

# Comfort Climate and Energy Performance at Leon van Gelder School

---

Research in Comfort and Energy Efficiency in Buildings

**M<sup>a</sup>AMPARO MARTÍNEZ COMES**

**Curso 2013 - 2014**



Tutor destino: Gerrit RIBBERINK  
Tutor ETSIE: Milagro IBORRA APELLIDO



UNIVERSITAT  
POLITECNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
INGENIERÍA DE  
EDIFICACIÓN

## Table of contents

### Summary

- 1.- Graduate REPORT (Dutch and English)
- 2.- Literature RESEARCH (English)
- 3.- Research in the influence building energy efficiency design (Dutch)
- 4.- Research in installations use (Dutch)
- 5.- Research in acoustics and design at the coffee room (Dutch)
- 6.- Facade Thermal analyses
- 7.-Plans and Details of the building
- 8.- VIDE – Improve the comfort at the VIDE (English)
- 9.-Construction of the VIDE – Cost estimation and Gantt organization (English)
- 10.- Case study about installation concept and indoor comfort (Dutch)
- 11.- Studies of ventilation at the rooms (Dutch)
- 12.- Attachments
- 13.- Reflection

---

## SUMMARY

---

The Leon van Gelder College is a public secondary school for education. The building was designed by the architect Thomas Rau, and it was constructed in 2004 and completed the beginning of 2005. It was built keeping in mind the **sustainability and innovations of energy efficient**, they wanted that this was one of **the lowest power consumption** of all the schools in Groningen. The heating system of the building is working with a **heat pump** combined with concrete core activation which should provide a smooth and pleasant heated or cooled building, and the construction is composed of a column structure in combination with a monolithic floor. This building has different types of facade with curtain wall and with profiled steel plate with a insulation of glass wool or rock wool. The first idea when O2G2 thought about built this school, they wanted to built the lowest power consumption in the city of Groningen, but it was just the opposite, one of **the most expensive school** in terms of energy consumption O2G2, therefore **it doesn't fulfill the required standards for the sustainability rules and normative of the buildings and the goals for the original project. It was built as energy efficient building as a goal, but is exactly the opposite**

This thesis is about how it could be **improved the climate comfort** inside the building and how could be solved the problems the building has. The school **has high energy losses** and the heating system has a lot of problems about how it works and it is for both the employee and the student **is not very nice to stay in this school** in these circumstances. Therefore it is important to find out where the problems are and **what are the possibilities to solve this**. This is the proposal made to the school where they determine what they will do with this information. So the school chooses to initiate a further investigation of the individuals with this information can do any further investigation. Additionally, the school wanted to improve the comfort space in some areas such as the staff room and a new cafeteria. In the Literature Research in this Thesis there is all the information about **sustainable buildings**, how this heating system works and how we can improve the **comfort climate** in a building with this problems. In addition, there are all the case of study and investigation about this building that we made for figure out a good solution for this problems, as well as all the solution and **constructive details** for improve the comfort in the areas above mentioned.

# **Klimaat- en energieprestatie Leon van Gelder school**

Een afstudeeronderzoek naar de oorzaken van het hoge energieverbruik van en het onbehaaglijke binnenklimaat in de Leon van Gelder school te Groningen.



## **Gegevens studenten:**

Achternaam, voornaam:

Maria Amparo Martinez Comes (409728)  
Hendrika de Bruin (361042)  
Ype de Jong (349912)

Begeleider:

drs. ing. Gerrit J. Ribberink

Lezer:

ir. Robert Ovbiagbonhia

Opdrachtgever:

A. van der Veen

Datum:

25-08-2014

*"The one common experience of all humanity is the challenge of problems"*

- R. Buckminster Fuller (1895 - 1983) -  
(American Architect, Author, Designer, Inventor, and Futurist)



## Samenvatting

### Introductie

In dit rapport is er onderzoek gedaan naar de vraag: *Wat zijn de factoren die verantwoordelijk zijn voor het hoge energieverbruik en ongemak van het Leon van Gelder College?*

Deze vraag is gebaseerd op het Leon van Gelder College wat gelegen is in Groningen. Naar deze school gaan ongeveer 600 leerlingen die VMBO TL, HAVO of VWO volgen.

Het pand is ontworpen door de architect Thomas Rau, gebouwd in 2004 en opgeleverd in 2005<sup>1</sup>.

De school is opgebouwd uit een constructie van een stalen kolommen structuur in combinatie met breedplaatvloeren<sup>2</sup>. Daarnaast bestaat de schil uit een metalen feldsdak, 100mm glaswol isolatie en met daarachter een gevouwen staalplaat.

Het pand bevat een warmtepomp in combinatie met betonkern activering die het gebouw gelijkmatig verwarmt of juist koelt.

De school is zo ontworpen dat het de energie zuinigste school van scholengemeenschap O2G2 (Openbaar Onderwijs Groep Groningen) zou moeten zijn, helaas is dit het tegenovergestelde. In de winter zitten de leerlingen met de jas aan in het lokaal, daarom hebben ze in één lokaal een alternatief verwarmingssysteem toegepast als test.

Het doel van dit rapport is een juist antwoord te verkrijgen op de hoofdvraag en tegelijkertijd de opties voor een zuiniger energieverbruik en een beter gebruikskomfort te kunnen aangeven.



Afbeelding, entree Leon van Gelder College (door H. de Bruin).

### Methode

Het onderzoek bestaat uit een literatuurstudie en uit een empirisch onderzoek. Hier zijn een tal vragen voor opgesteld met als doel het vinden van een antwoord op de hoofdvraag.

Deze subvragen zijn:

1. Wat wordt er verstaan onder energiezuinigheid (literatuuronderzoek deel 1)?
2. Welke factoren bepalen de mate van energiezuinigheid (literatuuronderzoek deel 2)?
3. Wanneer is er sprake van een energiezuinig schoolgebouw (literatuuronderzoek deel 3)?
4. Welke factoren spelen een rol bij een behaaglijk binnenklimaat (literatuuronderzoek deel 4)?
5. Wanneer is er sprake van een behaaglijk binnenklimaat binnen (literatuuronderzoek deel 5)?
6. Welke meet- of rekeninstrumenten zijn geschikt om de behaaglijkheid van het binnenklimaat te voorspellen (literatuuronderzoek deel 6)?
7. In welke mate is het ontwerp van invloed op de mate energiezuinigheid van de Leon van Gelder school (casestudy 1)?



8. In welke mate is de thermische kwaliteit van de bouwkundige schil van invloed op de energiezuinigheid van de Leon van Gelder school (casestudy 2)?
9. In welke mate is het installatieconcept van invloed op de energiezuinigheid van de Leon van Gelder school (casestudy 3)?

De werkwijze bestaat uit meerdere methoden zo is er veel informatie verzameld van artikelen (school, systeem, materialen etc.), er zijn diverse boeken gelezen en is er contact geweest met verschillende professionals. Daarnaast is er veel gewerkt op het Leon van Gelder college, zo is er ervaren wat de problemen zijn in het pand en is alles dichtbij.

### Resultaten

De resultaten die uit het onderzoek zijn gekomen omvatten de oorzaak van de problemen met de energiekosten. Er is gekeken naar de opbouw van de gevels, hoe het pand is ontworpen met de nadruk op energiezuinigheid, naar de installaties en hoe comfort in het gebouw te verkrijgen is. Als eerste is er uit het literatuur onderzoek naar voren gekomen dat er veel factoren zijn die de mate van comfort en een aangenaam binnenklimaat kunnen beïnvloeden. Zo zijn er volgens de theorie van Fanger al 12 variabele factoren die het gevoel van comfort beïnvloeden en er voor kunnen zorgen dat de mens zich comfortabel voelt of niet.

