusies gemaakt op dit eerste model, doorgetrokken kunnen worden naar alle andere modellen.

De modellen zijn steeds geëvalueerd op

- Het aantal overschrijdingsuren (%): Dit is het percentage van tijd wanneer de operationele temperatuur meer dan 26°C is. Hierbij wordt enkel rekening gehouden met de tijd dat de inwoners aanwezig zijn in de woning.
- De energievraag voor verwarming.
- De werking van het screen: Dit is het percentage van tijd wanneer het screen in werking is. Hierbij wordt enkel rekening gehouden met de tijd dat de inwoners aanwezig zijn in de woning.

De eerste grafiek (Grafiek 4-1) toont de resultaten van de wisselende instelwaarde van de binnentemperatuur (bij een vaste irradiancie). De tweede grafiek (Grafiek 4-2) toont het effect van verschillende instelwaarde van de irradiancie (bij een vaste binnentemperatuur). De derde grafiek (Grafiek 4-3) toont de resultaten van een sturing die enkel afhankelijk is van de binnentemperatuur.



Grafiek 4-1: Sensitiviteitsstudie 1: Wisselende binnentemperatuur

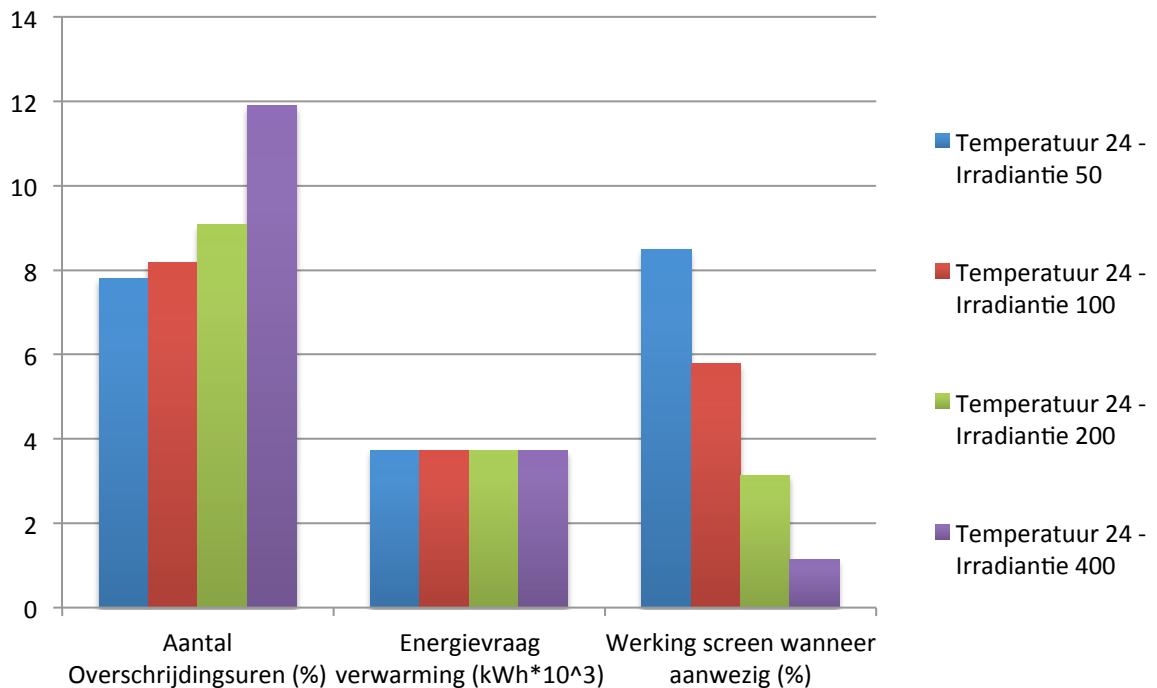
In bovenstaande grafiek (Grafiek 4-1) wordt de zonwering geactiveerd vanaf een irradiancie (zon inval) van 150 W/m² en vanaf een bepaalde temperatuur, gaande van 0 tot 24°C.

Bij een temperatuur van 0°C gaat het screen ook tijdens het stookseizoen omlaag waardoor de energievraag voor verwarming stijgt. Wanneer de activering echter pas in werking schiet vanaf 22°C, wordt het screen niet meer onnodig naar beneden gelaten tijdens het stookseizoen.

Hoewel de zonwering, geactiveerd vanaf 22°C een lager aantal overschrijdingsuren heeft, wordt voor het verdere verloop in deze studie gekozen voor de instelwaarde van 24°C aangezien deze een veel lagere werking heeft van het screen tijdens periodes dat de inwoners aanwezig zijn. Een grote werking van het

screen zorgt namelijk voor een vermindering voor de toetreding van natuurlijk licht en beperkt het zicht naar buiten.

Automatische zonwering (Zuidgevel) - uitwerkend



Grafiek 4-2: Sensitiviteitsstudie 2: Wisselende irradiantie

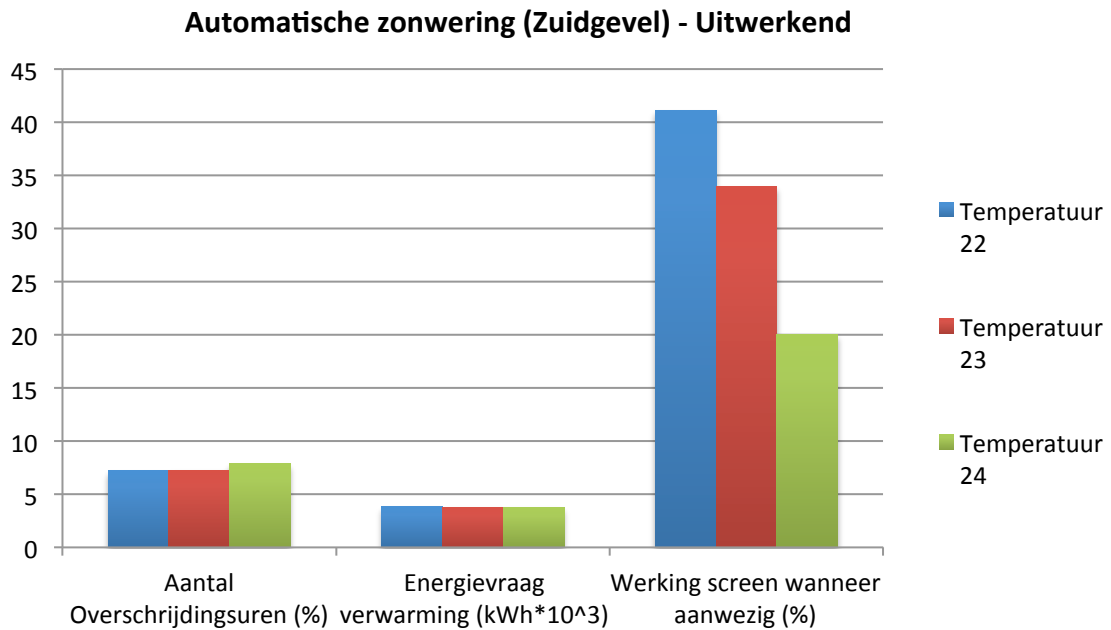
In bovenstaande grafiek (Grafiek 4-2) wordt de zonwering geactiveerd vanaf een binnentemperatuur van 24°C en vanaf een bepaalde irradiantie (zon inval), gaande van 50 tot 400 W/m².

Aangezien de zonwering pas wordt geactiveerd vanaf 24°C wordt de zonwering niet onnodig gebruikt in het stookseizoen waardoor het energieverbruik volledig gelijklopend is over de verschillende activeringen.

Op bovenstaande grafiek is het ook duidelijk dat een hogere irradiantie resulteert in een hoger aantal overschrijdingsuren en een lager aantal werkingsuren. Bij zowel 100, als 200 W/m² irradiantie is er een goed evenwicht te vinden tussen het aantal overschrijdingsuren en het aantal werkingsuren van het screen. Voor het verdere verloop in deze studie is daarom gekozen voor een irradiantie van 150 W/m².

Een zonwerend screen zou ook bediend kunnen worden a.d.h.v. de binnentemperatuur. Op volgende grafiek (Grafiek 4-3) wordt de zonwering geactiveerd vanaf een bepaalde binnentemperatuur.

Bij deze grafiek valt het snel op dat deze manier om het screen te bedienen geen ideale methode is. Hoewel het aantal overschrijdingsuren goed is, is het screen zeer veel naar beneden, wat zorgt voor een minderwaardig visueel comfort. Bij deze methode werkt het screen dus zeer inefficiënt.



Grafiek 4-3: Sensitiviteitsstudie 3: Enkel onder invloed van wisselende temperatuur

Om zeker te zijn dat de instelwaarden, bekomen uit deze simulaties, bij alle andere modellen ook voor goede resultaten zorgen, zijn er nog twee andere modellen met verschillende instelwaarden voor temperatuur en irradiantie gesimuleerd. Hieruit kon geconcludeerd worden dat de instelwaarde van 150 W/m² voor irradiantie en 24°C, over de gehele lijn, een goede instelwaarde is. De resultaten van deze twee andere modellen bevinden zich in bijlage 3.

4.6.3 Vooruitziend gebruikersgedrag

Zoals eerder gesteld, worden in deze studie automatisch bedienbare en manueel bedienbare zonweringen geëvalueerd. Aangezien deze studie ook het effect van een vooruitziend gebruikersgedrag onderzoekt (zie 5.2.4.2: Thermisch comfort vooruitziend gedrag) zijn de manuele bedieningen nog verder opgesplitst in volgende drie bedieningen:

- De zonwering kan enkel aan staan als de mensen aanwezig zijn in de woning en als de setpoints het toelaten.
- De zonwering kan enkel geactiveerd of gedeactiveerd worden indien de mensen aanwezig zijn en als de setpoints het toelaten. Als de inwoners afwezig zijn, en de zonwering staat geactiveerd bij vertrek, dan zal de zonwering gedurende de volledige afwezigheid aan blijven staan.
- De zonwering kan enkel geactiveerd of gedeactiveerd worden als de inwoners aanwezig zijn en als de setpoints het toelaten. Echter, voor het vertrek wordt het weerbericht geconsulteerd of het verstandig is om de zonwering naar beneden te laten of niet.

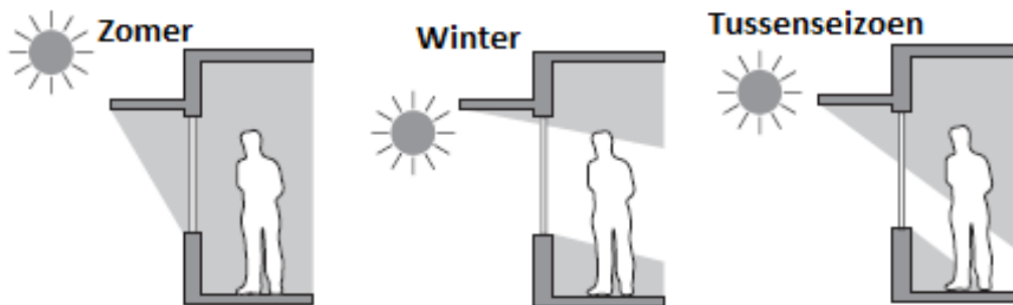
4.7 Externe beschaduwing

Bij de simulaties van de verschillende modellen zijn er geen externe beschaduwingen in rekening gebracht. Dit omdat het effect van externe beschaduwing reeds het onderwerp was van een thesis van vorig jaar en omdat het onderzoek hierover ook dit jaar verderloopt.

Tevens is de voorspelling van de externe beschaduwing zeer onvoorspelbaar en bleek het logischer om deze component te negeren aangezien het effect van externe beschaduwing steeds zeer plaatselijk is, wat zou zorgen voor grote onregelmatigheden in de eindresultaten. Een belangrijke kanttekening is echter wel dat er steeds met gezond verstand gehandeld moet worden bij de overweging van een zonwering. Zo zal een zonwerend screen weinig effect leveren wanneer deze net naast een hoge gevel is geplaatst.

Voor verdere informatie in verband met het effect van externe beschaduwing wordt verwezen naar de thesis van Ellen Jespers: "De evaluatie van externe beschaduwing" (Jespers 2014) en naar de thesis van Zjef Verbert die op moment van schrijven in aanmaak is.

Deze redenering gaat ook op voor de toepassing van architecturale zonwering. Volgende afbeelding (Afbeelding 4-3) toont dat de invloed van architecturale zonwering groot kan zijn.



Afbeelding 4-3: Architecturale zonwering. Bron: (Breemersch 2013)

4.8 Instellingen thermostaat

Om de juiste energievraag te kunnen bepalen is het nodig om de instellingen van de thermostaat te modelleren.

De waarden gekozen voor de thermostaat zijn voorgestelde waarden uit EN 15251:2007. Deze norm adviseert om steeds een temperatuur tussen 20 en 25°C in de winter en een temperatuur tussen de 23 en 26°C in de zomer te behalen om te voldoen aan comfortcategorie B. (Zie Tabel 2-2)

Aangezien deze thesis onder meer onderzoek doet naar slimme bedieningen voor de activatie van zonweringen is het logisch dat andere systemen, zoals de temperatuurregeling, ook voldoende gesofisticeerd zijn. Zo wordt er verondersteld dat er een thermostaat aanwezig is die afzonderlijke verwarmingstijden kan instellen en regelen. Deze programmatie is dan ook mogelijk om te modelleren in EnergyPlus.

4.8.1 Verwarming

Voor de instelling van de thermostaat voor verwarming worden twee bewonersprofielen in beschouwingen genomen.

Bewonersprofiel "uitwerkend": De inwoners zijn overdag afwezig en willen niet dat hun verwarming tijdens deze afwezigheid volledig aanstaat. Wanneer de inwoners aanwezig zijn in de woning wordt er verwarmd tot 21°C, tijdens afwezigheid wordt er verwarmd tot 16°C om condensatie te vermijden. Tijdens het weekend en tijdens feestdagen wordt er overdag steeds gestookt tot 21°C.

Bewonersprofiel "thuiswerkend": De inwoners werken thuis. Overdag wordt dus steeds gestookt tot 21°C.

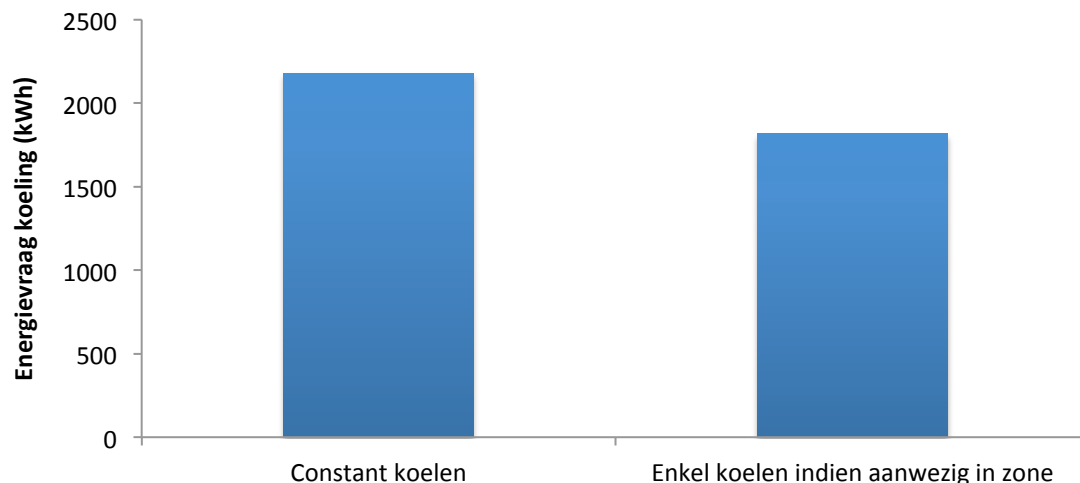
's Nachts wordt er in beide gevallen steeds tot 16°C gestookt.

In deze studie wordt dus ook onderzocht in welke mate een slimme thermostaat economisch voordeel kan opleveren.

4.8.2 Koeling

De activering van de airconditioning is gemodelleerd aan de hand van manuele bediening. Zo zal de koeling aanslaan wanneer de inwoners in de woning zijn en wanneer de operationele binnentemperatuur hoger dan 26°C is.⁹

Deze bediening zorgt er ook voor dat de airconditioning enkel wordt geactiveerd indien de inwoners aanwezig zijn, wat resulteert in een lagere energiekost ten opzichte van een constante koeling. Het voordeel om de koeling niet constant aan te laten staan is verduidelijkt in onderstaande grafiek. Hierbij is de koelingsvraag bepaald van het gebouwmodel voorzien van standaard dubbel glas en airconditioning. De inwoners zijn op weekdays overdag niet thuis.



Grafiek 4-4: Verschil in energievraag tussen constant en selectief koelen

De koelingsvraag wordt bij selectieve koeling verminderd met 16,5%, wat voor hetzelfde comfortniveau beter niet onbenut gelaten wordt.