Uit het empirisch onderzoek is te concluderen dat er binnen het ontwerp van de school bouwtechnisch weinig fouten zijn gemaakt. Echter is er bij de installaties wel het een en ander aan te merken.

### Discussie

De discussie bestaat uit de resultaten en conclusies die zijn ondervonden. Hierbij kunnen weer nieuwe vragen uit ontstaan.

In dit hoofdstuk beschrijven we ook nieuwe tegengekomen probleemstellingen die eventueel een ander afstudeergroep zou kunnen behandelen. Zo heeft het pand afwatering via het dak (/gevel), er zijn een aantal kozijnen terugliggend in de gevel geplaatst doordat de gevel scheef afloopt blijft hier water liggen; Het pand werkt waardoor er in het damestoilet een aantal deuren niet meer kunnen sluiten, in een aantal lokalen zijn er ook scheuren in de muren te vinden; De isolatie steekt op diverse plekken uit de gevel deze kan nat worden en in de toekomst voor nieuwe problemen zorgen.

Het discussiepunt van comfort is zeker een waarde welke voor elk mens verschilt omdat een groot deel van het gevoel van comfort aan de staat waarin de mens zich verkeerd afhangt.

Het per mens verschillend of een ruimte als aangenaam wordt ervaren of juist als onaangenaam. Omdat deze factoren erg variabel zijn per menselijk lichaam en psychische staat van deze mens verschillen is, is er geen vaste waarde aan comfort te koppelen waarmee we deze kunnen uitdrukken. Er is kritisch naar de bevindingen en onjuistheden gekeken.

Ook kunnen er discussiepunten afkomstig van de literatuurstudie ontstaan. Zo is het begrip energiezuinig nog al een breed begrip, wat veel partijen weer op een andere manier interpreteren.

<sup>1</sup> Lopers rollen uit voor leerlingen <http://www.dietweeoudewebsite.nl/dietwee/showcase/werk/websites/presentation/rau/index.html>

<sup>2</sup> Opvallend schoolgebouw is architectonisch hoogstandje [http://www.bouwinfonet.nl/project\\_detail.php?pid=76](http://www.bouwinfonet.nl/project_detail.php?pid=76)

## Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerverslag van ons Amparo, Ype en Hendrika. Amparo is een internationale studente afkomstig uit Valencia (Spanje), ze studeert voor een jaar in Nederland aan de Hanze Hogeschool te Groningen. Ype en Hendrika zijn reguliere studenten van de Hanze hogeschool te Groningen.

Sinds begin februari zijn wij met een groot onderzoek van start gegaan naar de energiezuinigheid van het Leon van Gelder College. Daarom zijn we in een periode van 5 maanden werkend op zowel de Hanze hogeschool, Leon van Gelder College en ook thuis met dit grootschalig onderzoek bezig gegaan. In de tussentijd heeft er vervelende situatie plaatsgevonden waarbij Ype in eerste instantie niet verder met afstuderen mocht gaan. Hierdoor heeft het onderzoek deels stilgelegen, waardoor er helaas een vertraging is ontstaan.

Daarnaast zijn we er niet in geslaagd om het afstuderen in één keer met een voldoende af te sluiten waardoor we deze herkansen voor eind augustus 2014.

Naast de vervelende situaties zijn we ook erg dankbaar dat we dit onderzoek hebben mogen doen. We hebben veel geleerd en willen graag ook de mensen bedanken die veel voor ons hebben betekend. Graag willen wij daarom Anita van der Veen bedanken voor de gastvrijheid, enthousiasme en medewerking. De heer Gert Wage voor het begeleiden en het voorzien van belangrijke informatie zoals de meest recente tekeningen van het pand. De lezer van ons onderzoek Robert Ovbiagbonhia en ook onze begeleider Gerrit Ribberink mag niet ontbreken graag willen wij hem bedanken voor het coachen, ons voorzien van goede voorbeelden en ondersteuning van ons onderzoek.

Amparo, Ype en Hendrika  
(Groningen, 25 augustus 2014)



# Inhoudsopgave

<b>SAMENVATTING</b>	<b>6</b>
<b>VOORWOORD</b>	<b>8</b>
<b><u>1 INLEIDING</u></b>	<b><u>10</u></b>
<b>AANLEIDING</b>	<b>10</b>
<b>RELEVANTIE VAN HET ONDERZOEK</b>	<b>12</b>
<b>PRAKTISCHE RELEVANTIE</b>	<b>12</b>
<b>LEESWIJZER</b>	<b>12</b>
<b><u>2 ONDERZOEK/ RESEARCH</u></b>	<b><u>13</u></b>
<b>LITERATURE RESEARCH</b>	<b>13</b>
<b>DEELVRAGEN CASESTUDY (EMPIRISCH ONDERZOEK)</b>	<b>19</b>
<b><u>3 METHODE VAN ONDERZOEK</u></b>	<b><u>23</u></b>
<b>METHODEN</b>	<b>23</b>
<b>MEETINSTRUMENTEN</b>	<b>23</b>
<b>METINGEN</b>	<b>23</b>
<b>DATA ANALYSE</b>	<b>24</b>
<b>KWALITEIT VAN HET ONDERZOEK</b>	<b>24</b>
<b>BETROUWBAARHEID</b>	<b>24</b>
<b>VALIDITEIT</b>	<b>24</b>
<b><u>4 RESULTATEN VAN DE CASESTUDIES</u></b>	<b><u>26</u></b>
<b><u>5 DISCUSSIE, CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN</u></b>	<b><u>29</u></b>
<b>CONCLUSIE</b>	<b>29</b>
<b>DISCUSSIE</b>	<b>30</b>
BETROUWBAARHEID	30
INTERNE VALIDITEIT	30
MEERWAARDE VAN HET ONDERZOEK	30
<b>AANBEVELINGEN</b>	<b>31</b>
PRAKTISCHE IMPLICATIES	31
SUGGESTIES VOOR VERVOLGONDERZOEK	31
<b><u>6 LITERATUURLIJST</u></b>	<b><u>32</u></b>
<b><u>7 BIJLAGEN</u></b>	<b><u>33</u></b>

# 1 Inleiding

## Aanleiding

In de wijk Vinkhuizen staat sinds 2005 tussen de rijtjeswoningen een bijzonder opvallend pand<sup>1</sup>. In dit pand is het Leon van Gelder College gevestigd met jaarlijks ongeveer 600 leerlingen die VMBO, HAVO of VWO volgen.

Het ontwerp had meerdere doelen waaronder dat het pand de energiezuinigste school zou moeten zijn van Groningen, maar dit is helaas niet gelukt. Er wordt veel geklaagd over de gezondheidsklachten droge ogen, hoofdpijn, vermoeidheid en duizeligheid. Volgens de gebruikers is er veel overlast van tocht, is het er winters erg koud en in de zomer veel te warm. De leerlingen hebben zelfs winterperiodes met hun jassen aan in het lokaal gezeten. Er wordt in dit rapport onderzoek gedaan naar de mogelijke factoren, de conclusies en mogelijke oplossingen. Die als een voorstel overhandigd worden aan het Leon van Gelder College.

De school bevat betonkernactivering in combinatie met een warmtepomp die het pand gelijkmatig zou moeten verwarmen en koelen. De constructie van het pand bestaat uit kolommen structuur in combinatie met een breedplaatvloer. Daarnaast bestaat de schil uit een geprofileerde staalplaat met daarachter een isolatie van steen- of glaswol.

De school heeft dus een zeer hoog energieverbruik en is één van de duurste scholen van Groningen. Er is in één lokaal een alternatief verwarmingssysteem toegepast deze lijkt veel positiever naar voren te komen. Daarom is het nuttig om tijdens het onderzoek ook hier naar te kijken.

Het doel van het onderzoek is dus het achterhalen wat de factoren zijn voor het hoge energieverbruik en comfortproblemen van het Leon van Gelder College en onderzoeken wat de eventuele mogelijke oplossingen kunnen zijn. Naast het comfort en energieprobleem is er vraag naar een vide die men graag dichtgezet wil hebben en een nieuwe inrichting van de docentenkamer. De vide bevindt zich in de hal en theaterruimte die dagelijks gebruikt wordt als aula voor de leerlingen. Docenten zijn bang dat er tassen of iets dergelijks naar beneden gegooid zullen worden. Daarbij komt kijken zodra de deur van buiten naar de hal opengaat er flink wat koude lucht in de ruimte wordt geblazen, wat onder andere tocht veroorzaakt.

De docentenkamer heeft een akoestisch probleem, het galmt hier heel erg. De ruimte bestaat uit oude meubelen die de docenten zelf hebben meegebracht. Deze twee punten worden behandeld in de bijlagen onder hoofdstuk 3 en 4 ('3 Welke mogelijkheden zijn er om de behaaglijkheid van de ruimten rondom de Vide te verbeteren' en '4 Onderzoek akoestiek en ontwerp koffiekamer') en zullen verder in het rapport niet/ nauwelijks voorkomen.



Afbeelding satellietfoto van het Leon van Gelder College in de wijk Vinkhuizen (Bron: Google Maps).

<sup>1</sup>Meer dan zomaar een schoolgebouw, Spijkerhard door Jaap Ekhart.

## Vraagstelling

De bovenstaande problematiek (onprestatie binnenklimaat en energieverbruik Leon van Gelder school te Groningen) vormt de aanleiding voor dit onderzoek en heeft geleid tot de volgende hoofdvraag en deelvragen:

### Hoofdvraag

Welke factoren bepalen het hoge energieverbruik van en de comfortproblemen in de Leon van Gelder school te Groningen?

### Subvragen

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden zijn subvragen geformuleerd. De beantwoording van deze subvragen gebeurt met behulp van literatuuronderzoek. Samen met de resultaten uit het empirische onderzoek kan de hoofdvraag worden beantwoord. De subvragen in twee deeldomenen zijn:

#### *Literatuuronderzoek energieverbruik*

1. Wat wordt er verstaan onder energiezuinigheid (literatuuronderzoek deel 1)?
2. Welke factoren bepalen de mate van energiezuinigheid (literatuuronderzoek deel 2)?
3. Wanneer is er sprake van een energiezuinig schoolgebouw (literatuuronderzoek deel 3)?

#### *Literatuuronderzoek comfortabele binnenklimaat*

4. Welke factoren spelen een rol bij een behaaglijk binnenklimaat (literatuuronderzoek deel 4)?
5. Wanneer is er sprake van een behaaglijk binnenklimaat binnen (literatuuronderzoek deel 5)?
6. Welke meet- of rekeninstrumenten zijn geschikt om de behaaglijkheid van het binnenklimaat te voorspellen (literatuuronderzoek deel 6)?

Vanuit de verzamelde inzichten uit de literatuur wordt in het tweede deel van het onderzoek met een aantal gerichte deelvragen studie gedaan naar de problematiek binnen de Leon van Gelder school, te weten:

#### *Casusstudie (empirisch onderzoek)*

7. In welke mate is het ontwerp van invloed op de mate energiezuinigheid van de Leon van Gelder school (casestudy 1)?
8. In welke mate is de thermische kwaliteit van de bouwkundige schil van invloed op de energiezuinigheid van de Leon van Gelder school (casestudy 2)?
9. In welke mate is het installatieconcept van invloed op de energiezuinigheid van de Leon van Gelder school (casestudy 3)?
10. In welke mate is het gebruik van de installatie van invloed op de behaaglijkheid van het binnenklimaat in de Leon van Gelder school (casestudy 4)?

## Relevantie van het onderzoek

### Praktische relevantie

Dit onderzoek is opgestart door het Leon van Gelder college waarbij Anita van der Veen de contactpersoon was. Ook is Gert Wage van Team 4 Architecten en van openbaar onderwijsgroep Groningen (O2G2) nauw betrokken bij het onderzoek.

Het Leon van Gelder College heeft veel baad bij een goed onderzoek. Het is voor de school van belang wat er precies aan de hand is, zodat dit kan worden opgelost. De school heeft hoge energiekosten en het is zowel voor de medewerker als de leerling niet erg fijn om in deze omstandigheden in deze school te verblijven. Daarom is het belangrijk om te achterhalen waar de problemen zich bevinden en wat de mogelijkheden zijn om dit op te lossen. Dit wordt als voorstel aan de school geleverd waarbij zij bepalen wat zij met deze informatie gaan doen. Als de school ervoor kiest een verder onderzoek te starten kunnen de personen met deze informatie eventueel verder onderzoek doen. Daarnaast is het voor andere bedrijven die bijvoorbeeld gaan werken aan het verbeteren van de omstandigheden (bijvoorbeeld de installateur) goed om te weten waar de problemen liggen en wat er verbeterd zou kunnen worden.

### Leeswijzer

Hier vindt u in hoofdstukken wat u per hoofdstuk kunt verwachten.

#### 2 Literatuuronderzoek

In dit hoofdstuk vindt u het Engelstalige literatuuronderzoek met betrekking tot het energieverbruik en waarbij onderzoek gedaan wordt naar een comfortabel binnenklimaat. Hierin wordt verhelderd wat men verstaat onder energiezuinigheid, welke factoren hier invloed op hebben, wanneer een school energiezuinig is, welke factoren een rol spelen bij een behaaglijk binnenklimaat, wanneer er sprake is van een behaaglijk binnenklimaat en welke meet- of rekeninstrumenten geschikt zijn om de behaaglijkheid op te meten in een binnenklimaat.

Het antwoord op deze vragen wordt meegenomen in het empirisch onderzoek.

U vindt het totale literatuuronderzoek in de bijlagen onder Tabblad 1 Literatuuronderzoek.

#### 3 Methode van onderzoek

Hier wordt aangegeven hoe en met welke methoden het empirisch onderzoek is uitgevoerd.

#### 4 Resultaten van Casestudie

Per deelvraag uit de casus wordt hier het resultaat weergegeven. De conclusies worden hier verwoord die in het rapport van de desbetreffende deelvraag terug te vinden zijn.

#### 5 Discussie, Conclusie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt er teruggekeken naar alle resultaten van het onderzoek. In de eerste paragraaf wordt de hoofdvraag beantwoord: Welke factoren bepalen het hoge energieverbruik van en de comfortproblemen in de Leon van Gelder school te Groningen?

Aansluitend volgt een paragraaf met de discussie waarbij op de betrouwbaarheid van het onderzoek gereflecteerd wordt.

#### 6 Literatuurlijst

Hier vindt u een lijst van alle artikelen en boeken die gebruikt zijn bij dit onderzoek.

#### 7 Bijlagen

In de bijlagen vindt u het volledige literatuuronderzoek, de casusstudies, onderzoek dichtzetten vide, onderzoek inrichting koffiekamer en de persoonlijke reflecties van Amparo, Ype en Hendrika.