4.9 Instellingen ventilatie

Voor de ventilatie werd gekozen voor een balansventilatiesysteem met warmteterugwinning en volledige zomerbypass, conform de EPB-regelgeving en de norm NBN D 50-0014 (indien de luchttemperatuur van binnen hoger is dan 24°C, en de luchttemperatuur van binnen hoger is dan die van buiten, wordt de warmteterugwinning automatisch uitgeschakeld). (Verbond van de glasindustrie vzw 2014a) Deze bypass is in EnergyPlus gemodelleerd aan de hand van een EMS¹⁰. Het geschreven programma bevindt zich in bijlage 4.

Voor de juiste ventilatiedebieten werd het document: “Ventilatievoorzieningen voor woongebouwen” van het Vlaamse Energie Agentschap geconsulteerd. Zo moet er volgens de algemene regel 3,6 m³/h.m² geventileerd worden. (Vlaams EnergieAgentschap 2010) Rekening houdend met een rendement van de warmteterugwin unit van 80% (LNE 2012) wordt het standaard ventilatiedebiet in EnergyPlus op 0,72m³/h.m² (=1/5^e van 3,6) geprogrammeerd. Wanneer de bypass in werking treedt en de warmte niet wordt teruggewonnen, wordt het ventilatiedebiet op 3,6m³/h.m² geprogrammeerd. Deze instellingen zijn zo gekozen daar enkel het warmteverlies bij de luchtwisseling van belang is.

⁹ In EnergyPlus wordt de airconditioning reeds vanaf 25,8°C geactiveerd. Dit is zo ingesteld omdat de werkelijke operationele temperatuur licht schommelt rond de ingestelde waarde. Met de instelling van 25,8°C zal de werkelijke temperatuur echter nooit boven de 26°C gaan.

¹⁰ EMS (Energy Management System): Een tool binnen EnergyPlus die toelaat bepaalde ingegeven instellingen te overschrijden m.b.v. eigen geschreven programma's.

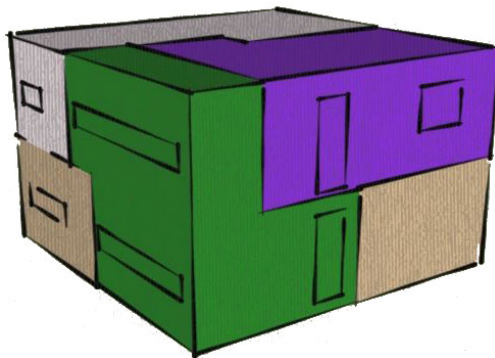
Het openen en sluiten van ramen wordt in dit model niet gemodelleerd. Deze keuze is gemaakt omdat de ventilatie-unit reeds voor voldoende luchtverversing en verfrissing zorgt. Het openen van ramen of deuren is daarom in principe niet nodig.

Omdat de verschillende thermische zones met elkaar in contact staan, wordt er ook rekening gehouden met een luchtuitwisseling van $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ tussen de zones in het gebouwmodel. De luchtdichtheid van het gebouwmodel stemt in dit simulatieonderzoek overeen met een infiltratie van 0,04 keer het bouwvolume per uur. (Breemersch 2013) Deze waarde stemt overeen met n50-waarde¹¹ van 0,6/h, de hoogste waarde die bij passiefhuizen toelaatbaar is. (Cobbaert, n.d.)

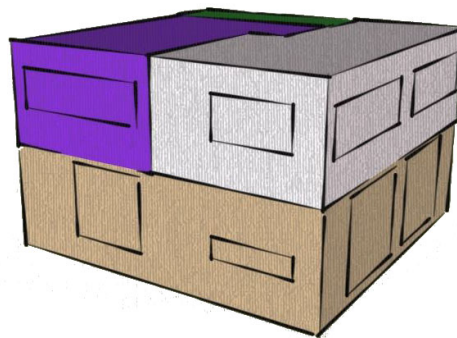
4.10 Instellingen interne warmtewinsten

Voor de bepaling van de interne warmtewinsten, worden de bewoners, lichtapparatuur en andere elektrische apparaten in rekening gebracht. Deze blijven gedurende doorheen het simulatieonderzoek steeds hetzelfde. In beide nachtzones worden enkel de bewoners en het elektrische apparatuur mee opgenomen in de simulatie aangezien de warmtewinsten van de lichtapparaturen hier verwaarloosbaar klein zijn. De lichten in de dagzone hebben een totaal vermogen van 120 Watt, het andere elektrische apparatuur heeft een vermogen van $2,1 \text{ W/m}^2$. (Breemersch 2013)

4.11 Thermische zones



Afbeelding 4-5: Indeling van thermische zones, NO-kant.



Afbeelding 4-4: Indeling van thermische zone, ZW-kant.

Om een simulatie in EnergyPlus te kunnen uitvoeren moeten thermische zones gedefinieerd worden. Een thermische zone is geen geometrisch, maar een thermisch concept. De input-gegevens, zoals de instellingen van de thermostaat, de aanwezigheid van de inwoners, de energiewinsten door kunstlicht,... zijn dus zonespecifiek. Ook de opgevraagde output gegevens zullen steeds per zone gegeven worden. Een zone wordt dus gekenmerkt door een overeenkomend patroon van temperatuur en interne warmtewinsten.

Met dit in acht nemend is één van de eerste stappen bij de simulatie de woning onderverdelen in thermische zones. Om de juiste conclusies te kunnen trekken is de woning ingedeeld in 4 verschillende thermische zones. (Zie Afbeelding 4-4 en Afbeelding 4-5) De verschillende thermische zones zijn: de dagzone (Bruin), de hal (Groen), de nachtzone aan de zuidkant (Wit) en de nachtzone aan de noordkant (Paars).

De onderverdeling is op deze manier gemaakt omdat de bewoners zich ofwel in een nachtzone bevinden ofwel in de dagzone. Op die manier kan bepaald worden wanneer de inwoners wakker of aanwezig zijn en kan bepaald worden wanneer de manuele zonwering zou kunnen bediend worden. Op deze manier is het ook mogelijk om de dagzone een ander thermostaat instelling te geven dan de nachtzone.

¹¹ De n50-waarde is het ventilatievoud per uur doorheen een schil, bij een drukverschil van 50 Pa binnen en buiten de schil. Een n50-waarde van 0,6 per uur betekent bijvoorbeeld dat elk uur een luchthoeveelheid van 0,6 keer het volume van de binnenruimte door de schil gaat. (Passiefhuis platform 2015)

Een onderscheid tussen de nachtzone aan de noordkant en de nachtzone aan de zuidkant is gemaakt aangezien er wordt verwacht dat de slaapkamer aan de zuidkant een groter aantal overschrijdingsuren zal hebben ten opzichte van de slaapkamer aan de noordkant. Indien de noordkant geïntegreerd zou zijn met de zuidkant dan zou er dus mogelijk een onderschatting zijn van het aantal overschrijdingsuren aan de zuidkant.

De hal zone die de inkomhal, de berging en het toilet omvat, wordt ook als een aparte zone ingesteld. Dit omdat deze zone minder verwarming nodig heeft dan de andere zones. In deze studie zal de focus dan ook gelegd worden op de dag en nacht zones.

5. Analyse van de onderzoeksresultaten

Alle simulaties bevinden zich in de digitale bijlage.

5.1 Algemene bespreking

5.1.1 Opgevraagde gegevens

In het simulatieprogramma EnergyPlus is het mogelijk om verschillende resultaten op te vragen. Aangezien deze studie onder meer peilt naar het financiële aspect per type zonwering/koeling werd steeds de nodige energie voor koeling en opwarming opgevraagd. Deze energie kon vervolgens, na vermenigvuldiging met het rendement van het respectievelijke afgiftesysteem, omgezet worden tot een bepaalde jaarlijkse kostprijs voor energie.

Om ook het thermische comfort te kunnen bepalen is steeds de operationele temperatuur opgevraagd per zone. Zo kon steeds het aantal overschrijdingsuren berekend worden. Dit aantal overschrijdingsuren zijn het aantal uren dat de operationele binnentemperatuur groter is dan 26°C. Deze worden enkel in rekening gebracht indien de inwoners aanwezig zijn in de respectievelijke zone.

Aangezien een zonwerend screen zorgt voor een kleinere toetreding van natuurlijk licht en zorgt voor een geringer zicht naar buiten, is het niet ideaal wanneer de zonwering constant naar beneden is. Daarom is ook het aantal werkingsuren van de zonwering opgevraagd als output. Zo kan er bepaald worden hoeveel procent van de tijd de zonwering naar beneden is wanneer de inwoners effectief in de woning zijn.

5.1.2 Algemene bespreking resultaten

Zoals eerder gesteld zijn er in deze studie vier modellen gemodelleerd door twee bewonersprofielen (uit- en thuiswerkend) en twee beglaasde oppervlaktes (gemiddeld en hoog) te beschouwen. Op elk model zijn vervolgens een aantal verschillende zonwerings- en koelingstechnieken toegepast. In Tabel 5-1 t.e.m. Tabel 5-4 bevinden zich de verschillende uitkomsten door de simulaties in EnergyPlus.

Uit de gegevens van deze tabellen kan het volgende geconcludeerd worden:

Het verminderen van het beglazingsoppervlak zorgt voor een grotere energievraag. Dit is het gevolg van de goede isolatiewaarden van de vensters en de toetreding van de zon. De gemiddelde stijging van de warmtevraag bedraagt 5,05% tussen een hoog en een gemiddeld beglaasde woning.

In het onderzoek is er vanuit gegaan dat de inwoners een slimme thermostaat hebben waardoor ze de gevraagde temperatuur kunnen minderen tijdens afwezigheid. Bij de simulaties kan echter geconstateerd worden dat dit weinig effect teweeg brengt naar energievermindering toe. Met een gemiddelde energiedaling van 1,3% ten opzichte van een eenvoudige dag en nacht instelling, kan de instelling hiervan sterk in vraag gesteld worden daar deze instelling zorgt voor een daling in flexibiliteit voor de inwoners.

Alle energieverbruiken voor verwarming zijn per gebouwmodel voor alle configuraties met zonwerende screens quasi hetzelfde. Voor het vervolg van deze studie zal er hierdoor geen rekening gehouden worden met deze verschillen.

De energieverbruiken van de basiswoning en de woningen voorzien met zonwerende screens of airconditioning geven ten opzichten van elkaar een opmerkelijk resultaat. Zo valt op te merken dat de basiswoning, zonder enige vorm van koeling of zonwering, een iets hoger verbruik heeft voor verwarming dan de meeste modellen met zonwerende screens of airconditioning. Dit klinkt in eerste instantie onlogisch aangezien zonwerende screens de toetredende warmte in de woning beperken. Een mogelijke verklaring kan gevonden bij de werking van de Bypass (voor de programmatie hiervan: Zie bijlage 4). De Bypass zal geactiveerd worden van het moment dat de luchttemperatuur van binnen hoger is dan 24°C en wanneer de buitenlucht kouder is dan de binnen lucht. De Bypass fungeert dus in principe als een koeling. Zonwerende screens en airconditioningtoestellen zullen ervoor zorgen dat de binnentemperatuur verlaagt waardoor deze koeling (Bypass) dus minder frequent wordt geactiveerd wat mogelijks kan leiden tot een lagere energievraag in het stookseizoen ten opzichte van een woning zonder zonwering. Wanneer de

programmatie wordt verwijderd uit de modelleringen heeft de basiswoning wel een (iets) kleiner energieverbruik, wat voorgaande redenering bekrachtigd aangezien dit toont dat het aan de programmatie van de Bypass ligt.

Tabel 5-1: Resultaten simulaties - Hoog beglazingsoppervlak & Thuiswerkend.

Gebouwmodel: Hoog beglazingsoppervlak - Thuiswerkend				
	Jaarlijks percentage overschrijdingsuren >26°C (indien thuis) (%)	Activatie zonwerende screens (indien thuis) (%)	Verbruik verwarming (kWh)	Verbruik koeling (kWh)
Zonwering/koeling				
Basis	16,12	0	3782	0
Zonwerend glas (OZW)	3,25	0	5821,7	0
Zonwering aut. (Z)	9,13	9,94	3782	0
Zonwering aut (OZW)	4,04	9,24	3793	0
Airconditionning	0	0	3759	2137
Zonwering man. (Z)	9,03	10,8	3788	0
Zonwering man. (OZW)	3,55	9,98	3799	0
Comb. screen - Zonwerend glas	3,93	8,4	4163	0

Tabel 5-2: Resultaten simulaties - Hoog Beglazingsoppervlak & Uitwerkend.

Gebouwmodel: Hoog beglazingsoppervlak - Uitwerkend				
	Jaarlijks percentage overschrijdingsuren >26°C (indien thuis) (%)	Activatie zonwerende screens (indien thuis) (%)	Verbruik verwarming (kWh)	Verbruik koeling (kWh)
Zonwering/koeling				
Basis	14,72	0	3738	0
Zonwerend glas (OZW)	2,58	0	5778,6	0
Zonwering aut. (Z)	8,55	4,27	3729	0
Zonwering aut (OZW)	3,73	4,04	3736,55	0
Airconditionning	0	0	3712	1817
Zonwering man. (Z)	11,99	4,9	3726	0
Zonwering man. (OZW)	9,75	4,95	3725	0
Comb. Screen - Zonwerend glas	3,5	3,73	4113	0

Tabel 5-3: Resultaten simulaties - Gemiddeld beglazingsoppervlak & Thuiswerkend.

Gebouwmodel: Gemiddeld beglazingsoppervlak - Thuiswerkend				
	Jaarlijks percentage overschrijdingsuren >26°C (indien thuis) (%)	Activatie zonwerende screens (indien thuis) (%)	Verbruik verwarming (kWh)	Verbruik koeling (kWh)
Zonwering/koeling				
Basis	11,04	0	3995	0
Zonwerend glas (OZW)	1,73	0	6032	0
Zonwering aut. (Z)	5,85	8,73	3984	0
Zonwering aut (OZW)	2,24	8,15	3991	0
Airconditionning	0	0	3970	1225
Zonwering man. (Z)	5,81	9,54	3986	0
Zonwering man. (OZW)	1,87	8,72	3993	0
Comb. Screen - Zonwerend glas	2,32	7,31	4324	0

Tabel 5-4: Resultaten simulaties - Gemiddeld beglazingsoppervlak & Uitwerkend.

Gebouwmodel: Gemiddeld beglazingsoppervlak - Uitwerkend				
	Jaarlijks percentage overschrijdingsuren >26°C (indien thuis) (%)	Activatie zonwerende screens (indien thuis) (%)	Verbruik verwarming (kWh)	Verbruik koeling (kWh)
Zonwering/koeling				
Basis	9,81	0	3970	0
Zonwerend glas (OZW)	1,4	0	5789	0
Zonwering aut. (Z)	5,26	3,86	3950	0
Zonwering aut (OZW)	1,91	3,6	3954	0
Airconditionning	0	0	3942	1007
Zonwering man. (Z)	7,81	4,33	3950	0
Zonwering man. (OZW)	6,34	4,32	3952	0
Comb. Screen - Zonwerend glas	1,77	2,96	4322	0

5.2 Economische vergelijking

In wat volgt, wordt bepaald welke financiële kost elke configuratie met zich meebrengt. Hierbij wordt rekening gehouden met de initiële investeringskost, onderhoudskosten en energiekosten.

Het moet echter benadrukt worden dat er enkel uit deze economische vergelijking geen sluitende conclusie getrokken mag worden. Er moet namelijk ook rekening gehouden worden met het bijhorende comfortniveau en energieverbruik.

5.2.1 Initiële investering

5.2.1.1 Bron verkoopprijzen

Bij de berekening van de initiële investering is enkel rekening gehouden met relevante gegevens. Enkel de kosten die verschillen tussen de alternatieven waartussen gekozen dient te worden, zijn verrekend.

Bij de bepaling van de verkoop kostprijzen is er zoveel mogelijk gestreefd om de eenheids- en totaalprijzen direct te bekomen van de fabrikant zelf of bij een verdeler of installateur. Aan deze verdelers of installateurs werd steeds een leverplaats in de buurt gegeven om op die manier de transportkosten tot een minimum te herleiden. Alle offertes werden rond dezelfde periode opgevraagd en zijn gebaseerd op de grootteorde van de gevraagde hoeveelheid aangezien sommige verdelers hun prijzen verminderen bij een grotere hoeveelheid.

Wanneer het opvragen van offertes onmogelijk of onnodig bleek te zijn, zijn de prijzen geraadpleegd op “www.livios.be”. Deze website baseert zich op het lijvige naslagwerk “Aspen Index Pro” maar is een betere bron aangezien dit naslagwerk dateert van 2008 en Livios dit jaarlijks indexeert.

Alle kostprijzen hier gegeven, zijn steeds inclusief laden, levering en lossen. Er is ook steeds vanuit gegaan dat de inwoners geen werk zelf moeten verrichten. Alle prijzen, tenzij anders vermeld, zijn exclusief 21% BTW.

5.2.1.2 Initiële kostprijs: Basiswoning

Dit model, zonder enige koeling of zonwering, wordt gezien als het basismodel en bergt dus geen extra kosten ten opzichte van de andere modellen.