## 2 Onderzoek/ research

### Literature research

The research is made in order to solve the problems that the building has, for that we propose a main question in our research, as we saw before in the methods, and also sub questions that guide us to find a solution for the main question. In order to solve all this questions with clarity and more knowledge, and deepen into the main issue, we made a literature research with all the general ideas, transcriptions, descriptions and issues that led us to answer the questions and make conclusions applying that to the building.

The main question is: what are the factors responsible for the high energy consumption and discomfort of the Leon van Gelder School?

As we said, the literature research contains all the necessary to answer with precision the main question at the same time that analyze and deep in all the issues and points that constitute it. For this reason, this research is made from a general point of view approaching to the concepts more specifics in order to solve as well the empirical part. These are based on energy efficiency, energy consumption, indoor comfort and how to get through these aspects an energy efficient building.

This literature research that we made covers all the topics inside the questions for explain in detail each of these parts. For this reason the main report of the Literature Research is a large report, so we decided to summarize it and put in the research questions just the important and relevant issues, and put the main Literature Research in the attachments of the main report, where you will find all the solutions more developed. In addition, this literature research has each own attachments and some parts of the questions refers to these.

### What is meant by energy efficiency? (Substudy 1)

Energy efficiency is a way of managing and restraining the growth in energy consumption and optimizes the relationship between the amount of energy consumed and the products and services obtained at the end. Something is more energy efficient if it delivers more services for the same energy input, or the same services. Is an energy reduction technique.

The energy efficiency is in the hand of the population. It can help to solve a series of objectives with low cost and with the security of supply and social aspects inter alia, without environmental impact, competitiveness and trade balance.

The energy efficiency is a huge issue that covers a lot of subject, and in this research we are focused in one of the principals, the energy efficient buildings.

(1) This part refers to chapter 3 (page 9) of the Literature Research, in the attached document.

## Which factors determine the level of energy efficiency? (Substudy 2)

An energy efficient building is that one that greatly reduced energy needs through efficiency gains such that the balance of energy needs can be supplied with renewable technologies.

Buildings have a significant impact on energy use and environment. The energy used by the building sector continues to increase, primarily because new buildings are constructed faster than old ones are retired.

It is possible to define an energy efficient building for the source of energy, the energy costs that it has and the energy emissions.

In the buildings we can have a lot of factors that waste energy every time, for this reason we searched about the factors for achieve an energy efficient building.

We can summarize all the factors for achieve an energy efficient building in these following points.

- Thermal isolation in the envelope. The building can lost or keep the heat and the cold inside, depending to that, so it will determine the amount of energy that it needs to heat or cool the building.
- Reduce heat loss by infiltration in winter. This refers to the isolation of the building, but also in general, depending to the glass of the windows, to how often the doors are open and the contact with outside.
- Proper orientation of the building. The building design has a huge impact on the energy demand, and the solutions of that should take an important role, for example, the contact between the building with the surface and the environment outside. The position of the windows and doors in the façade and how much sun it can have inside depending to the orientation, in winter the south façade receives directly many hours of sun during the day, and the facades east and west are 2,5 times more radiation in summer than in winter
- Allow entry of the sun in winter. Related with the orientation and the shadows that the building can has. In a building south orientated, if it have shadows in the windows produced by sunscreens or trees, the sun will be into the building in winter, but not in summer, because the sunscreens will produce shadows and keep cold inside. So these sunscreens should be fixed, mobiles, horizontals or verticals, depending to the orientation of the building.
- Use systems of heating and air conditioning efficient ( energy labeling ). This is an important issue for have an efficient and sustainable building, because, as we saw before, this is the cause of all the energy waste in the buildings. One of the systems that we research about is, is the heat and cold system by heat pumps. This consists basically in a heat pump and ground loop that warms or cools a circulating fluid, depending to the season and transfers it to the building.
- Use of Low-E glasses at the windows. These glasses allow passing the solar radiation through them heating the building, keeping the heat inside.
- Energy savings in hot water (Drevas System)
- In rule double roofs as insulation thickness and seek to incorporate shade elements.
- Use efficient lighting using low energy lamps. LED lamps use less energy than others.
- Modernization of energy facilities in the building and improving the energy rating of the same.
- Correct waste management.

(2) *More detailed information at the chapter 4 "Energy Efficiency Buildings" (Page 10 until page 41) of the Literature Research, at the attachments.*

### When is a school building energy efficient? (Substudy 3)

An energy efficient school is one that minimizes the use of conventional energy (particularly non-renewable energy), to save and make wise use of it.

A school is energy efficient as using less energy is needed to provide the same service, or in another hand, using renewable energy to provide the same service that with the conventional energy.

Besides, we can determine if a school building is energy efficient or not with the source of energy that it use, the energy costs of the building and the energy emissions.

- The energy source of an energy efficient building produces at least as much energy as it uses in a year, when accounted for at the source. Source energy refers to the primary energy used to generate and deliver the energy to the site. To calculate a building's total source energy, imported and exported energy is multiplied by the appropriate site-to-source conversions multipliers.
- Energy costs is the amount of money that the utility pays the building owner for the energy that the building exports to the grid is at least equal to the amount the owner pays the utility for the energy services and energy used over year.
- Energy emissions. The emissions that a building produces at least as much emissions-free renewable energy as it uses from emissions producing energy sources.

Under sustainable means more than just the energy performance. It should also include a healthy and pleasant living environment. These include natural light, clean air, recycling materials, construction processes that respect the environment, attention to environment and limiting water use and waste.

A school or a building in general should have a proper operation of the heating and cooling systems. This has a big influence with the adequate comfort and it must be connected with the activity that is going to be performed depending on the classrooms and the building. Is not the same comfort in a normal classroom that at the cafeteria, or in a meeting hall on at the school gym, where is a place for the physical activity and people there tend to have heat and sweat. Also this will be affected for other factors, for example the amount of people that will be in the same place, the clothes that they are wearing, the orientation of the classroom, the place and the every part of the building will have a different comfort between them because the design of the building. For example, the school gym cannot be placed on the south façade, where it is all day falling the sun over this.

In addition, is really important for the correct comfort in a school, the ventilation in all the rooms, keeping in mind the process and way of this ventilation, the dimensions of the place to ventilate and the amount of ventilation that each room needs.

Furthermore, the design of the building will be closely linked to the construction of a sustainable and energy efficient school. Considering the materials used for the building, they will be sustainable materials, with a long service life, short manufacturing process without too much energy and chemical products to make it, local products with short way of transportation, etc... Also it will be affected by the way of the building construction, for example how to prevent the lost of energy inside of the building by the thermal bridges that can have the walls and the windows of the facade. If the heat or cold stays inside there will be less energy use of the heater or cooler system.

Finally we also can determine an energy efficient school for the systems and complements that the building has. For example, if the building is using LED lamps, etc. actually this is one of the energy consumptions which can be controlled easily in a local or in a school building. The Lighting



consumption can solve a considerable energy savings, and at the same time, making the building more energy efficient using smart lighting solutions.

One of the correct energy saving strategies to keep in mind is the average of lighting that is need in a space. Besides to have a proper lighting comfort in a room, if you establish the light level required for each space, ensuring the operation hours under a schedule control. This would lead until a 20% of light energy.

Also, if there are installed in all the classrooms, halls and corridors motion detectors, the light will automatically turn off when the space is unoccupied, using in this way the light only when is necessary. This would lead around 15% of light energy.

As we mentioned above, using the natural and sun light is very important to save energy and to create an efficient building. So, for make it works properly, it would be automatically adjusted the lighting levels in each space. This whole could save up 15% of the light energy consumption.