5.2.1.3 Initiële kostprijs: Gebruik van Airconditioning

Voor voldoende koeling te verzekeren, werd het door installateur ‘V-clima’ aangeraden om in de woonkamer en in elke slaapkamer een airconditioning unit te plaatsen. Volgens de website Livios.be bedraagt de kostprijs voor de plaatsing en aankoop per unit (hoog aan de wand geplaatst) € 1.397,00. De totale initiële kostprijs bedraagt zo: € 5.588,00¹² (Livios 2015a)

5.2.1.4 Initiële kostprijs Zonwerend Glas

Bij deze configuratie van zonwerend glas aan de oost-, zuid- en westgevel, moet de meerprijs van zonwerend glas ten opzichte van standaard dubbel glas in rekening gebracht worden.

Thermisch isolerend, HR, 1,1 W/m²K (Standaard dubbel glas): 122,10 euro/m²

Zonwerend isolatieglas 1,1 W/m²K: 181,70 euro/m² (Livios 2015b)

Wat zorgt voor een meerprijs van 59,6 euro/m².

De woning met een hoge hoeveelheid aan glas heeft een totaal glasoppervlak van 49,3 m² op oost-, zuid- en westgevel wat tot een meerprijs resulteert van € 2.938,28. De woning met een lagere hoeveelheid glas heeft een meerprijs van € 2.292,31.

¹² Wanneer gekozen wordt voor een unit met een inverter warmtepomp kan deze zowel voor koeling als voor verwarming zorgen wat, door de kleine meerprijs, de initiële kostprijs voor koeling sterk omlaag kan halen.

5.2.1.5 Initiële kostprijs: Gebruik van zonwerende screens

Voor de bepaling van de initiële kostprijs van de zonwerende screens zijn telkens twee offertes (gemiddeld en hoog beglazingsoppervlak) opgevraagd bij drie verschillende installateurs. De prijzen van de offertes bevinden zich in bijlage 5. Voor de kostprijs werd het gemiddelde van de drie offertes genomen.

In de motoren wordt steeds een draadloze ontvanger voorzien van € 75 per stuk. Op deze manier worden elektriciteitskosten vermeden die zeer slecht voorspelbaar zijn. Bovendien werd deze draadloze ontvanger aangeraden door de installateur omdat er vaak aansluitingsproblemen zijn bij de verbinding met kabels. Ook de kostprijs van de zenders zijn bij volgende prijzen reeds in rekening gebracht. De gebruikte zenders zijn afhankelijk van het type bediening.

1) *Manuele zonwering enkel aan zuidkant*

Voor de bepaling van de kostprijs van de schakelaars is er vanuit gegaan dat elke kamer 1 zender nodig heeft.

De kostprijs van de manuele zonwering voor het model met de grootste glasoppervlakte bedraagt € 5.389,00. Voor het model met de kleinste glasoppervlakte bedraagt de kostprijs € 5.003,00.

2) *Manuele zonwering aan oost-, zuid- en westkant*

Zelfde redenering als hierboven.

Hoog venstergehalte: € 11.027,50.

Gemiddeld venstergehalte: € 10.484,50.

3) *Automatische zonwering, enkel aan zuidkant*

De prijs voor een automatische zonwering is niet veel groter dan een automatische zonwering. De enige extra kostprijs zijn de zonnensensoren en de windsensoren. Hoewel de zonweringen automatisch bedienbaar zijn, is er ook in elke kamer één schakelaar voorzien. (Somfy 2015)

Hoog venstergehalte: € 5.939,00.

Gemiddeld venstergehalte: € 5.553,33.

4) *Automatische zonwering aan oost-, zuid- en westkant*

Zelfde redenering als hierboven

Hoog venstergehalte: € 11.947,50.

Gemiddeld venstergehalte: € 11.404,53.

5.2.1.6 Initiële kostprijs: Combinatie zonwerend screen – zonwerend glas

Deze laatste configuratie bestaat uit een combinatie van een manueel bedienbaar zonwerend screen aan de meest zonnige kant, nl. de zuidkant en zonwerend glas aan de oost- en westgevel.

Voor de woning met het hoge venstergehalte geldt:

De extra kostprijs voor het glas aan de oost- en westgevel bedraagt zoals hiervoor 59,6 euro/m² wat voor 22,18 m² op een meerprijs komt van € 1.321,93.

De kostprijs van de manuele zonwering aan de zuidgevel bedraagt: € 5.389,00.

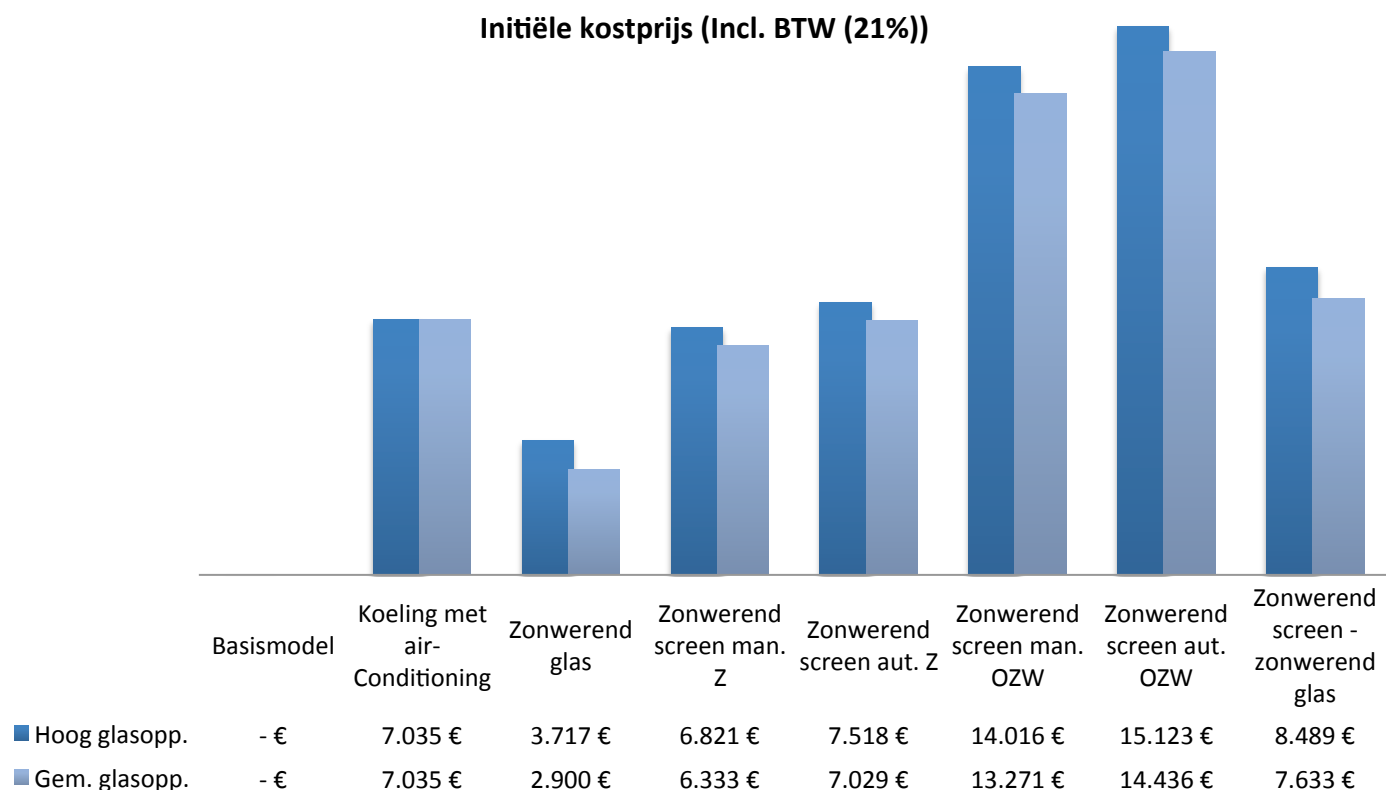
De totaalprijs is dan: € 1.321,93 + € 5.389,00 = € 6.710,93.

Voor de woning met het gemiddelde venstergehalte geldt:

De extra kosten voor het zonwerend glas bedraagt € 1.031,30. De kosten van de zuidelijk screens bedragen € 5.003,00 wat op een totaal komt van € 6.034,31.

5.2.1.7 Samenvattende grafiek

Op onderstaande grafiek worden de verschillende initiële investeringskosten voorgesteld inclusief BTW.



Grafiek 5-1: Samenvattende grafiek van de initiële kostprijs

Uit bovenstaande grafiek (Grafiek 5-1) kan geconcludeerd worden dat zonwerend glas de goedkoopste optie is en dat zonwerende screens op de oost- zuid- en westgevel de duurste optie is om oververhitting te beperken. Het verschil in kostprijs tussen een manueel of automatisch bedienbare zonwering is hierbij klein aangezien de bediening slecht een fractie is van de totaalcost.

5.2.2 Kosten-bate analyse

Aangezien de idee dat een zonwerend screen ten opzichte van een actieve koelingsinstallatie een investering is die pas rendabel is vanaf een bepaalde termijn, volstaat de hiervoor genoemde initiële investeringsanalyse niet om een inzicht te krijgen of de ene configuratie al dan niet economisch gunstiger is dan de andere. Daarom wordt er in deze economische studie ook rekening gehouden met volgende geldstromen:

- Kasuitgaven voor energieverbruik.
- Kasuitgaven voor onderhoud.

5.2.2.1 Kasuitgaven voor energieverbruik

Een woning zal naar gelang de gebruikte koelings- of zonweringstechniek een verschillende energiekost hebben voor verwarming en koeling. Zo zal zonwerend glas de koelvraag in de zomer sterk verlagen maar zal er in de zomer een grote energievraag zijn door de kleinere zontoetreding.

Om een volledige economische vergelijking op te stellen moeten deze verbruiken gekend zijn. Deze energieverbruiken werden berekend door de simulaties in EnergyPlus en staan weergegeven in de Tabel 5-1 tot Tabel 5-4.

1) *Huidige prijs energie*

Om de energetische hoeveelheden om te zetten in geldwaarde, dient het tarief van zowel gas als elektriciteit gekend te zijn. Hierbij is er van uitgegaan dat de eindafnemer van gas en/of elektriciteit in deze studie geen recht heeft op een sociale maximumprijs en dus geen extra voordelen krijgt van de Vlaamse regering bij de levering van elektriciteit en aardgas. Er is besloten om te rekenen met de goedkoopst mogelijke energieprijs aangezien een hogere prijs, in tegenstelling tot de meeste materiële producten, niet voor een hogere kwaliteit zorgt.

Het huidige tarief van gas en elektriciteit werd berekend via de V-Test van VREG, beschikbaar op de website "<http://www.vreg.be/nl/doe-de-v-test-voor-gezinnen>". Deze module berekent de kostprijs van energie per energieleverancier naargelang een bepaald verbruik en woonplaats. Als energieverbruik voor gas en elektriciteit werd het gemiddelde verbruik genomen van de gesimuleerde modellen.

Buiten de energiekost wordt bij deze module ook rekening gehouden met de nettatarieven¹³ en de heffingen¹⁴. Rekening houdend met deze laatste twee, resulteert de goedkoopste gasfactuur in €0,0496/kWh incl. 21% BTW. De goedkoopste prijs voor elektriciteit resulteert in €0,160/kWh incl. BTW. De prijzen zijn berekend op basis van de prijzen van april 2015.(VREG 2015)

2) *Wisselende prijzen energie*

De stijging of daling van energieprijzen van aardgas of elektriciteit zijn onmogelijk te voorspellen. Daarom is in deze studie gewerkt met scenario's. Deze scenario's zullen gaan van -5% daling tot 20 % stijging per jaar.¹⁵ Door analyse van de energiestijging van de voorbije jaren (zie bijlage 6) kan er eerder een stijging dan een daling verwacht worden.

3) *Werkelijk energieverbruik*

De energieverbruiken werden berekend met toepassing van een ideaal warmte- en koelingssysteem met een rendement van 100%. Aangezien deze energieverbruiken hierdoor geen realistische waarden zijn, zijn de uiteindelijke verbruiken vermenigvuldigd met een factor die een realistisch rendement in rekening houdt.

a) *Koeling*

Voor de bepaling van het equivalent energieverbruik voor koeling werd Bijlage V: 'Bepalingsmethode van het peil van primair energieverbruik van woongebouwen' uit het energiebesluit van de Vlaamse regering geconsulteerd. Hierbij wordt een rendement van 2,25 gebruikt om de netto energiebehoefte voor koeling om te zetten tot het werkelijk verbruik van een airconditionning.(Vlaams EnergieAgentschap 2014a)

b) *Verwarming*

Voor de verwarming is er vanuit gegaan dat deze wordt voorzien door een condensatieketel. Het rendement hiervan is bepaald door een condensatie in te voeren in het simulatieprogramma EPB en bedraagt 0,91.

4) *Energieverbruik licht*

Het verschil in energieverbruik van licht wordt in deze studie niet in rekening genomen. De studie: "Een glasheldere kijk op kwaliteitsvolle bijna-energie neutrale woningen" van het verbond van de glasindustrie toont duidelijk aan dat het plaatsen van zonwerende beglazing met lage lichttransmissie weinig effect heeft op de vraag naar primaire energie voor kunstverlichting. Hieruit kan besloten worden dat het gebruik van zonwerende screens ook een verwaarloosbaar effect heeft op het primair energieverbruik voor kunstverlichting. (Verbond van de glasindustrie vzw 2014a)

¹³ Nettatarieven: De nettatarieven zijn de tarieven die worden betaald voor het vervoer van de energie tot de woning

¹⁴ Heffingen: Belastingen op energie door de overheid (VREG 2015)

¹⁵ Voorgestelde scenario's door docent Leo Vaningelgem

5) *Energieverbruik per gebouwmodel*

In onderstaande tabel (Tabel 5-5) worden de jaarlijkse energieverbruiken weergegeven die door EnergyPlus berekend zijn. Deze waarden worden vervolgens vermenigvuldigd met het rendement bepaald bij puntje '3) Werkelijk energieverbruik'.

De kolom met als titel "energiekost" duidt op de totale energiekost, rekening houdend met de huidige energieprijzen.

De rij met naam "zonwering" is in volgende tabel de groepering van alle manuele en automatische zonweringen aangezien de energieverbruiken hierbij erg gelijkaardig zijn.

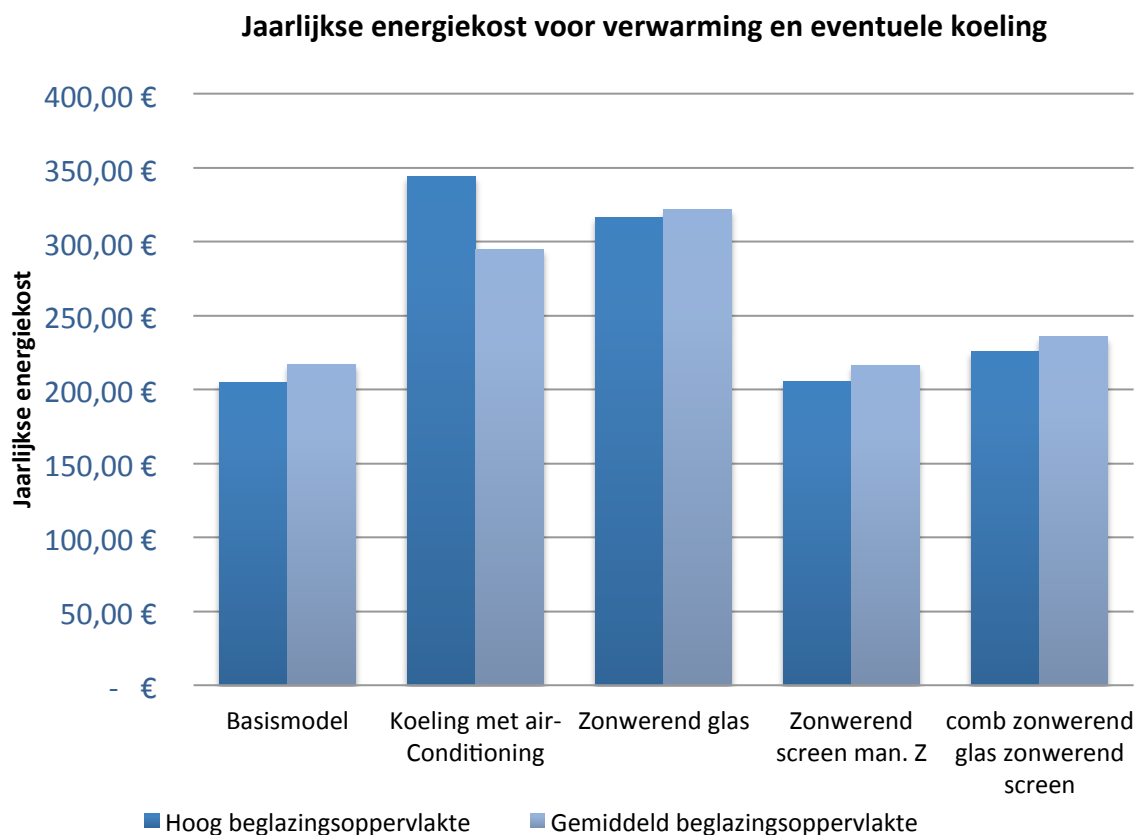
Uit de tabellen Tabel 5-1 tot Tabel 5-4 kan ook geconstateerd worden dat de energiekosten voor verwarming en koeling bij de twee verschillende bewonersprofielen vrijwel hetzelfde zijn. Zo is het extra verbruik voor verwarming voor de basiswoning 50 kWh, wat op een totaal verbruik van 3727 kWh verwaarloosbaar klein is, zeker wanneer er in een verder deel in deze studie met verschillende scenario's voor de stijging van de energieprijzen wordt gewerkt. Daarom wordt in volgende tabel het gemiddelde genomen van beide energievragen.

Het extra verbruik van de elektrische motoren van de zonwerende screens wordt niet in rekening genomen.

Dit verbruik was volgens een het bedrijf "Boflex" immers verwaarloosbaar klein.

Tabel 5-5: Bepaling jaarlijkse energiekost

Venster- gehalte	Bewoners- profiel	Omschrijving zonwering/ koeling	Verbruik verwarming (kWh)	Verbruik koeling (kWh elektriciteit)	Verbruik condensatie- ketel (kWh)	Verbruik warmte-pomp (kWh elektriciteit)	Energiekost
Groot venster- oppervlak	Uitwerkend & thuiswerkend	Basiswoning (geen koeling)	3760,00	0,00	4131,87	0,00	204,94 €
		Airconditioning	3735,50	1977,00	4104,95	878,67	344,19 €
		Zonwerend glas OZW	5800,15	0,00	6373,79	0,00	316,14 €
		Zonwering	3764,79	0,00	4137,14	0,00	205,20 €
		Comb. zonwering/zonwerend glas	4138,00	0,00	4547,25	0,00	225,54 €
Gemiddeld venster- oppervlak	Uitwerkend & thuiswerkend	Basiswoning (geen koeling)	3982,50	0,00	4376,37	0,00	217,07 €
		Airconditioning	3956,00	1116,00	4347,25	496,00	294,98 €
		Zonwerend glas OZW	5910,50	0,00	6495,05	0,00	322,15 €
		Zonwering	3970,00	0,00	4362,64	0,00	216,39 €
		Comb. zonwering/zonwerend glas	4323,00	0,00	4750,55	0,00	235,63 €



grafiek 5-2: Jaarlijkse energiekost voor verwarming en eventuele koeling.

Bovenstaande grafiek (grafiek 5-2) toont de verschillende jaarlijkse energiekosten.

Logischerwijs heeft het basismodel de laagste energiekost. Aangezien dit gebouwmodel geen koeling, noch enige zonwering heeft, zijn de thermische prestaties in de zomer ook navenant.

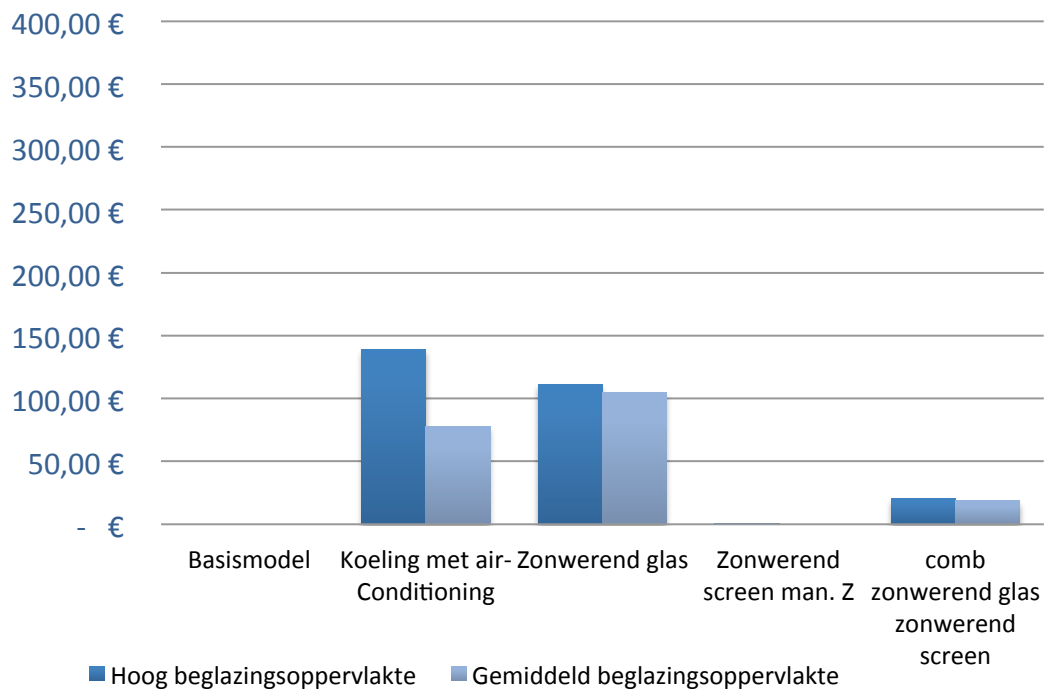
Aangezien de verschillende configuraties met zonwerende screens weinig tot geen energieverlies veroorzaken in het stookseizoen zijn de kosten voor energie ten opzichte van het basismodel gelijkaardig.

Het gebouwmodel met de combinatie van zonwerende screens en zonwerende beglazing heeft een energiekost die gemiddeld 9,3% hoger is dan het basismodel. Dit is uiteraard te wijten aan de kleinere zontoetreding door de zonwerende beglazing ($g=0,28$).

De twee configuraties met de grootste energiekost zijn het model dat aan de oost-, zuid- en westgevel is voorzien met zonwerende beglazing en het model dat wordt gekoeld met airconditioning. Het gebouwmodel met zonwerende beglazing heeft een lagere zontoetreding waardoor de energievraag voor verwarming stijgt met gemiddeld 51% ten opzichte van het basismodel. Het gebouwmodel waarbij het thermisch comfort in de zomer wordt gegarandeerd door airconditioning heeft door de bijkomstige koelingsvraag een energiekost die gemiddeld 52% stijgt ten opzichte van het basismodel. Bij dit gebouwmodel is er wel een sterk verschil te merken tussen de gemiddelde en de hoge beglazing wat te wijten is aan het feit dat de koelingsvraag sterk vermindert bij een kleinere beglazing.

Aangezien deze economische vergelijking zich enkel baseert op technieken om de woning koel te houden, moet de kost voor verwarming van het basismodel niet in rekening gebracht worden en moet enkel rekening gehouden worden met de extra energievraag, geëist door de gebruikte zonwering- of koelings techniek. grafiek 5-2 wordt zo gereduceerd tot grafiek 5-3.

Jaarlijkse energiekost veroorzaakt door de gebruikt koelings- of zonweringstechniek



grafiek 5-3: Jaarlijkse energiekost voor de beperking van oververhitting.

5.2.2.2 Kasuitgaven voor onderhoud

Fabrikanten geven steeds een bepaalde levensduur mee die dient als garantie. Deze levensduur, gaande van 5 tot 10 jaar, is echter steeds redelijk beperkt en is dus geen goede referentie voor de werkelijke levensduur. Om toch een realistisch bedrag te kunnen gebruiken voor deze kasuitgave zijn verscheidene mails gestuurd naar fabrikanten en leveranciers om hun ervaring te vragen i.v.m. de levensduur van hun producten en de kostprijs van de nodige interventies.

1) Airconditioning

Bij de levensduur van een airconditioning hangt er veel af van de gebruiksfrequentie en of er tijdelijk vakkundig onderhoud werd gepleegd. De levensduur wordt volgens de fabrikant "Toshiba" op 12 à 15 jaar geschat. Voor de berekening is hiervoor gerekend op 13,5 jaar. Na deze 13,5 jaar wordt dus de volledige installatie vervangen.

2) Zonwerende screens

De kasuitgaven voor onderhoud die horen bij zonwerende screens zijn tevens moeilijk te voorspellen. Zo zullen de onderhoudskosten sterk afhangen van de gebruiker zelf. De slijtage van de motoren zal afhangen van het aantal cycli per dag en het doek zal sneller aan vernieuwing toe zijn indien het slecht wordt onderhouden. De hierna gegeven levensduren zijn dus zeer ruw geschatte waarden.

Volgens Boflex vertegenwoordiger Jef Oorts varieert de levensduur van het doek steeds tussen de 10 à 20 jaar. Voor de calculatie van de uitgaven voor onderhoud is daarom gerekend op een levensduur van 15 jaar. De kostprijs van de interventie voor een zonwerend doek bedraagt ca. € 425,00 voor een doek van 4 m². Interpolatie is toegepast om de kostprijs te berekenen van andere afmetingen. (Zie Tabel 5-6)

Tabel 5-6: *Kostprijzen vervanging screen*

		oppervlakte (m ²)	Kostprijs vervanging screen
Hoog venstergehalte	zuid	30,81	3.273,56 €
	oost, zuid en west	58,33	6.197,56 €
Gemiddeld venstergehalte	zuid	24,02	2.552,13 €
	oost, zuid en west	45,49	4.833,31 €

Voor de motorbediening mag er gerekend worden op een levensduur van minimum ca. 15 jaar. Deze levensduur is echter een uiterst minimum en zal in de meeste gevallen veel langer meegaan dan 15 jaar. Daarom wordt er voor de berekening gerekend op een levensduur van 20 jaar. Er wordt verondersteld dat de draadloze ontvangers in de motoren eenzelfde gemiddelde levensduur hebben. Aangezien de sensoren slecht een fractie van de totaalsom omvatten wordt deze post bij de uitgaven voor onderhoud genegeerd.

5.2.3 Berekening kost op 20 jaar

Verdisconteren is het bepalen van de huidige waarde van toekomstige kasstromen door het omrekenen van deze kasstromen naar vandaag. Deze studie wenst immers de hierboven beschreven kasstromen met elkaar te vergelijken, maar deze doen zich in de toekomst en op verschillende tijdstippen voor. Maar de huidige waarde van een investering wordt niet alleen beïnvloed door haar toekomstige waarde maar ook door de verdisconteringsfactor en de looptijd. (WEKA 2015)

De looptijd wordt bepaald door de economische levensduur van de verschillende investeringen. Aangezien de verwachte levensduur van de meeste technieken en materialen op 20 jaar wordt geschat, wordt er een looptijd van 20 jaar toegepast. (Van den Bossche and Verbeke 2011)

De verdisconteringsfactor is het rendement dat de bouwheer vereist, namelijk de kapitaalkost. Voor deze verdisconteringsfactor wordt de rente op een spaarrekening genomen. Hiervoor is het gemiddelde genomen van de drie grootse banken op de Belgische markt, namelijk BNP Paribas Fortis, KBC en Dexia. Deze bedraagt 0,95%. ("Vergelijk Spaarrekeningen (België) - Spaargids" 2015)

Om de kasuitgaven voor onderhoud in rekening te brengen, wordt de kost van het onderhoud toegevoegd in het jaar dat deze aan herstelling toe is. Er wordt slechts een deel van de totale onderhoudskost in rekening gebracht. Zo zal de in rekening genomen onderhoudskost afhangen van de resterende looptijd en het aantal jaren dat installatie onderhoudsvrij is. Om dit te verduidelijken wordt een voorbeeld gegeven: De zonwerende screens moeten na 15 jaar vervangen worden. Aangezien de resterende looptijd voor een totale looptijd van 20 jaar, nog maar slechts 5 jaar is, wordt maar een derde van de herstelling in rekening genomen aangezien de screens na de volledige looptijd van 20 jaar nog 10 jaar goed zijn.

Alle berekeningen van de totale kostprijs op 20 zijn te vinden in de digitale bijlage. Een voorbeeld van de berekeningen wordt hierop volgend gegeven.

5.2.3.1 Voorbeeld berekening

De volgende tabel (Tabel 5-7) toont aan hoe de berekeningen zijn uitgevoerd om tot de totale kostprijs te komen met een looptijd van 20 jaar. Deze berekening betreft het model dat gekoeld wordt met airconditioning met een initiële kostprijs van € 3.331,89 en een jaarlijkse energiekost van € 105,09.

De tabel 'jaarlijkse kost' is de kost per jaar waarbij rekening gehouden wordt met een dalende of stijgende energieprij. De tabel 'jaarlijkse verdisconteerde kost' is de vervolgens de voorspelde huidige waarde van de kostprijs in die periode. Deze verdisconteerde kost is afhankelijk van de rentevoet.

Tabel 5-7: Voorbeeld berekening totale verdisconteerde kost

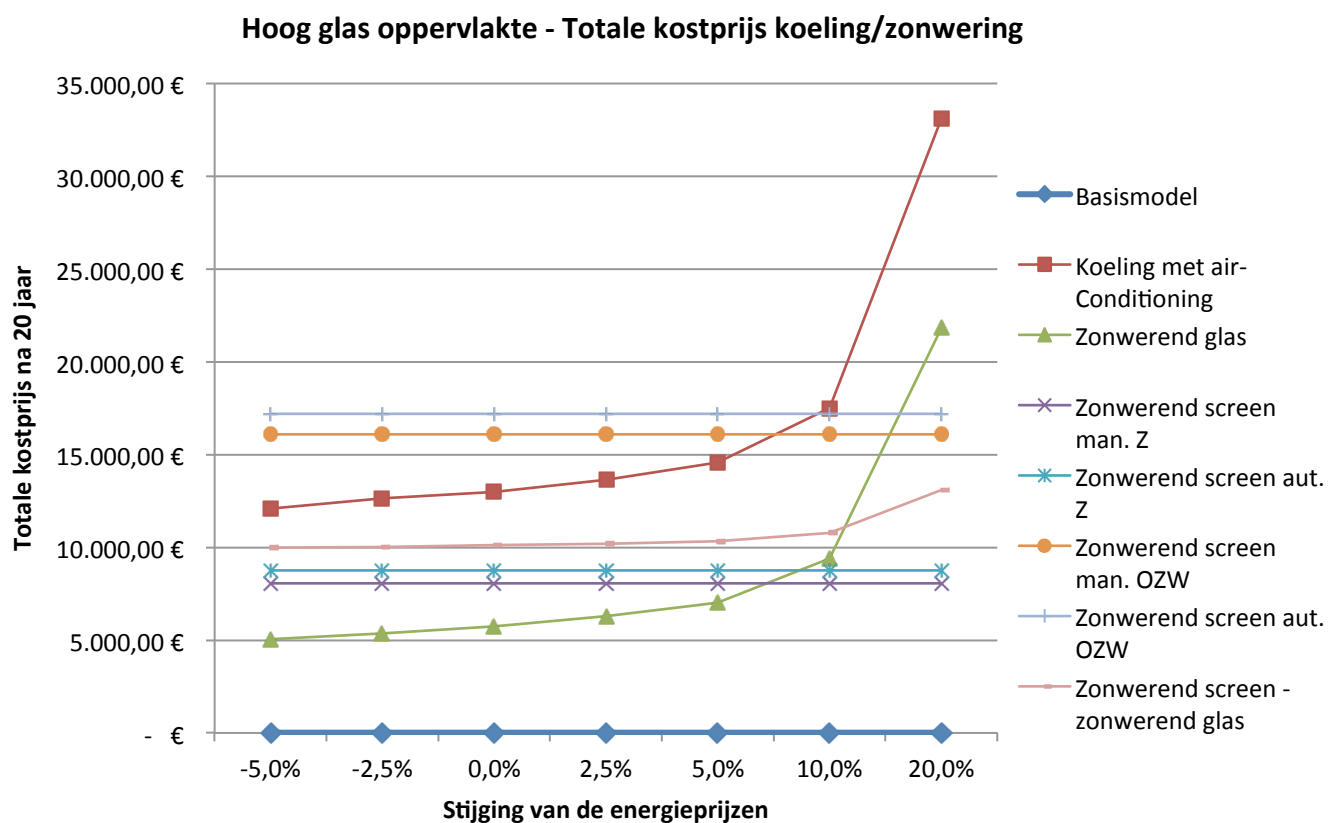
investeringskost	€ 3.311,89
Jaarlijkse energiekost	€ 105,09
Jaarlijkse stijging energiekost	5,00%
Rentevoet	0,95%
Onderhoudskost	0
Jaar onderhoud	/

Jaar	Jaarlijkse kost	Jaarlijkse verdisconteerde kost
1	3.416,98 €	3.416,98 €
2	110,34 €	109,31 €
3	115,86 €	113,69 €
4	121,65 €	118,25 €
5	127,74 €	123,00 €
6	134,12 €	127,93 €
7	140,83 €	133,06 €
8	147,87 €	138,40 €
9	155,27 €	143,95 €
10	163,03 €	149,73 €
11	171,18 €	155,74 €
12	179,74 €	161,98 €
13	188,73 €	168,48 €
14	198,16 €	175,24 €
15	208,07 €	182,27 €
16	218,47 €	189,59 €
17	229,40 €	197,19 €
18	240,87 €	205,10 €
19	252,91 €	213,33 €
20	265,56 €	221,89 €
	Totale verdisconteerde kost:	6.445,13 €