The last solution that could be adopted is with the placement of elements for personal control light, which allow users to select the level of light at the space for the right desired work. Through a conventional regulator similar to a switch, or through a system that allows a comfortable lighting management architecture, and can even be integrated as a subsystem in a building control system, and it can be used in different types of light management.(3)

So, it will be an energy efficient school when combines all the factors of comfort, construction and design, with the correct and sustainable behavior of the building users and also with the correct use of all the energy efficient systems.

Therefore, in many cases, is a good option to check the energy efficiency of the buildings by specific programs for that, there it will let you know where the building have lacks and with that would be easier find a solution for improve it. (4)

(3) *There is more information about DALI lighting control system at the attachments of the Literature Research.*

(4) *There is more information about Energy efficiency certificate of buildings at the chapter 8 of the Literature Research, and in addition, you can find the calculations and the certificate of the Leon van Gelder Building at the attachments of the Literature Research.*

## **Which factors play role in a comfortable indoor climate? (Substudy 4)**

The comfort is related to the comfort and well being of the body, therefore it is associated in particular with the body functions that may be affected, such as hearing, vision, and nervous system or joint problems caused by excess vibration.

Then to talk about "comfort" means to eliminate the possible inconvenience and discomfort generated by different actors involved in the balance of the person.

There are three types of comfort that play a role in the indoor climate; those are the thermal, acoustic and lighting comfort.

Regarding the thermal comfort:

- Humidity - Relative humidity. The relative humidity is the percentage between the vapor of the water that the air content, and it would need to contain for be saturated at the same temperature is defined.
- Temperature. The difference between body temperature and room temperature.
- Ventilation. One of the most interesting strategies in reducing cooling loads is the use of ventilation of the buildings. When the entering air has a lower temperature than the comfort temperature, it favors the dissipation of heat accumulated in thermal mass, "dropping" the heat of the building and also acting on the feeling of comfort of the occupants, increasing the evapotranspiration.

- Filtration and air cleaning.
- Psychometrics.
- Building Design and orientation of the building.
- Construction parameters, cold or hot materials used.
- Chill temperature / felt air temperature / air temperature apparent.
- Air Velocity. Can have an effect with the cooling thanks to the humidity, temperature and ventilation.
- Heat transfer - radiation heat. Transfer the heat by conduction, convection and radiation. The radiation transfers the heat between two bodies which are not in contact with each other and between them there is a difference of temperature.

Regarding acoustic comfort:

- Correct acoustics and noise levels.
- Sound proofing. The protection of enclosures against the inside and outside noises.
- Acoustic conditioning. Improving the sound quality and acoustics in an enclosure acoustically isolated from external noise.
- Frequency and temporal distribution of sound.

Finally, in reference to lighting comfort:

- Day lighting.
- Light intensity.
- Lighting level.
- Proper distribution of light sources.
- Contrasts.
- Luminous Balance.

Another important factor in this part is the human body that is prepared to react to all the change, and is who felt the indoor comfort and the first one to determine it.

*(5) More detailed information at the chapter 6 "Indoor Climate Comfort" (Page 43 until page 59) of the Literature Research, at the attachments.*

## **When is an indoor climate comfortable? (Substudy 5)**

Ventilation and heating/cooling can affect the thermal comfort, and air quality indoors and in turn reflects on energy management in the building environment. Thermal comfort and space-conditioning are analyzed against the background of human physiological requirements and in different indoor environments, for example in this case a school.

If there is not a comfortable indoor climate, and there is gaseous and particulate indoor air pollution, there will not be acceptable conditions for health effects.

Therefore, we can say that all the comfort factors are interrelated, while are related to energy efficiency. Considering aspects of a school to determine the comfort, we must be keeping in mind the humidity in the classrooms, the temperature and the ventilation to provide fresh and clean air. This can be seen reflected in the psychometrics studies using tables and calculations that determine the gases in the air regarding to the temperature and to the humidity on it.

Moreover, as already mentioned above, the thermal comfort is closely related to the design of the building, but in this case through the thermal bridges in which role take a lot of importance the materials used in the construction of the building. Besides, it should ensure a correct use of all the systems.

In other hand, regarding to the acoustic comfort, we must to keep in mind the noise level in all the buildings, but for inside of the buildings also play an important role the design. The noises from outside should not be heard inside, so it must be with a proper isolation for that, because the acoustic comfort is the sound level that does not disturb. Or for have a good comfort inside the building, it does not should have interference in communication by reverberations in the rooms, the sound and noise transited by air or structural elements and enclosures. It should be equipped by a correct acoustic isolation and with the proper materials, for example, porous materials and resonator panels for the absorption.

Generally, an indoor climate is comfortable when there is the balance between all the kinds of comfort and the factors that determine each one.

(6) *More detailed information at the chapter 6 "Indoor Climate Comfort" (Page 43 until page 59) of the Literature Research, at the attachments.*

### **Which instruments are suitable to predict the comfort the indoor climate? (Substudy 6)**

There are some kinds of systems and instruments that can show us the level of comfort inside a room, so the use of these instruments can help us establishing the level of indoor comfort climate.

- Thermostats in all the classrooms all connected to software to monitoring all the system.
- Humidity controllers, humidifiers and humidity sensors.
- Decibels of sound controllers.
- Controller air velocity in a local.
- Mechanical conditioning and heating systems refrigeration.
- Lighting Controller.

Moreover, it will be interesting to make calculations for each room, to know the correct and the proper level that each instrument should has.

(7) *More detailed information of instruments to predict the comfort at the attachments of the "Literature Research".*

## Deelvragen casestudy (empirisch onderzoek)

Per deelvraag is er een rapport opgesteld waarin het uitgebreide onderzoek in verwerkt is. Hier wordt kort omschreven wat de belangrijkste opbrengsten zijn binnen het onderzoek, worden inzichten en conclusies in het kort verwoord die in het rapport van de desbetreffende deelvraag terug te vinden zijn.

### Casestudie 1

#### **In welke mate is het ontwerp van invloed op de mate energiezuinigheid van de Leon van Gelder school (Bijlage tabblad 2a Empirisch Onderzoek 'Onderzoek invloed gebouwoffwerp op energiezuinigheid school')?**

Er is onderzocht hoe de architect het ontwerp heeft bedoeld in de zin van energiezuinigheid. Hierbij wordt alleen gekeken naar het ontwerp en niet naar de installaties.

Het gebouwoffwerp heeft veel invloed op de energiezuinigheid van het pand. Als er veel lekken/koudebruggen in het pand bevinden zal er veel warmteverlies zijn en zou het pand extra moeten stoken wat ten koste gaat van de energiezuinigheid. Zo is er gekeken naar de gevels, de grote raampartijen en de oriëntatie van het pand. Uit het deelonderzoek 'Onderzoek invloed gebouwoffwerp op energiezuinigheid school' is naar voren gekomen dat het grootste deel van de gevel bekleed is met Kalzip. Dit is een dak- en gevelsysteem van aluminium felsbanen. Een aluminium gevel die aan de hoogste bouwfysische eisen voldoet.