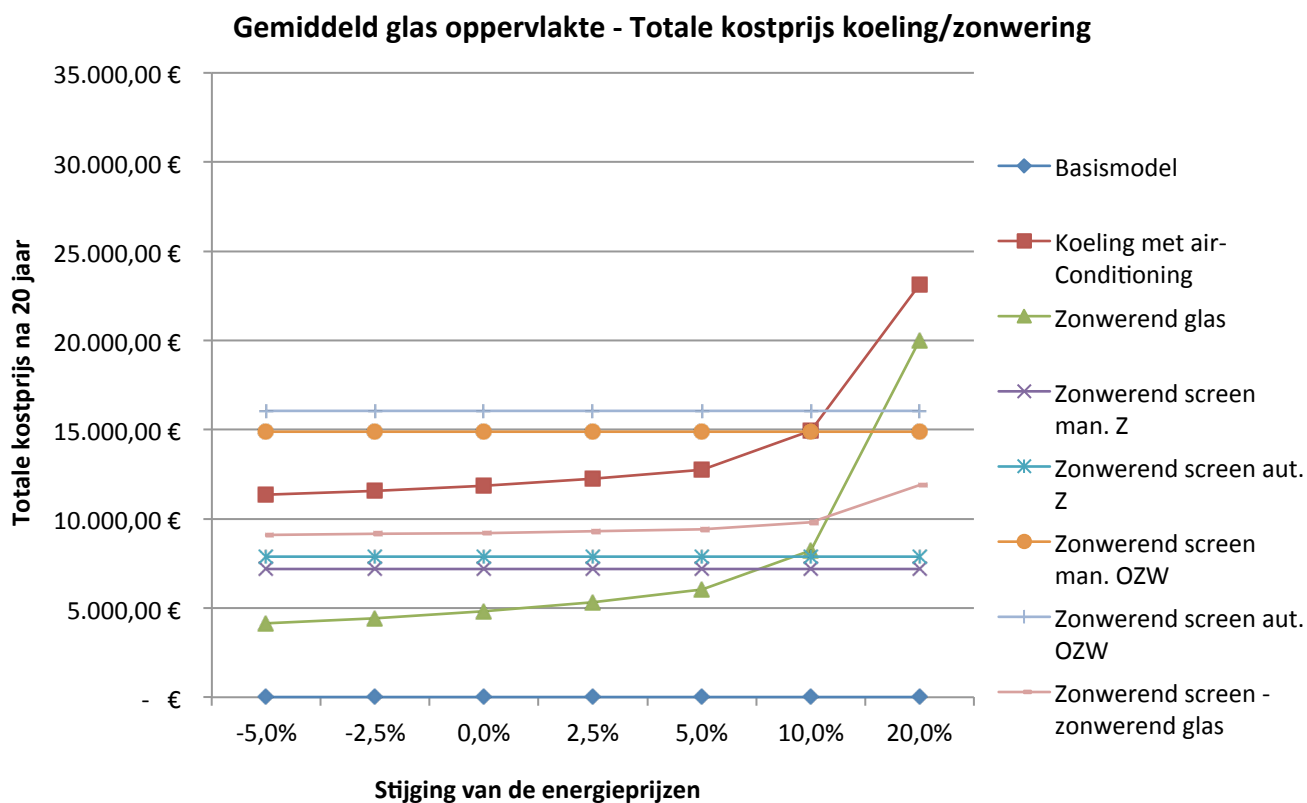
5.2.3.2 Samenvattende tabel

Zoals eerder gesteld is het niet mogelijk om de stijging of daling van de energieprijzen te voorspellen. Daarom zijn de berekening steeds uitgevoerd met verschillende scenario's waarbij er vanuit is gegaan dat elektriciteit en gas hetzelfde verloop ondergaan.

Op volgende grafieken (grafiek 5-5 en grafiek 5-4) wordt de totale kostprijs weergegeven voor een periode van 20 jaar per type van zonwering of koeling.



grafiek 5-5: Totale kostprijs koeling/zonwering op een periode van 20 jaar bij het model met hoog glasoppervlakte



grafiek 5-4: Totale kostprijs koeling/zonwering op een periode van 20 jaar bij het model met gemiddeld glas oppervlakte

Over beide grafieken (grafiek 5-5 en grafiek 5-4) kunnen dezelfde besluiten getrokken worden wat betreft de onderlinge totale kostprijs.

Aangezien bij deze simulaties de zonwerende screens weinig tot geen effect hebben op het energieverbruik, heeft de schommeling van de energieprijzen geen effect op de totaalprijs.

Bij het zonwerend glas, de airconditioning en de combinatie van zonwerend glas en zonwerende screens is deze schommeling wel zichtbaar. Door het kleine aandeel van de energiekost ten opzichte van de totaal kost heeft dit echter pas een groot effect vanaf een energie prijsstijging van 10%.

Zo kan over het algemeen gesteld worden dat in een BEN-woning, waarbij de woning dermate is geïsoleerd waardoor energieprijzen zich tot een minimum beperken, dat de totale kostprijs, afhankelijk van initiële kostprijs, onderhoudskost en energiekosten, vooral wordt bepaald door zijn initiële kostprijs en onderhoud.

Zonwerend glas is ondanks zijn statische karakter, waardoor grote warmtewinsten worden vermeden in het stookseizoen, de goedkoopste mogelijkheid om oververhitting te vermijden (zolang de energiestijging niet extreem stijgt). Dit is te wijten aan de kleine meerprijs van dubbele zonwerende HR-beglazing ten opzichte van standaard dubbele HR-beglazing en aan het uitstekende isolerende vermogen van een BEN-woning waardoor de extra koelvraag in de zomer sterk wordt beperkt.

De duurste mogelijkheid van de onderzochte technieken is het gebruik van zonwerende screens aan alle vensters van de oost-, zuid- en westgevel. Ondanks het dynamische karakter, waardoor extra koelings- of verwarmingsvragen sterk gemeden kunnen worden, komt deze optie op de grootste totale kostprijs. Dit is vooral te wijten aan de dure kostprijs en de dure interventiekosten voor de vervanging en onderhoud van de screens. Wel moet er rekening mee gehouden worden dat bij deze modellering alle ramen voorzien zijn van een zonwerend screen. Indien enkele ramen reeds voldoende zonwering hebben door aanpalende gebouwen, hagen, bomen,... kan deze prijs sterk teruglopen.

Meer dan de helft goedkoper is de configuratie waarbij de zonwerende screens enkel aan de zuidkant zijn voorzien. Uiteraard heeft dit ook gevolgen voor het thermische comfort. De bijkomstige plaatsing van zonwerende beglazing aan de west- en oostgevels zorgt voor een relatief kleine prijsstijging.

De totale kostprijs van koeling met airconditioning ligt ergens tussen de twee configuraties met zonwerende screens en kent een gelijkaardige stijging bij stijgende energieprijzen als de configuratie met zonwerend glas. Het extra energieverbruik bij deze twee modellen is dan ook zeer gelijkaardig. Bij de woning met grote glasoppervlaktes is de stijging het grootste daar de grote raamoppervlaktes voor grotere warmtewinsten zorgen.

5.2.4 Vergelijking thermisch comfort

Zoals eerder gesteld is de economische vergelijking alleen geen hulpmiddel om een sluitende conclusie te maken. Om een juiste beslissing te kunnen nemen is het nodig om aan elk type van zonwering en koeling een bepaald comfortniveau te kunnen linken. Op deze manier kan een toekomstige bouwheer een keuze maken waarbij een consensus zal gemaakt moeten worden tussen enerzijds comfort en anderzijds kostprijs. Het thermisch comfortmodel wordt, zoals in punt 2.3.2 besproken, bepaald met de methode van het aantal overschrijdingsuren.

In wat volgt zal u een tweeledige onderverdeling vinden.

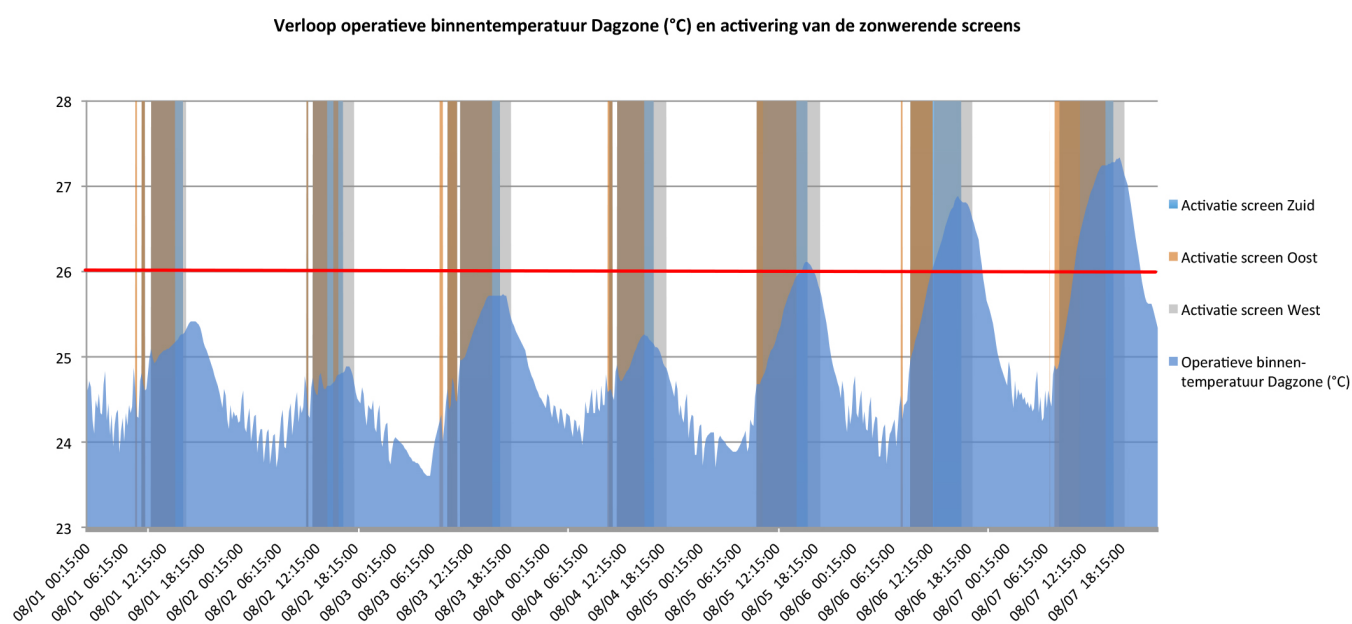
Het eerste deel bespreekt het thermische comfort van de modellen die besproken zijn in de economische vergelijking.

Het tweede deel onderzoekt in welke mate een vooruitziend gebruikersgedrag invloed kan hebben op het thermisch comfort. Zo is in deze studie EnergyPlus geprogrammeerd om de volgende situaties na te bootsen:

- De eerste simulatie: Hierbij zullen de inwoners de zonwering aan laten staan wanneer ze het huis verlaten en indien de zonwering reeds aanstond. Wanneer deze uitstond zal deze ook uit blijven staan.
- De tweede simulatie: Hierbij zullen de inwoners vooraleer ze het huis verlaten, het weerbericht bekijken om te zien of de zonweringen aan of uit moet staan.

5.2.4.1 Thermisch comfort van de modellen uit de economische vergelijking

Om het thermische comfort te kunnen bepalen is het van essentieel belang om een verfijnd dynamisch simulatieprogramma te gebruiken zoals EnergyPlus. Dit maakt het mogelijk om de binnentemperatuur per gekozen tijdsinterval op te vragen waardoor het mogelijk wordt het aantal overschrijdingsuren te berekenen. grafiek 5-6 verduidelijkt de resultaten die uit EnergyPlus opgevraagd kunnen worden. De resultaten zijn van het woningmodel met automatisch bedienbare screens op oost-, zuid- en westgevel. Op deze grafiek is de operationele temperatuur van een warme week in augustus weergegeven. Eveneens is hierbij aangetoond wanneer de zonwerende screens zijn geactiveerd.

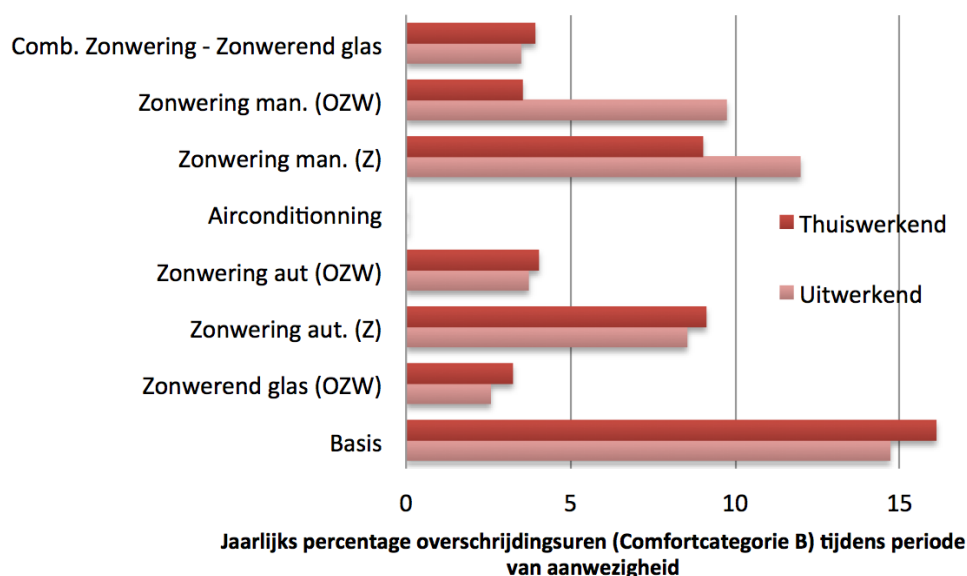


grafiek 5-6: Operatieve temperatuursverloop en activatie van zonwerende screens.

De overschrijdingsuren zijn berekend door het aantal uren te bepalen waarbij de operationele binnentemperatuur hoger dan 26°C gaat. Hierbij is enkel rekening gehouden met de uren dat de inwoners aanwezig zijn in de woning. Aangezien elke zone een verschillend aantal overschrijdingsuren heeft werd het gewogen gemiddelde genomen a.d.h.v. de respectievelijke aanwezigheid in de zone.¹⁶

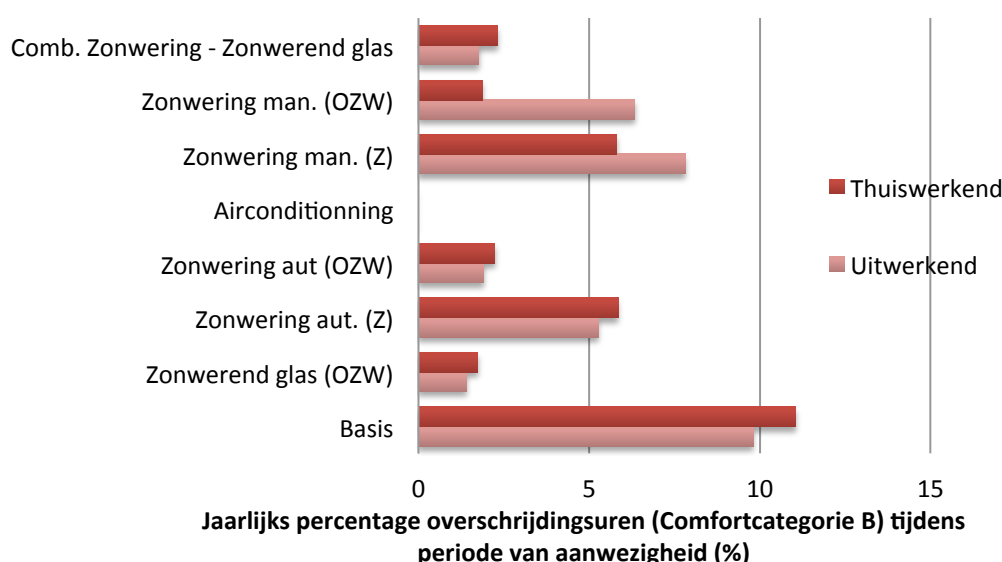
Om de verschillende modellen met elkaar te kunnen vergelijken zijn deze overschrijdingsuren omgezet naar het jaarlijks percentage van temperatuuroverschrijding. Volgende grafieken (grafiek 5-7 en grafiek 5-8) geven dus een goede indicatie van het thermische comfortniveau.

Overschrijdingspercentage - Groot beglazingsoppervlakte



grafiek 5-7: Overschrijdingspercentage - Groot beglazingsoppervlakte.

Overschrijdingspercentage - Gemiddeld beglazingsoppervlakte



grafiek 5-8: Overschrijdingspercentage - Gemiddeld beglazingsoppervlakte.