Een plek waar altijd warmteverlies is zijn de ramen. Deze zijn voorzien van zonwerend HR ++ glas wat wel weer beter weert dan HR glas. Qua materialen in combinatie met het gebouwoffwerp is er wel goed nagedacht wat er waar is toegepast. Zo is er op de beneden verdieping gekozen voor onbehandelde houten Iroko kozijnen, het voordeel hiervan is dat dit weinig onderhoud vraagt. Dit is een voorbeeld dat er wel degelijk is nagedacht over het materiaal. Er is niet veel rekening gehouden met de oriëntatie, helaas is dit ook te merken in de zomer. De kans is dan erg groot dat het pand aan de zuidzijde erg opwarmt door de zon. De noordzijde heeft in de zomer maar een paar uurtjes zon en in de winter zelfs helemaal niet. Waardoor er dus ook geen zonlicht vanuit de noordzijde naar binnen zal komen. Het kan dan erg kil aanvoelen in deze ruimtes. Wat ook een nadeel is van teveel ramen op de noordzijde is dat het winters meer energie kost om deze ruimtes op te warmen. Daarom zijn in de zomer maar ook in de winter veel klachten. In de winter is het pand al snel te koud en in de zomer te warm. Vermoed wordt dat het pand opwarmt via de grote raampartijen op het zuiden. Er is wel rekening mee gehouden om een paar kozijnen te voorzien van panelen in plaats van glas, maar dit helpt helaas niet optimaal omdat deze enkel bestaat uit een dunne plaat.

De vorm van het pand is zo ontworpen dat er hoge ronde plafonds ontstaan zijn, de verwarmde lucht zal hier snel naar boven gaan met de consequentie dat het meer energie kost om de ruimtes op te warmen. De hoge vorm geeft wel een gevoel van veel ruimte maar helaas is de vloeroppervlakte in combinatie met het volume heel erg klein, er is veel onbruikbare ruimte.

De warmtebeelden die voor Casestudie 2 zijn gemaakt vertonen geen grote lekken en de toegepaste gevelmaterialen geven ook niet de indruk dat er grote lekken zouden kunnen zijn.

De oriëntatie van het pand en de grillige bouwvorm van het pand hebben dus niet een positieve invloed op de mate van de energiezuinigheid. Door de grote ramen in het zuiden is het in de zomer snel te warm in het pand en doordat er in het noorden gelegen raampartijen geen zonlicht krijgen is het in de aangrenzende ruimtes al snel kil en neemt het opwarmen van deze ruimtes meer energie. Daarnaast heeft grillige vorm van het pand relatief weinig volume en een groot verliesoppervlak. Dit betekent dat er wel sprake is van verlies van energie maar dat dit niet de grootste factor zal zijn.

Het hele onderzoek is te vinden in de bijlage onder tabblad 2a.

### Casestudie 2

#### **In welke mate is de thermische kwaliteit van de bouwkundige schil van invloed op de energiezuinigheid van de Leon van Gelder school (Bijlage tabblad 2b Empirisch Onderzoek 'In welke mate is de thermische kwaliteit van de bouwkundige schil van invloed op de energiezuinigheid van de school')?**

In dit onderzoek is er gekeken naar de gevel in het geheel en wat de enorme stookkosten zou kunnen veroorzaken. De gehele gevel is ook in afzonderlijke onderdelen onderzocht om dit nog beter te kunnen bestuderen. Er is gebruik gemaakt van diverse instrumenten die een duidelijker beeld geven en waarden welke veel gebruikt zijn binnen de bouw.

Als eerst is er gekeken naar de gevel in zijn geheel dit is gedaan met een warmtebeeld camera (ook wel een thermisch beeld camera genoemd) het pand te inspecteren, uit dit onderzoek zijn geen grote warmtelekken of grote verschillen aan het licht gekomen welke het energieverbruik zouden kunnen verklaren. Op de thermische beelden was er onder andere geen grote afwijking waar te nemen welke duidelijk de oorzaak van het hoge energieverbruik kon zijn. Daarnaast is er een visuele inspectie gedaan van de buitenzijde van het pand hierbij zijn er wel aandachtspunten gevonden voor de school maar geen grote gebreken welke de hoge stookkosten verklaarden.

Omdat het onvoldoende resultaat was voor de onderzoekers is er daarna nog op individuele delen gekeken naar gebreken welke een deel van de klachten van de school zouden kunnen verklaren. Uit het onderzoek in Bijlage 2B is gebleken dat de gevelisolatie een voldoende waarde heeft bereikt volgens de destijds geldende eisen van de wetgever en dat het glas ook goed functioneert. Echter is er in een deel van de gevelopeningen als zonwerend glas toegepast in plaatst van zonwering om de zon en eventuele warmte tegen te houden. Het nadeel hiervan is dat zonwerend glas minder zon en minder warmte tegenhoudt dan zonwering, en deze houdt in de winter meer zon en warmte tegen dan gewoon glas. Beide gevallen kunnen een besparing in energie en verbetering in comfort teweeg brengen. Zoals eerder werd gesteld zijn er uit dit deel van het gebouw geen duidelijke resultaten naar voren gekomen die het hoge energie verbruik kunnen verklaren, hiermee kunnen we dan ook stellen dat de gevel en het dak (omdat het dak gelijk aan de gevel is) goed functioneert en er geen grote warmtelekken zijn. Echter betekend het niet dat de school hier geen actie hoeft te ondernemen zou de school het maximale rendement uit zijn energie willen halen dan zijn dit zeker locaties waar snel en makkelijk een extra rendement op de energie kan worden bereikt.

Het plaatsen van zonwering en het vervangen van het zonwerende glas door standaard HR++ glas raden de onderzoekers zeker aan.

Daarnaast zijn er ook nog een aantal locaties waar de gevel niet goed sluitend is uitgevoerd waardoor er isolatie naar buiten steekt of de kans bestaat dat de isolatie nat wordt.

Er zijn genoeg aandachtslocaties volgens het onderzoeksteam maar deze leveren niet per direct een vermindering in de energieprestatie op voor het pand.

### Casestudie 3

#### **In welke mate is het installatieconcept van invloed op de energiezuinigheid van de Leon van Gelder school (Bijlage tabblad 2c Empirisch Onderzoek 'In welke mate is het installatieconcept van invloed op de behaaglijkheid van het binnenklimaat')?**

Er is gekeken naar het installatieconcept en de mogelijke problemen die deze met zich mee kan brengen. Omdat het ten tijde van ontwikkelen en bouwen nog een nieuw systeem was en er weinig kennis en ervaring was met deze combinatie van systemen bestaat er een reële kans op fouten of verkeerde inschattingen.

Om het installatieconcept goed te kunnen onderzoeken is er naar alle onderdelen individueel gekeken om zo mogelijke fouten goed te kunnen analyseren.

Uit het onderzoek is gebleken dat de systemen los van elkaar goed lijken te werken omdat deze voldoen aan de verwachtingen. Zo wordt door de betonkernactivering verwarmd en gekoeld in het gebouw en het ventilatiesysteem ververst de lucht, echter met volledig zeker is dit niet vast te stellen omdat de middelen om dit te meten en vast te stellen niet binnen het bereik lagen van de

onderzoekers. Om dit tot in detail te onderzoeken zouden experts op het gebied van installaties met de juiste technische kennis moeten worden geraadpleegd. Wel is er onderzoek gedaan naar het vaker voorkomen van dit probleem waarbij er een artikel is gevonden met dezelfde klachten structuur en hetzelfde probleemgebied.

Hiermee moet ook duidelijk worden dat er in de systemen zelf niets mis is maar dat de samenwerking tussen systemen en het gebrek aan kennis tijdens de bouw de oorzaak zullen zijn van het ontstaan van de problemen waardoor er nu een oncomfortabel binnenklimaat en te hoge energienota voor de school gelden.

De werking van de installaties in de huidige situatie is dat er vanuit de plafonds verwarmd of gekoeld wordt door de betonkernactivering, de afgestraalde warmte komt op een systeemplafond terecht welke de warmte moet gaan verdelen in de ruimte.

De toevoer van verse lucht geschied door roosters in de gevel welke een natuurlijke aanvoer verzorgen. Deze verse lucht wordt via wings naar het systeemplafond gestuurd om een val van koude lucht te voorkomen. De koude lucht wordt opgewarmd door de betonkernactivering op het systeem plafond en zou volgens ontwerp dan in de ruimte verspreid moeten worden.

Als laatste wordt de afzuiging gedaan door een rooster boven de deur welke de "vervuilde" lucht moet afvoeren via een mechanisch systeem.

De grootste oorzaak van de hoge stookkosten ligt binnen dit systeem omdat de verse verwarmde lucht via het plafond voor een groot deel direct weer wordt afgevoerd via het lucht afvoerrooster. Hierdoor blijft het systeem constant verwarmen en zal nooit het gewenste rendement gehaald worden.

Voor het volledige onderzoek van het installatieconcept verwijzen we u graag naar bijlage 2C.

#### Casestudie 4

#### **In welke mate is het gebruik van de installatie van invloed op de behaaglijkheid van het binnenklimaat in de Leon van Gelder school (Bijlage hoofdstuk 2d Empirisch Onderzoek 'Onderzoek gebruik Installaties')?**

In het onderzoeksrapport wordt onderzoek gedaan naar het gebruik van de installaties in Combinatie met de behaaglijkheid van het binnenklimaat.

De docenten en leerlingen van het Leon van Gelder College klagen over het behaaglijk binnenklimaat Van het pand. Zomers is het hier te warm en winters is het hier te koud. Ze kampen met verschillende klachten zoals hoofdpijn, vermoeidheid, duizeligheid etc.

Het pand wordt verwarmd door betonkernactivering in combinatie met een waterpomp. Hiervoor is een automatisch programma ingesteld die de temperatuur berekend op het buitenklimaat. Dit wordt geregeld door sensoren die op de Noordzijde van het pand zitten. Deze zijn in het verleden al verplaatst omdat deze sensoren zich in het gebied bevonden waar de warme afgevoerde lucht langs gaat en het systeem hierdoor continu dacht dat het 20 graden was. Er is verder helaas niet veel bekend omdat het beheer van het verwarmingssysteem net is overgenomen door Kropman. Deze werd altijd beheerd door Wolter en Dros, maar er is hier desondanks er contact is geweest geen informatie vrijgekomen.

Een lokaal warmt al een paar graden extra op als er leerlingen en docenten deze betreden. In de zomer is dit al snel nadelig omdat het snel en ook lang warm is in de desbetreffende ruimte. Een betonkernactivering is een relatief traag systeem, waardoor dit systeem niet meteen geschikt is om de hele school op te warmen en te koelen. Wat ook duidelijk is te merken in dit pand. Zomers is het te warm en winters te koud. Klimaatgroep Holland heeft daarom in één lokaal een alternatief systeem, in dit lokaal zijn geen klachten meer. Dit systeem verwarmt één ruimte afzonderlijk wat in een school handiger is omdat niet alle lokalen altijd bezet zijn en in de ene lokaal wel meer personen kunnen verblijven dan in een ander lokaal. Het is daarom niet gunstig om het hele pand op hetzelfde niveau te verwarmen (of te verkoelen).

Net onder de ventilatieroosters bevinden zich de zogeheten Wings, dit is een stuk plexiglas die ervoor moet zorgen dat de frisse lucht de ruimte ingeblazen wordt. De Wings zijn erg smerig en

omdat deze zo hoog zitten kan er geen schoonmaker bij komen. Wat niet alleen nadelig is voor het aanzicht maar ook voor de gezondheid van de leerlingen en docenten.

Uit deze gegevens kan er geconcludeerd worden dat het gebruik van de installatie van invloed is op het binnenklimaat van de school. Het programma wat het binnenklimaat van de school beïnvloed verwarmt het hele pand gelijkmatig op wat niet handig is. De verschillende lokalen zijn niet altijd bezet, laat staan dat er in elk lokaal evenveel personen verblijven. Een kantoorruimte waar een persoon verblijft, wordt daarom nu verwarmd alsof er twintig personen verblijven wat alleen maar nadelig werkt. Daarnaast zijn de roosters erg smerig en kan er niet altijd iemand bij vanwege de hoogte om dit schoon te maken.

Het hele onderzoek is te vinden in de bijlage onder tabblad 2d.



## 3 Methode van onderzoek

### Methoden

De methoden van de diverse onderzoeken zijn ook zoals te lezen is in de deelrapporten vanuit het literatuuronderzoek naar het empirisch onderzoek toe gewerkt. Om bij het empirisch onderzoek een goede basis te hebben voor het onderzoeken van de hoofdvraag is er daarom eerst onderzoek gedaan naar de systemen, de definitie van energiezuinigheid en nog enkele andere, deze begrippen zijn belangrijk om duidelijk te maken voor de onderzoekers wat er verstaan wordt onder de diverse begrippen en om de lezers duidelijk te maken wat hiermee bedoeld wordt.

Vervolgens is er in het empirisch onderzoek een studie gemaakt naar een groot aantal individuele delen, er is onder ander onderzoek verricht naar de installaties, de isolerende werking van de gevel en de invloed van deze elementen op het energieverbruik. Door deze onderdelen los van elkaar te onderzoeken is er getracht om de oorzaak van het hoge energieverbruik goed te kunnen lokaliseren zodat de opdrachtgever een duidelijke conclusie heeft waar zij verder mee kan werken om het probleem op te lossen.

### Meetinstrumenten

Om de verschillende waarden te kunnen berekenen is er gebruik gemaakt van diverse meetinstrumenten deze meetinstrumenten kunnen zijn een warmte beeld camera welke thermische beelden maakt van een gevel of oppervlak om hier de verschillende temperaturen op te kunnen aflezen en zo eventuele warmtelekken te kunnen lokaliseren.

Een berekening van ventilatie is bedoeld om de minimale ventilatie van een ruimte te bepalen, hiervoor gelden normen van de overheid welke aan voldaan dient te worden. Echter een te grote hoeveelheid aan ventilatie kan leiden tot een gevoel van tocht of het niet goed opwarmen van een ruimte.

De isolerende werking van de diverse gevel elementen wordt onderzocht in een zogenoemde RC berekening hiermee kan zeer nauwkeurig berekend worden hoe hoog de isolerende werking van een deel van een gevel, dak of vloer is. Ook hier zijn standaard waarden voor welke de overheid voorschrijft het is met deze waarde wel dat hoe hoger de waarde des te hoger de isolerende werking van het onderzochte.

### Metingen

Er zijn binnen dit rapport diverse metingen gedaan om zoveel mogelijk data te vergaren zodat het onderzoeksrapport zo compleet en eenduidig mogelijk te maken. Ook is er bij het doen van de metingen zoveel mogelijk met vastgestelde waarden gewerkt om de metingen zo gelijkwaardig en waarheidsgetrouw mogelijk uit te voeren. Dit ook om te zorgen dat de opdrachtgever van het onderzoek een zo helder en compleet mogelijk onderzoek als eindresultaat krijgt.

Hierbij is er onder andere gewerkt met ventilatie berekeningen en RC berekeningen om de isolerende werking van de gevel te bepalen en zijn ook het luchtvochtgehalte en de temperaturen gemeten en bijgehouden.

## Data analyse

Per onderdeel is er data verzameld en hierbij is er bij de onderzoekers zoveel mogelijk aandacht besteed aan de waarheidsgetrouwheid van deze data. Hierbij is het belangrijk om de bron te kennen van de data zodat er al snel gekeken kan worden of de data betrouwbaar is.