¹⁶ De precieze berekeningsmethode van het aantal overschrijdingsuren bevindt zich in de digitale Bijlage (macro).

Aangezien de koeling met airconditioning gestuurd kan worden tot een bepaalde temperatuur is het mogelijk om de temperatuur steeds onder de 26°C te houden. Deze koelingstechniek zorgt hierdoor voor het hoogste comfort. Ook heeft de werking van een airconditioning bijna direct gevolg. Dit in tegenstelling tot zonwerende screens die enkel de invallende warmte kunnen verminderen maar niets kunnen doen tegen de warmte die reeds in de woning is.

Wat betreft de zonweringstechnieken, brengt de zonwerende beglazing het hoogste thermische comfort. Daar deze een statisch karakter heeft, wordt de zon constant geblokt waardoor de zonnwinsten sterk gemeden worden. Dit effect kan nog versterkt of verzwakt worden naargelang het type van zonwerend glas (Zie 4.5: Input data zonwerend glas). Een quasi gelijkaardig thermisch comfort wordt voorzien door zonwerend glas aan de oost- en westkant in combinatie met een automatisch screen aan de zuidkant.

De zonwerende screens aan de zuidgevel zijn, met een percentage overschrijdingsuren dat steeds boven de 5% ligt, de minst effectieve optie. Wanneer ook de oost- en westgevel worden voorzien met zonwerende screen worden resultaten sterk verbeterd.

Het verschil in manuele en automatische bediening doet zich vooral voor bij het bewonersprofiel waarbij de inwoners overdag uit de woning zijn. Overdag kan de zon immers sterk schijnen en wanneer de inwoners 's avonds thuis komen is het vervolgens vaak te laat om de warmte uit de woning te krijgen. De manuele zonwering scoort echter beter bij het bewonersprofiel waarbij de inwoners overdag in woning zijn. Dit is te wijten aan het feit dat, in tegenstelling tot de automatische zonwering, de manuele bediening is ingesteld vanaf een bepaalde operationele temperatuur. Aangezien de overschrijdingstemperatuur ook is berekend a.d.h.v. de operationele temperatuur zorgt dit voor betere resultaten.

De norm NBN_EN 15251 geeft als mogelijke indicatie, voor de bepaling van een comfortabel thermisch binnenmilieu, een maximaal overschrijdingspercentage van 5% (Bureau voor normalisatie 2007). Volgens deze bepaling, zijn er een groot aantal opties niet efficiënt genoeg. Belangrijk om in te zien is wel dat er in deze gemodelleerde woning geen enkele externe schaduw, noch architecturale zonwering is voorzien. Het is dus fout om te concluderen dat deze methoden niet afdoende kunnen zijn. De grafiek geeft echter wel een goede indicatie hoe het comfortniveau zich onderling voordoet.

5.2.4.2 Thermisch comfort vooruitziend gedrag

In voorgaand onderzoek werd de manuele bediening gestuurd a.d.h.v. de aanwezigheid van de inwoners, de operationele binnentemperatuur en de inval van de zon op de respectievelijke gevels. Vooral bij de manuele bediening werden er minder opportune resultaten gesimuleerd aangezien de zonwering steeds veel te laat werd geactiveerd.

Aangezien de gesimuleerde manuele activatie vrij onverstandig verliep wordt in dit deel bepaald in welke mate een manuele bediening beter kan verlopen. De voorgaande manuele zonweringen werd geactiveerd indien de inwoners aanwezig waren in het gebouw, indien de operationele temperatuur boven de 24°C was en indien de invallende zon een irradiantie had van meer dan 150 W/m².

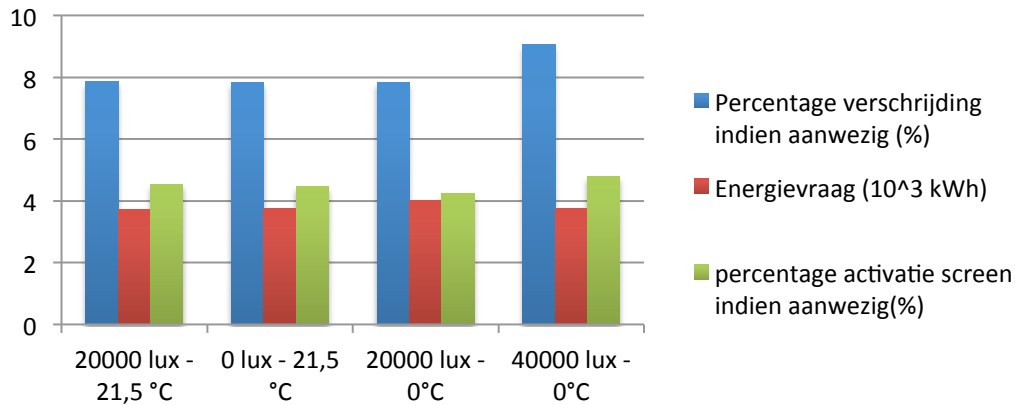
Alle onderzoeken van dit deel zijn gebeurd op het model met een hoog glasoppervlakte waarbij de inwoners overdag uit de woning zijn omdat vooral bij dit bewonersprofiel de manuele bediening problematisch was.

In eerste instantie werd een eenvoudige activatie opgesteld waarbij de zonwering bleef aanstaan wanneer de inwoners het huis verlieten. Aangezien de zonwering weinig tot nooit aanstond voor het vertrek had deze instelling weinig nut.

Bij de tweede modelering werd er verondersteld dat de inwoners vooraleer ze de woning verlaten overwegen of de zonwering aan moet staan of niet. Dit met het oog op een kleiner aantal overschrijdingsuren en een niet-stijgende energievraag. De overweging die wordt gemaakt is gebaseerd op de binnentemperatuur op het moment van vertrek en op de gemiddelde inval van de zon tijdens de uren dat ze afwezig zijn. Deze laatste kan gekend zijn door het weerbericht te bekijken.

Voor de binnentemperatuur werd als grens 21,5°C genomen aangezien dit een goede indicatie geeft of de woning wel of niet verwarmd wordt. De zon inval wordt niet, zoals in voorgaande simulaties, gebaseerd op irradiantie maar op de horizontale illuminantie (lux) aangezien deze in tegenstelling tot bij de vorige simulaties wel opvraagbaar was en een betere benadering geeft van de realiteit.

Resultaten onderzoek voor verbetering thermisch comfort bij manuele bediening



grafiek 5-9: Resultaten onderzoek voor verbetering thermisch comfort bij manuele bediening.

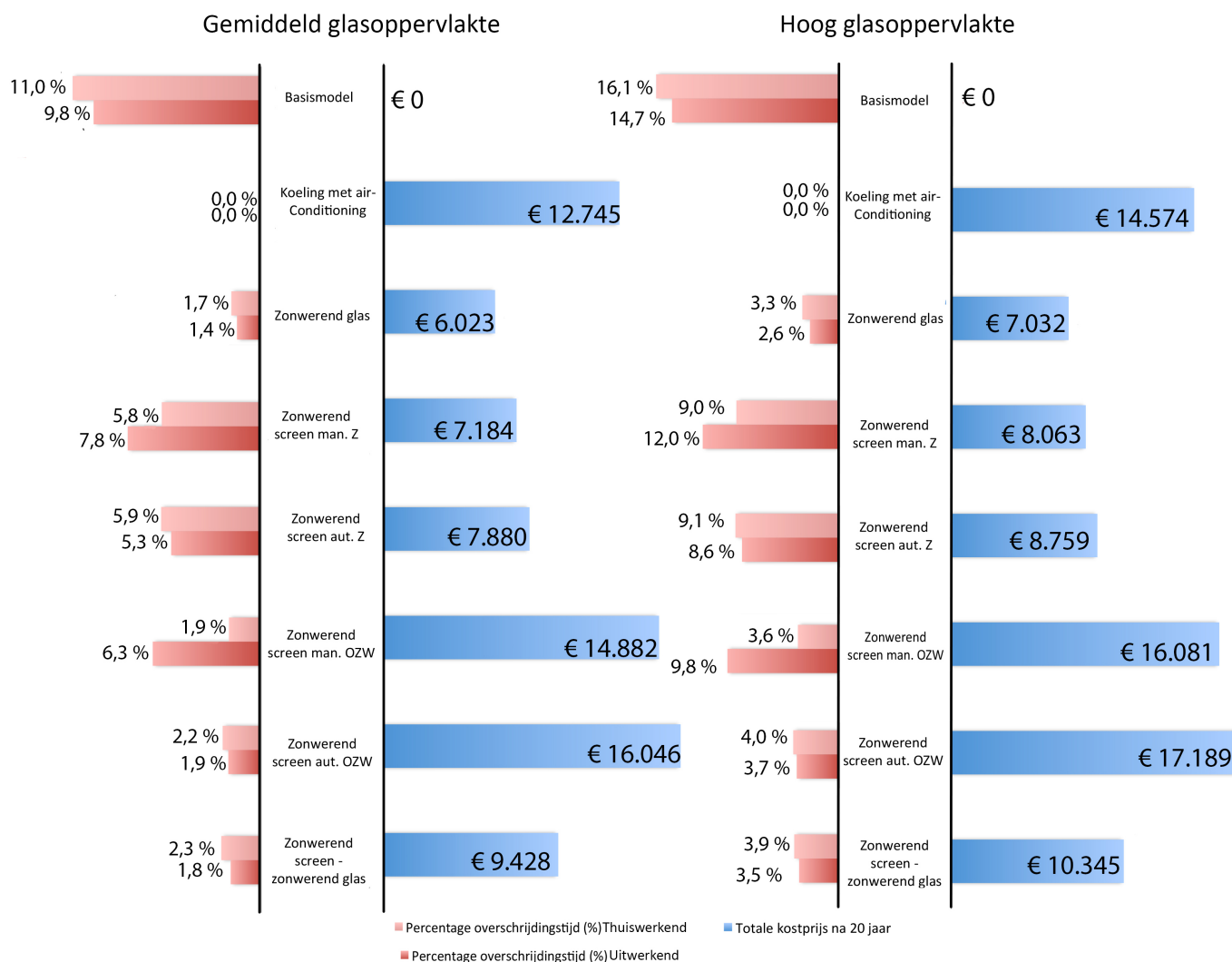
Uit bovenstaande grafiek (grafiek 5-9) blijkt dat een overweging voor de activatie van de zonwering het best gebeurt aan de hand van de binnentemperatuur of door een combinatie van de binnentemperatuur en invallende zon. Een overweging, enkel gebaseerd op invallende zon, zal zorgen voor extra energievraag in de winter of voor een hoger aantal overschrijdingsuren.

Door een dergelijk gebruikersgedrag te simuleren kan de overschrijdingstijd met 35% verminderen ten opzichte van een gebruikersgedrag waarbij de zonwering enkel wordt geactiveerd wanneer de inwoners effectief thuis zijn. Deze sterke daling toont aan dat een zonwerend screen enkel efficiënt benut kan worden wanneer deze tijdig wordt geactiveerd.

6. Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies simulatieonderzoek

Deze studie is in eerste plaats uitgevoerd om verschillende methodes te evalueren die het risico op oververhitting beperken. Deze evaluatie is gebaseerd op de totale kostprijs op een periode van 20 jaar en op het thermische comfort, geëvalueerd door het aantal overschrijdingsuren boven 26°C te bepalen.



grafiek 6-1: Overzichtsgrafiek: Thermisch comfort en kostprijs

Bovenstaande grafieken (grafiek 6-1) geven een samenvatting weer van de resultaten van de uitgevoerde studie. Voor de bepaling van de hierboven weergegeven kostprijzen werd gerekend met een jaarlijkse energieprijsstijging van 5% aangezien dit door beschouwing van grafiek 5-4 en grafiek 5-5 een goede prijsindicatie geeft. Bij de manuele bediening werd bij deze grafieken rekening gehouden met de basisbediening en niet met de bedieningen uit 5.2.4.2: Thermisch comfort vooruitziend gedrag.

6.1.2 Vergelijking gemiddeld – hoog glasoppervlakte

Bij vergelijking tussen beide grafieken kan besloten worden dat ze beide hetzelfde verloop hebben. Wel valt op te merken dat een hoger glasoppervlak voor een sterke stijging zorgt op het vlak van oververhitting. Meer precies kon in dit gebouwmodel een gemiddelde stijging van het percentage overschrijdingsuren van 68% genoteerd worden bij een stijging van het glasoppervlak van 30%.

6.1.3 Vergelijking thuis- of uitwerkend

Eén van de objectieven in deze studie was het onderzoek of het bewonersprofiel, nl. inwoners die overdag thuis zijn of inwoners die overdag uit de woning zijn, een invloed heeft op de energievraag voor warming en koeling en op het aantal overschrijdingsuren. Het verschil in bewonersprofiel qua warmtevraag werd gerealiseerd door in het simulatieprogramma een slimme thermostaat te simuleren die de gevraagde temperatuur bij afwezigheid tot 16°C verlaagt. Aangezien het gemodelleerde model een BEN-woning is, zorgt de doorgedreven isolatie ervoor dat de energievraag sterkt daalt en dat de warmte ook trager de woning verlaat waardoor de temperatuur bijna nooit volledig daalt tot 16°C. Bovendien vraagt de herhaalde opwarming tot 21°C veel energie waardoor beide energiegebruiken quasi hetzelfde zijn.

De resultaten uit deze studie tonen zodoende aan dat het niet aangewezen is om een thermostaat op dergelijke manier in te stellen. Hoewel het in principe niet zorgt voor een verlaging in comfort, zorgt het wel voor een lagere flexibiliteit aangezien de bewoners, wanneer ze bijvoorbeeld onverwachts 's middags in de woning moeten zijn, in een koude woning terechtkomen.

Wanneer, bij het gebruik van een airconditioning, de koelvraag wordt geanalyseerd, is er wel een significant verschil te merken bij de twee verschillende bewonersprofielen. (Zie 4.8.2: Koeling) Op voorgaande grafieken werd een gemiddelde van beide totale kostprijzen genomen.

Het aantal overschrijdingsuren ligt bij het thuiswerkende bewonersprofiel steeds iets hoger dan bij de bewoners die overdag uit de woning zijn. Zo bedraagt de gemiddelde stijging van het percentage overschrijdingstijd bij het basis model 9%. Dit is uiteraard logisch aangezien het warmste moment van de dag overdag is. Bij de manueel bedienbare screens ligt het aantal overschrijdingsuren, in tegenstelling tot de andere resultaten, lager wanneer de inwoners overdag aanwezig zijn in de woning. Dit komt doordat bij het bewonersprofiel, waarbij de inwoners overdag niet thuis zijn, de zonwering steeds te laat wordt geactiveerd.

6.1.4 Evaluatie van de toegepaste methode die oververhitting beperken

6.1.4.1 Zonwerend glas

Door grafiek 6-1 te analyseren kan besloten worden dat zonwerend glas de beste optie is op het vlak van totale kostprijs. Met een gemiddelde totaalprijs van €6.527,5 is deze methode de goedkoopste om oververhitting te beperken. Tevens zorgt zonwerend glas voor een sterke vermindering van het aantal overschrijdingsuren.

De lage kostprijs is het gevolg van een kleine initiële kostprijs aangezien zonwerend dubbel glas geen grote meerprijs heeft ten opzichte van standaard dubbel glas. Bovendien is een BEN-woning dermate geïsoleerd zodat ook de extra meerprijs voor verwarming door een kleinere zontoetreding relatief beperkt blijft. Deze kleine kostprijs voor energie is dan ook een rode lijn doorheen dit onderzoek. Vooral de initiële kostprijs en onderhoudskosten zijn bepalend voor de bepaling van de totale kostprijs (op een periode van 20 jaar).

Bovendien is zonwerend glas verkrijgbaar met verscheidene glaskarakteristieken waardoor het mogelijk wordt om het type aan te passen aan de woning. Zo kan de zontoetreding g (%) gekozen naar gelang de grote van de vensters. (Zie 4.5: Inputdata: Zonwerend glas)

6.1.4.2 Airconditioning

Bij deze modellering werden er geen zonweringen gebruikt en werd er volledig gerekend op het koelvermogen van de airconditioning om de woning thermisch behaaglijk houden.

Doordat de gewenste temperatuur vrij kan ingesteld worden bij een airconditioning zorgt deze methode voor het grootste thermische comfort. Met dit systeem kan het aantal overschrijdingsuren dus tot 0 gereduceerd worden.

De totale kostprijs op een periode van 20 jaar is redelijk hoog door de hoge initiële kostprijs van de toestellen. Bovendien zijn het toestellen die gemiddeld niet erg lang meegaan waardoor de onderhoudskosten de totale kostprijs ook sterk verhogen.

Qua verbruik is er een groot verschil in kostprijs bij verschillende glasoppervlaktes. Hoewel de initiële kostprijs gelijk is in deze studie, is er een veel grotere koelingsvraag bij het hoge venstergehalte waardoor de totale kostprijs met € 1.829,00 stijgt.

6.1.4.3 Zonwerende screens

Het gebruik van zonwerende screens is de enige methode uit deze studie die geen bijkomende energievraag genereert. Door het gebruik van een slimme sturing, gebaseerd op binnentemperatuur en invallende zon, is het mogelijk om geen energieverlies te veroorzaken in het stookseizoen en het screen effectief te laten werken in de zomerperiode. De toepassing van zonwerende screens om oververhitting te beperken is volgens de 'Trias Energetica' hierdoor ook de optimale keuze uit de onderzochte technieken.

Zowel manuele als automatische bedieningen zijn in deze studie onderzocht. Het nut van een automatische bediening is vooral van belang wanneer de inwoners overdag uit de woning zijn. Bij het andere bewonersprofiel, waarbij de inwoners steeds in de woning zijn, kan een manuele bediening betere resultaten veroorzaken aangezien de activatie van de zonwering zo gebaseerd is op de operationele temperatuur.

De resultaten bij de manuele bediening bij het bewonersprofiel waarbij de inwoners overdag uit de woning zijn, kunnen sterk verbeterd worden door een vooruitziend gebruikersgedrag. Zo blijkt het uit de resultaten dat een activatie van de zonwering bij vertrek aan de hand van de binnentemperatuur een daling van het aantal overschrijdingsuren van 35% kan veroorzaken. (Zie 5.2.4.2: Thermisch comfort vooruitziend gedrag)

De totale kostprijs van zonwerende screens, die wordt bepaald door de initiële kostprijs en onderhoudskosten, ligt ten opzichte van de andere methodes vrij hoog. Zo heeft de configuratie met zonwerende screens op alle vensters van de oost-, - zuid, en westgevel uit alle onderzochte methodes de grootste kostprijs. Deze laatste scoort echter op het gebied van thermisch comfort vrij goed en behaalt gelijkaardige resultaten met zonwerend glas. (Mits een automatische bediening of een manuele bediening die selectief de zonwering activeert bij vertrek)

De configuratie met zonwerende screens op de zuidgevel heeft uiteraard een lagere kostprijs maar moet ook ingeven op het gebied van thermisch comfort. Met een gemiddeld percentage overschrijdingsuren van 7,2% zit deze boven de grens van 5%¹⁷. Hierbij moet er echter wel rekening mee gehouden worden dat het gebouwmodel noch architecturale zonweringen noch externe schaduwing bevat waardoor de grens van 5% mogelijk toch bereikt kan worden met toepassing van dit systeem.

6.1.4.4 Combinatie zonwerend screen – zonwerend glas

Deze configuratie waarbij de gevel met grootste zontoetreding, nl. de zuidkant, voorzien is met dynamische zonwering, geniet van grote zonnewinsten in de winter en blokkeert deze in de zomer. Om de kosten te drukken worden de oost- en westgevel voorzien van zonwerende beglazing. Wanneer Afbeelding 2-6 wordt bekeken is dit ook een zeer logische configuratie aangezien de zuidkant zowel in de zomer en winter veel zonnestraling ontvangt, terwijl de oost- en westgevels enkel veel warmtewinsten in de zomer ontvangen.

De totale kostprijs na 20 jaar bij deze configuratie bevindt zich ongeveer in het midden in vergelijking met de andere systemen en behaalt gelijkaardige resultaten op gebied van thermisch comfort als een configuratie voorzien met zonwerende screens aan de oost-, west- en zuidgevel. Bovendien blijft de extra energie kost, met een gemiddelde van minder dan € 20,0 per jaar, zeer beperkt waardoor deze configuratie kan gezien worden als een goede methode volgens de Trias Energetica.

¹⁷ Voorgesteld comfort indicator uit norm NBN_EN 15251

6.1.5 Besluit

Door evaluatie van verscheidene courante gebruikte technieken om oververhitting tegen te gaan op gebied van thermisch comfort en economische kost (aankoop-, onderhouds-, en energiekost) kan er besloten worden dat er momenteel geen van onderzochte mogelijkheden uitgesloten dienen te worden.

Zonwerende screens brengen een grotere kostprijs met zich mee, maar zijn ecologisch de meest verantwoorde keuze aangezien deze techniek geen extra energie moet verbruiken bij de preventie van oververhitting. Producten die minder energie verbruiken zullen in de toekomst alleen maar competitiever worden.

Zonwerende beglazing zorgt voor uitstekende resultaten op het gebied van thermisch comfort en brengt een relatief kleine totale kostprijs met zich mee. Het statische karakter zorgt echter voor een grotere warmtevraag maar doordat de BEN-woningen dermate goed geïsoleerd zijn, heeft dit met de huidige energieprijzen geen significant economisch gevolg.

De koeling met behulp van **airconditioning** is door zijn de relatief hoge aankoop- en onderhoudsprijs niet de goedkoopste optie maar kan wel het hoogste thermische comfort garanderen. De extra energievraag voor koeling in het zomerseizoen kan vergeleken worden met de extra warmtevraag bij zonwerende beglazing.

6.2 Aanbevelingen verder onderzoek

De gegevens uit deze studie zijn resultaten behaald uit EnergyPlus. Het zou voor een volgend onderzoek dan ook nuttig zijn om de betrouwbaarheid van EnergyPlus te verifiëren. Zo zou één gebouwmodel volledig in realiteit kunnen geanalyseerd worden: Energiekost verwarming, energiekost koeling en temperatuursverloop kan eenvoudig gemeten worden. Vervolgens zouden deze gegevens vergeleken kunnen worden met een simulatie in EnergyPlus en kan er gezocht worden naar besturingen die zo goed mogelijk de realiteit imiteren.

Deze studie heeft zich beperkt tot nieuwbouwwoningen in Vlaanderen. Het zou interessant zijn om deze studie uit te voeren op een kantoorgebouw. Deze resultaten zullen hoogstwaarschijnlijk variëren met de resultaten uit deze studie aangezien het gebouw- én gebruikersmodel volledig anders is.

In het gebouwmodel van deze studie zijn geen architecturale zonweringen, zoals uitstekende terrassen of daken, voorzien. Een nuttige studie zou de evaluatie zijn van de aanwezigheid van dergelijke architecturale zonweringen. Het zou dan ook interessant zijn om het gebruikte gebouwmodel van deze studie te herdimensioneren met architecturale zonweringen om zo de koelings- en warmtevragen met de resultaten uit deze studie te kunnen vergelijken.

Een zonwerend screen is één van de vele keuzes die gemaakt kan worden wanneer wordt gekozen voor een dynamische zonwering. Het simuleren van andere types kan ook interessant zijn. Zo zijn zonneluifels tevens een frequent gekozen zonwering en is het ook zeker boeiend om de toepassing van chromatisch glas te evalueren.

Fabrikanten van zonwerende screens verkopen tegenwoordig veel zip screens. Dit zijn screens die langs de volledige hoogte geritst zijn in de geleiders. Ondanks de goede verkoopcijfers hiervan, is het volgens Boflex vertegenwoordiger Jef Oorts een inefficiënt systeem doordat de warmte achter de screens opgesloten zit en daardoor een deel terug afgeeft aan het gebouw. Onderzoek van deze stelling kan ook interessant zijn.

Referenties

- Anderson, Brian. 2006. "Energy Performance of Buildings Directive" 1 (January): 1–5.
doi:10.1680/cien.2010.163.2.53.
- Beck, W.J.C. 2009. "Zonwering En Energie." Romazo.
- Breemersch, Dries. 2013. "Strategieën Voor Beperking Oververhitting in Woningen." Artesis Hogeschool Antwerpen.
- Bureau voor normalisatie. 2007. "NBN EN 15251." *Belgische Norm*.
- Cenergie. 2009. "Comfortstudie PASSIEF SCHOOL LOZEN BOCHOLT 29-05-2009." Bocholt.
http://dubolimborg.be/pdf/School_Lozen_Bocholt/Dynamische_simulatie_Zomercomfort_Passiefschool_Lozen_Bocholt.pdf.
- Christophe Marrecau, Coördinator Passiefhuis-Platform vzw. 2011. "Energie-Efficiënte Woningen Certifiëren Met EPB?" <http://www.passiefhuisplatform.be/artikel/energie-efficiente-woningen-certifiëren-met-epb>.
- Cobbaert, Bart. n.d. "Kwaliteitsverklaring Passiefhuis."
http://www.passiefhuisplatform.be/sites/default/files/u7/certificatiecriteria_en_randvoorwaarden/Beoordelingsset_1_certificatie_presentatie.pdf.
- Crawley, Drury B, Jon W Hand, Michael Kummert, and Brent T Griffith. 2006. "Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs." *Building and Environment* 43 (4): 6–7.
doi:10.1016/j.buildenv.2006.10.027.
- Durinck, Guy. 2013. "Fotometrische Basisgrootheden."
<http://www.besweb.be/sites/default/files/Activiteiten/2013/Basisgrootheden-GuyDurinck.pdf>.
- Ecotect. n.d. "Shading Design." *Wiki.naturalfrequency*.
http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Shading_Design.
- Ellis, P G, and P a Torcellini. 2008. "Simulation of Energy Management Systems in EnergyPlus."
<http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/41482.pdf>.
- Elsberger, Martin, and Gordon Sutherland. 2010. "Progress in Implementing EU Legislation in Relation to Retrofitting the Existing Building Stock." http://www.epe.be/files/EACI_EPBD.pdf.
- "EnergyPlus." n.d. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>.
- ES-SO vzw. 2005. "ESCORP-EU25." *Energy*. http://www.es-so.com/images/downloads/ESCORP-EU25_volledig.pdf.
- . 2007. "ES-SO CLAIMT AANZIENLIJKE ENERGIE BESPARINGEN DOOR ZONWERING." *Organization*.
http://www.romazoconsument.nl/uploads/Es-so_claimt_aanzienlijke_energiebesparing_Es-so_2006.pdf.

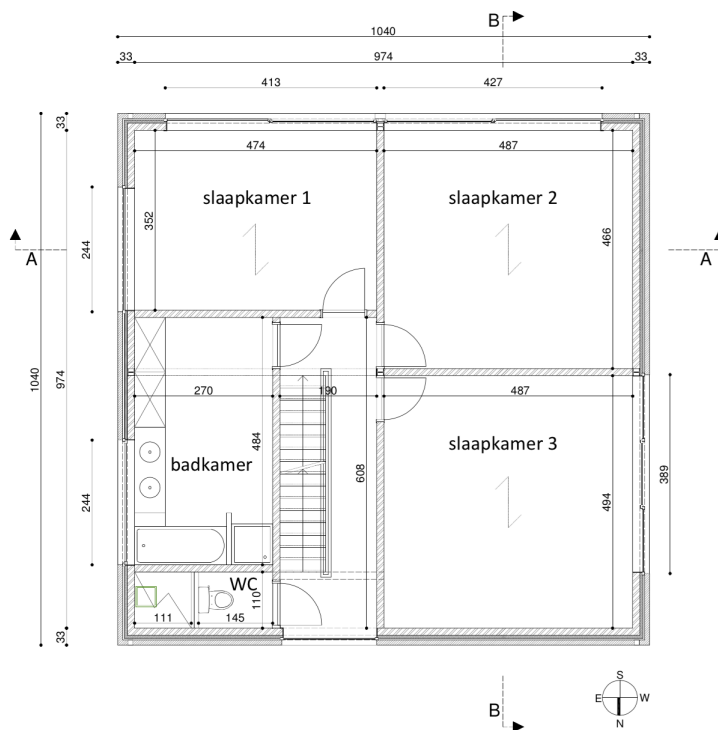
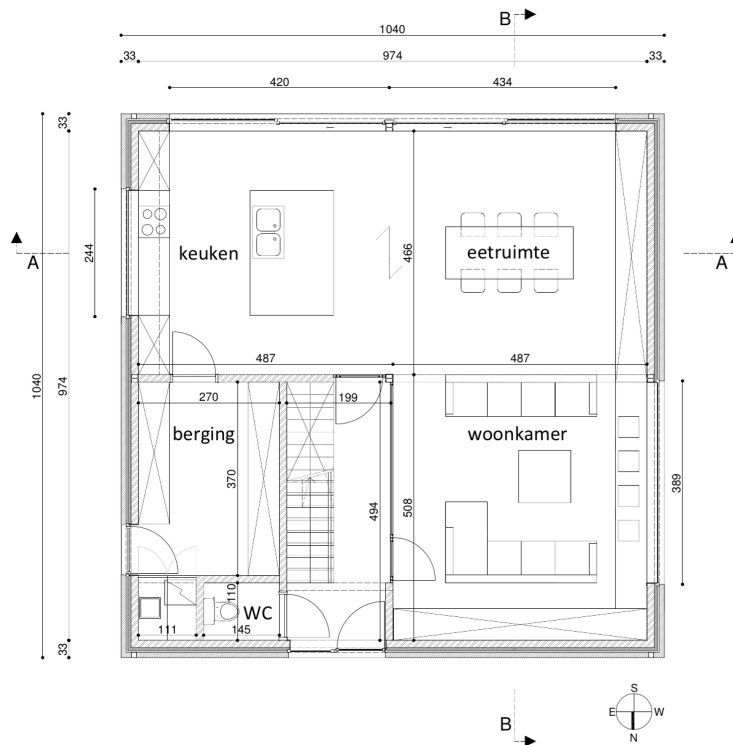
- . 2012. "Zonwering Voor Energiezuinige Gebouwen." Meise.
[http://www.verozo.be/sites/verozo/files/files/VEROZO-ES-SO-MANUAL-NL-JULI 2013\(1\).pdf](http://www.verozo.be/sites/verozo/files/files/VEROZO-ES-SO-MANUAL-NL-JULI%202013(1).pdf).
- Jespers, Ellen. 2014. "De Evaluatie van Externe Beschaduwning." University of Antwerp.
- Livos. 2015a. "Richtprijzen Airco." <http://www.livos.be/nl/techniek/airco/richtprijzen-airco/>.
- . 2015b. "Richtprijzen Buitenschrijnwerk." <http://www.livos.be/nl/ruwbouw/ramen-en-deuren/richtprijzen-buitenschrijnwerk/>.
- LNE. 2012. "Kies de Ventilatie-Unit (met WTW)." <http://www.lne.be/campagnes/bouw-gezond/fiches-bouw-gezond/ventilatie18>.
- Luc Peeters. 2015. "Praktische Bouwgids Voor Jouw Ben-Woning." *Energiesparen*. Brussels.
- Passiefhuis platform. 2015. "Wat Is de n50-Waarde." Accessed May 24.
<http://www.passiefhuisplatform.be/faq/wat-de-n50-waarde>.
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. 2013. "Infoblad Trias Energetica." Utrecht.
[http://www.rvo.nl/sites/default/files/Infoblad Trias Energetica en energieneutraal bouwen-juni 2013.pdf](http://www.rvo.nl/sites/default/files/Infoblad%20Trias%20Energetica%20en%20energieneutraal%20bouwen-juni%202013.pdf).
- Rotte, ing. D.J. de. 1992. "Behaaglijkheidstheorie Door Inhoudsopgave."
[http://people.zeelandnet.nl/hofpost/info_bestanden/CV1-1 behaaglijkheid.pdf](http://people.zeelandnet.nl/hofpost/info_bestanden/CV1-1_behaaglijkheid.pdf).
- Ryckaert, Wouter, and Peter Hanselaer. 2013. "Technische Fiches Verlichting."
[http://www.lichttechnologie.be/sites/default/files/downloads/Technische fiches verlichting_Belangrijke lichtgrootheden.pdf](http://www.lichttechnologie.be/sites/default/files/downloads/Technische%20fiches%20verlichting_Belangrijke%20lichtgrootheden.pdf).
- Somfy. 2015. "TELIS COMPOSIO." <https://www.somfy.be/nl-be/producten/1810752/telis-composio-io>.
- Van den Bossche, Lisa, and Tom Verbeke. 2011. "Een Economische Vergelijking Tussen Een Nieuwbouw Passiefhuis En Een Epb-Gestandaardiseerde Nieuwbouwwoning." University of Ghent.
- Vangorp, Peter, and Koen Yksout. 2005. "Multispectrale Rendering." /.
- Verbeke, Stijn. 2015. "DUURZAAM BOUWEN II DUURZAAM BOUWEN : Thema Energie."
- Verbond van de glasindustrie vzw. 2014a. "Een Glasheldere Kijk Op Kwaliteitsvolle Bijna-Energieneutrale Woningen." Brussel. <http://www.vgi-fiv.be/wp-content/uploads/2014/10/Een-glasheldere-kijk-op-kwaliteitsvolle-BEN-woningen.pdf>.
- . 2014b. "Identificatie Ug-Waarde Zontoetredingsfactor G Lichttransmissie LT Samenstelling." Brussel.
<http://www.vgi-fiv.be/wp-content/uploads/2012/11/Een-glasheldere-kijk-op-de-Belgische-beglazingen-September-2014.pdf>.
- "Vergelijk Spaarrekeningen (België) - Spaargids." 2015.
<http://www.spaargids.be/sparen/spaartarieven.html>.
- Vlaams EnergieAgentschap. 2015. "Oververhitting - Energiesparen." Energie Vlaanderen. Accessed February 2. <http://www.energiesparen.be/epb/oververhitting>.

- . 2010. "Ventilatie : Handmatige Berekening."
<http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/ventilatiehandmatigeberekening.pdf>
- . 2014a. "Bijlage V Energiebesluit: Bepalingsmethode van Het Peil van Primair Energieverbruik van Woongebouwen."
<http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/BijlageEPW20131129vergunningenNA2014.pdf>.
- . 2014b. "Wat Is Een BEN-Woning?"
<http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/watiseenbenwoning.pdf>.
- . 2015a. "EPB-Eisen Vanaf 2015," no. september 2014: 1.
<http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/epbeisentabel2016.pdf>.
- . 2015b. "Stapsgewijze Aanscherping BEN." <http://www.energiesparen.be/epb/welke-eisen>.
- VREG. 2015. "Nettarieven & Heffingen." Accessed April 28. <http://www.vreg.be/nl/energieprijs>.
- . 2015. "VREG Test." <http://vtest.vreg.be/>.
- WEKA. 2015. "De Netto Contante Waarde-Methode in Excel." Accessed April 20. <http://www.weka-financieel.nl/de-netto-contante-waarde-methode-in-excel.14573.lynkx>.
- WVOI. n.d. "Het PMV/PPD-Model." Den Haag. [http://www.wvoi.nl/files/Hoofdstuk 6 bijlage 1.pdf](http://www.wvoi.nl/files/Hoofdstuk%206%20bijlage%201.pdf).
- Zonweringen "Ambiance." 2015. "Screen Zonwering Vlaardingen." Accessed February 12.
<http://www.vlaardingen-zonwering.nl/zonwering/buitenzonwering-vlaardingen/screen-zonwering/>.

B ijlagen

Bijlage 1

bijlage 1: Grondplannen woning. Bron: (Van den Bossche and Verbeke 2011)



Bijlage 2

bijlage 2: Uurregeling verschillende bewonersprofielen

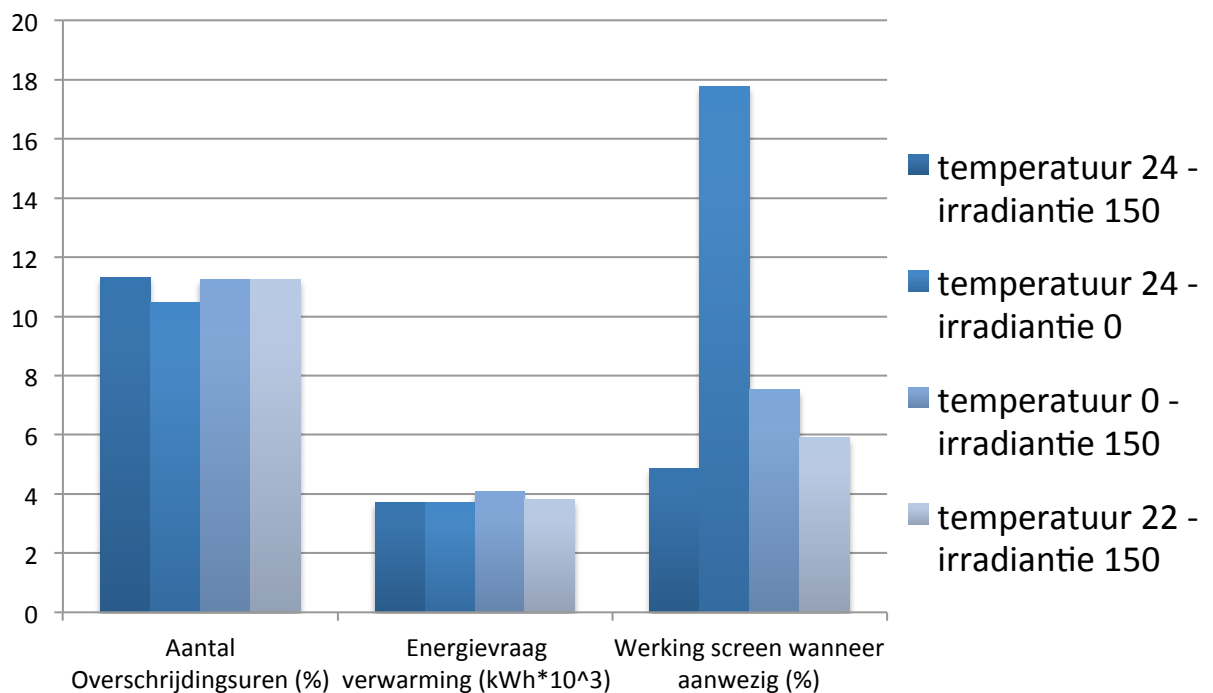
Uitwerkend	Werkdag				Weekend of feestdag			
	Dagzone		Nachtzone		Dagzone		Nachtzone	
00:00 tot 07:00								
07:00 tot 08:00								
08:00 tot 09:00								
09:00 tot 10:00								
10:00 tot 11:00								
11:00 tot 12:00								
12:00 tot 13:00								
13:00 tot 14:00								
14:00 tot 15:00								
15:00 tot 16:00								
16:00 tot 17:00								
17:00 tot 18:00								
18:00 tot 19:00								
19:00 tot 20:00								
20:00 tot 21:00								
21:00 tot 22:00								
22:00 tot 23:00								
23:00 tot 24:00								

Thuiswerkend	Werkdag				Weekend of feestdag			
	Dagzone		Nachtzone		Dagzone		Nachtzone	
00:00 tot 07:00								
07:00 tot 08:00								
08:00 tot 09:00								
09:00 tot 10:00								
10:00 tot 11:00								
11:00 tot 12:00								
12:00 tot 13:00								
13:00 tot 14:00								
14:00 tot 15:00								
15:00 tot 16:00								
16:00 tot 17:00								
17:00 tot 18:00								
18:00 tot 19:00								
19:00 tot 20:00								
20:00 tot 21:00								
21:00 tot 22:00								
22:00 tot 23:00								
23:00 tot 24:00								

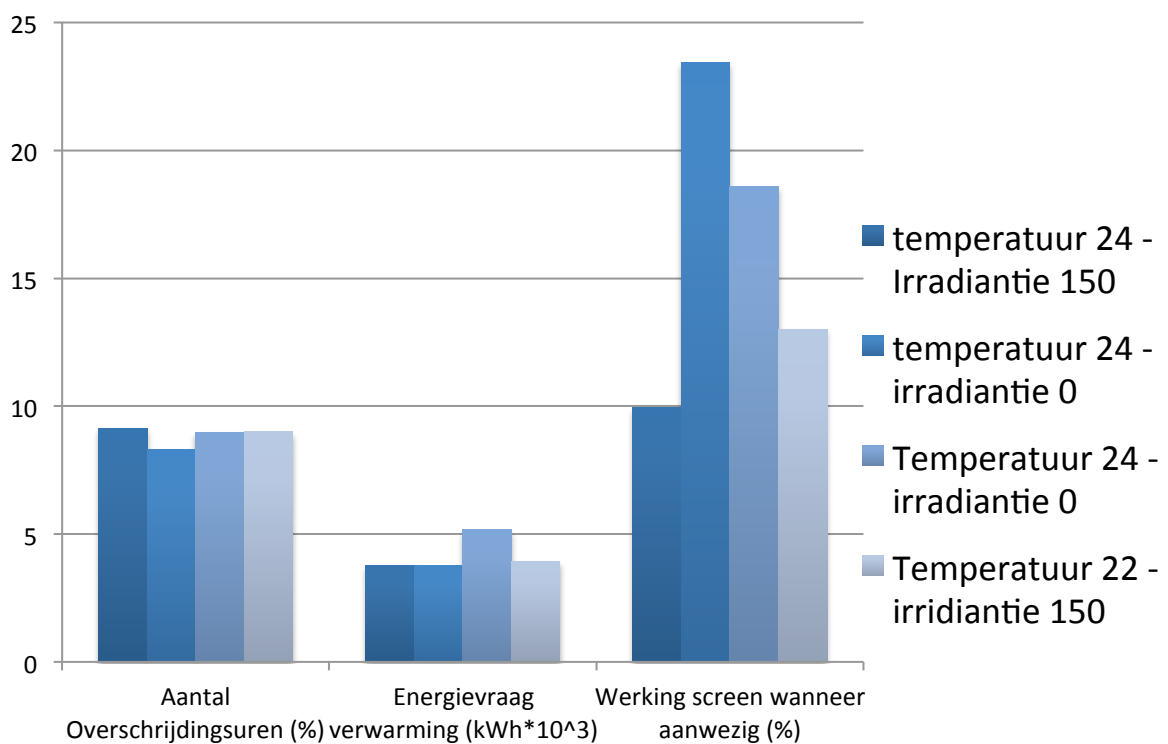
Bijlage 3

bijlage 3: sensitiviteitsstudie voor activering zonwerende screens

Manuele zonwering (Zuid- oost- en westgevel) - Thuiswerkend



Automatische zonwering (Zuidgevel) - Thuiswerkend



Bijlage 4

bijlage 4: Programmatie Bypass

Program_bypass	! Program_bypass = Naam programma
If temp_gem_woning > 24	! Temp_gem_woning = Gewogen gemiddelde luchttemp.
If temp_gem_woning > Temp_buiten	! Temp_buiten = Luchttemperatuur buitenomgeving
SET Bypass_DZ=0,065	! Bypass_DZ = Bypass in de DagZone (In m ³ /s)
SET Bypass_NZ=0,038	! Bypass_NZ = Bypass in de noordelijke Nachtzone
SET Bypass_NN=0,038	! Bypass_NN = Bypass in de zuidelijke Nachtzone
ENDIF	
ELSE	
Set Bypass_NZ=0	
Set Bypass_NN=0	
Set Bypass_DZ=0	
ENDIF	

Bijlage 5

bijlage 5: Offertes zonwerende screens (in €, excl. BTW)

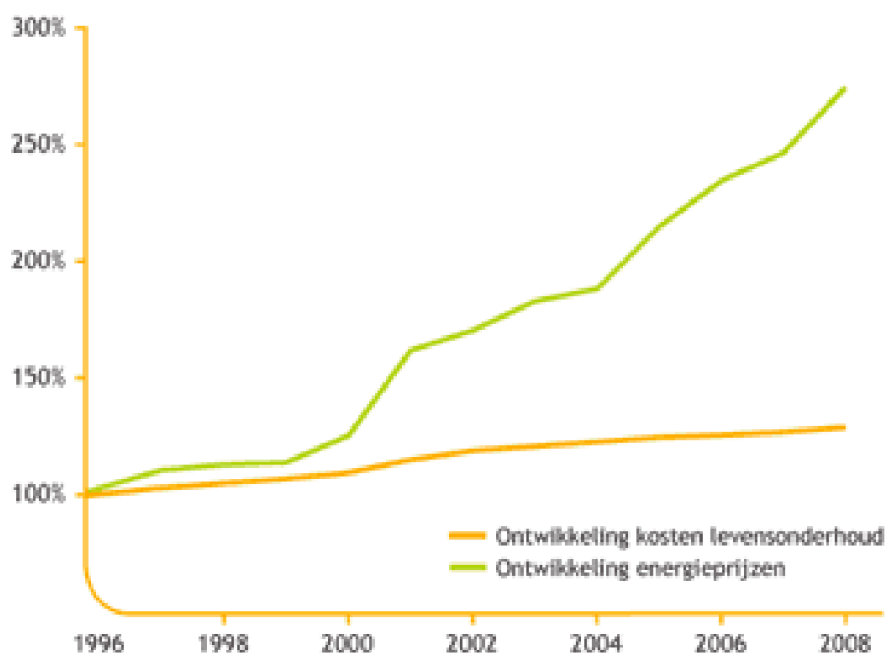
		Offerte 1	Offerte 2	Offerte 3	Gemiddeld	Ontvanger
Groot glasoppervlak	Oost	549	772	988	769,67	75
		498	735	914,4	715,80	75
		444	688	890,4	niet nodig	
		362	572	704,8	Niet nodig	
	Zuid	Te groot	1085	1404	1244,50	75
		Te groot	1085	1404	1244,50	75
		970	1199	1516	1228,33	75
		970	1188	1516	1224,67	75
	West	561	766	941,6	756,20	75
		444	688	890,4	674,13	75
		712	956	1221,6	963,20	75
		Te groot	1085	1338	1211,50	75

		Offerte 1	Offerte 2	Offerte 3	Gemiddeld	Ontvanger
Klein Glasoppervlak	Oost	498	731	988	739,00	75
		460	688	914	687,33	75
		444	989	890,4	Niet nodig	
		350	559	704,8	Niet nodig	
	Zuid	Te groot	925	1404	1164,50	75
		Te groot	925	1404	1164,50	75
		778	1047	1516	1113,67	75
		778	1047	1516	1113,67	75
	West	495	687	941,6	707,87	75
		Te groot	1206	890,4	1048,20	75
		628	846	1221,6	898,53	75
		507	711	1338,8	852,27	75

Zonnecel Sunis RTS	Wind- beveiliging EOLIS RTS	Ingebouwde ontvanger voor draadloze sturing	Draadloze muurzender Smoove	Telis Composio	Somfi telis
195	147	75	49	199	78 €

Bijlage 6

bijlage 6: Stijging van de energieprijzen



Afbeelding 0-1: Bron: centraal bureau voor statistiek: Den Haag/heerlen 16 december 2008

Lijst Figuren

AFBEELDING 2-1: VERSTRENGING PAD EPB WETGEVING. BRON: (VLAAMS ENERGIEAGENTSCHAP 2015B)	8
AFBEELDING 2-2: EISEN BEN-WONING. BRON: (VLAAMS ENERGIEAGENTSCHAP 2014B)	8
AFBEELDING 2-3: TRIAS ENERGETICA. BRON: (RIJKSDIENST VOOR ONDERNEMEND NEDERLAND 2013).....	9
AFBEELDING 2-4: ELEKTROMAGNETISCHE SPECTRUM. BRON: (ES-SO VZW 2012)	11
AFBEELDING 2-5: WISSELENDE STAND VAN DE ZON. BRON: (ECTOTECT n.d.).....	10
AFBEELDING 2-6 STRALINGSSTERKTE VOOR VERTICAAL OPPERVLAKE OP NOORDEN, OOSTEN, WESTEN EN ZUIDEN BIJ 50° NOORDERBREEDTE IN W/M ² . BRON: (ES-SO VZW 2012)	13
AFBEELDING 2-7: Opsplitsing invallende straling. Bron: (ES-SO vzw 2012) /	14
AFBEELDING 3-1 Logo EnergyPlus. Bron: (" <i>EnergyPlus</i> ," n.d.)	17
AFBEELDING 4-1: Zuid- en westgevel van gemiddeld beglaasde woning	22
AFBEELDING 4-2: Zuid- en westgevel van sterk beglaasde woning.	22
AFBEELDING 4-3: ARCHITECTURALE ZONWERING. BRON: (BREEMERSCH 2013).....	27
AFBEELDING 4-4 Indeling van thermische zone, ZW-kant.....	29
AFBEELDING 4-5 Indeling van thermische zone, NO-kant.....	29
AFBEELDING 8-1: BRON: CENTRAAL BUREAU VOOR STATISTIEK: DEN HAAG/HEERLEN 16 DECEMBER 2008.....	61

Lijst Tabellen

TABEL 2-1: ZEVEN PUNTEN SCHAAL TEMPERATUUR BELEVING	10
TABEL 2-2: COMFORTKLASSEN	11
TABEL 2-3: RESULTATEN VAN DE EVALUATIE VAN VERSCHILLENDE ACTIVATIEMETHODEN	16
TABEL 4-1: GLASOPPERVLAKTES VAN STERKE EN NORMAAL BEGLAASDE WONINGEN	21
TABEL 4-2: GLASKARAKTERISTIEKEN ZONWERENDE BEGLAZING	22
TABEL 4-3: HET GEVOLG VAN HET TYPE ZONWEREND GLAS OP VLAK VAN THERMISCH COMFORT EN VERBRUIK	22
TABEL 4-4: GEGEVENS ZONWEREND SCREEN: SOLTIS 86	23
TABEL 5-1: RESULTATEN SIMULATIES - GROOT BEGLAZINGOPPERBLAK & THUISWERKEND	32
TABEL 5-2: RESULTATEN SIMULATIES - GROOT BEGLAZINGSOPPERVLAK & UITWERKEND	32
TABEL 5-3: RESULTATEN SIMULATIES - GEMIDDELD BEGLAZINGSOPPERVLAK & THUISWERKEND	32
TABEL 5-4: RESULTATEN SIMULATIES - GEMIDDELD BEGLAZINGSOPPERBLAK & UITWERKEND	33
TABEL 5-5: BEPALING JAARLIJKSE ENERGIEKOST	38
TABEL 5-6: KOSTPRIJZEN VERVANGING SCREEN	41
TABEL 5-7: VOORBEELD BEREKENING TOTALE VERDISCONTEERDE KOST	42