Ook is er bijna nooit binnen het onderzoek van data bron afgegaan maar toch meerdere bronnen en databanken geraadpleegd om zo de echtheid en betrouwbaarheid hiervan te controleren.

Tevens is er bij twijfel altijd een herberekening of een docent met kennis van dit vak geraadpleegd om zo de berekening of data bron te controleren.

Helaas was niet alle informatie voor het onderzoeksteam verkrijgbaar na het zoeken op internet, in boeken, artikelen en een bezoekje aan de Groninger Archieven kon niet alle gewenste informatie gevonden worden. Hierdoor is het onderzoeksteam op een aantal punten minder ver in het onderzoek gegaan om dat hier geen beschikbare data voor was om te analyseren.

## Kwaliteit van het onderzoek

### Betrouwbaarheid

Het onderzoek is gebaseerd op een vraag van de opdracht gever om de hoge stookkosten en het discomfort van de school te onderzoeken. Hieruit is een hoofdvraag en zijn een aantal deelvragen ontstaan. Om deze vragen goed te kunnen onderzoeken is er gekeken naar diverse wijzen om het probleemgebied te kunnen onderzoeken. Hierbij is eerst een literatuur onderzoek gestart, waarbij vragen zijn gesteld die terug komen in het empirisch onderzoek. Hierdoor kon er gerichter gezocht worden naar de factoren en is het onderzoek meteen een stuk betrouwbaarder.

Ook is er zoveel mogelijk gebruik gemaakt van vooraf bekende berekeningen welke gestandaardiseerd zijn binnen de bouw, zoals een RC berekening een ventilatieberekening, beelden van een thermisch beeld camera, temperatuur en vochtigheid opgemeten en bijgehouden.

Er worden steeds meerdere bronnen over één vraag geraadpleegd om deze met elkaar te kunnen valideren zodat er een betrouwbaar en kwalitatief goed onderzoek ontstond.

### Validiteit

Het onderzoek is gestart omdat het Leon van Gelder College met een hoog energieverbruik en discomfort kampt. Het doel was dan ook om te achterhalen wat de factoren hiervan kunnen zijn maar ook belangrijk welke factoren er uitgesloten kunnen worden.

Het doel voor dit onderzoek kan als behaald worden zien. Er zijn veel factoren uitgesloten en er zijn ook belangrijke punten naar voren gekomen. Het doel is behaald ook waren er alleen maar factoren die weggestreept konden worden. Dit voegt altijd iets toe aan een onderzoek.

Met behulp van diverse methoden, onderzoeken en berekeningen is het hele pand onder de loep geweest. Alle mogelijke factoren zijn onderzocht van de installaties tot en met de opbouw.

Door eerst een literatuur onderzoek te starten kon er rekening gehouden worden met waar er het beste naar gekeken kon worden. Wat verteld de theorie over mogelijke problemen, wat zijn de mogelijke oplossingen volgens het literatuur onderzoek en wat verteld zo'n onderzoek precies over de kenmerken? Bijvoorbeeld wat betekent de oriëntatie voor een gebouw. Hoe kan een gebouw het beste op een perceel neergezet worden.

Er kan gezegd worden dat hier zeker doelen bereikt zijn en dat als er een nieuw team met dit onderzoek verder gaat het te onderzoeken delen behoorlijk verkleint zijn.

Tijdens het onderzoek van februari tot en met juli is er heel wat stappen gezet en is er gebleken dat de bouwtechnische onderdelen goed onderzocht konden worden. Echter is het niet gelukt om de technische installaties te testen (in het bijzonder de verwarming, afvoer en ventilatie). Het

onderzoeksteam beschikte niet over de voldoende kennis om hiermee de benodigde testen of diepgaande onderzoeken te doen. Daarnaast wist de installatie beheerder niet veel van het pand en de installaties af omdat zij het pas net overgenomen hadden van een ander bedrijf.

Er is wel getracht om zoveel mogelijk de bouwkundige zijde goed te belichten en deze volledig te onderzoeken. De onderzoekers zijn er van overtuigd dat deze binnen het bouwkundige aspect het onderzoek een succes is aangezien er een groot deel van de vermoedens waar het energie probleem zijn oorzaak vond kon worden uitgesloten door het maken van berekeningen en het bestuderen van stukken.

Er is onderzoek gedaan naar alle subvragen waardoor er een antwoord is gekomen op de hoofdvraag. Door het literatuur onderzoek zijn er handige punten naar voren gekomen waar rekening mee gehouden kan worden. Zo zijn alle vragen beantwoord en onderzocht. Er kan gezegd worden dat dit onderzoek valide onderzocht is.

## 4 Resultaten van de casestudies

Per deelvraag uit de casus wordt hier het resultaat weergegeven. Het volledige onderzoek van de deelvragen is terug te vinden in de bijlagen onder de tweede tab 'Empirisch onderzoek'.

### Deelvraag 7

***In welke mate is het ontwerp van invloed op de mate energiezuinigheid van de Leon van Gelder school?***

Het gebouw ontwerp heeft veel invloed op de energiezuinigheid van een pand. Te denken hierbij aan voorkomen van eventuele koudebruggen, raampartijen, bebouwing omgeving en een goede oriëntatie van het gebouw.

Er zijn geen grote warmtelekken te vinden op de warmtebeelden, de gevel is voorzien van Kalzip die aan hoge bouwfysische eisen voldoet, de ramen zijn voorzien van zonwerend HR++ glas et cetera. Er is alleen één opmerking: er zijn grote raampartijen ontworpen maar nergens is er zonwering van bijvoorbeeld screens toegepast. Het glas is dan wel voorzien van zonwerend HR++ glas maar zal nooit de warmte 100% weren. Het pand warmt daarom in de lente- en zomerperiode snel op.

Ook is er een hoog bouwvolume ontworpen wat negatieve invloed heeft op het hoge energie verbruik. Door de hoge plafonds moet er namelijk meer gestookt worden.

Dus er kan geconcludeerd worden dat de invloed van het ontwerp de mate van energiezuinigheid van het Leon van Gelder College wel negatief beïnvloed, maar niet de grootste factor zal zijn.



Afbeelding oriëntatie van het pand, deze is met een roze pijl aangegeven. Bron satellietfoto: Google Maps

## Deelvraag 8

### ***In welke mate is de thermische kwaliteit van de bouwkundige schil van invloed op de energiezuinigheid van de Leon van Gelder school?***

De invloed van de bouwkundige schil op het energieverbruik van een school is altijd een groot aandachtspunt bij de ontwikkeling en bouw van een pand zo ook bij de Leon van Gelder school.

Bij de Leon van Gelder is er door de onderzoekers naar de individuele onderdelen in detail gekeken zo zijn er berekeningen gemaakt en is er onderzoek gedaan naar de isolerende werking van het glas.

Uit al deze onderzoeken is er geen groot probleemgebied aan het licht gekomen welke de hoge energienota en het oncomfortabele binnenklimaat kunnen verklaren. Hierna is er in het geheel nogmaals gekeken naar de gevel en het dak welke dezelfde opbouw hebben, maar hier zijn geen negatieve invloeden op de isolerende werking van de gevel of dak gevonden.

Er kan geconcludeerd worden dat de mate van de thermische kwaliteit van de bouwkundige schil een positieve invloed heeft op de energiezuinigheid van de school.

## Deelvraag 9

### ***In welke mate is het installatieconcept van invloed op de energiezuinigheid van de Leon van Gelder school?***

Binnen dit onderdeel is er onderzocht of de betonkernactivering met warmte pomp en het ventilatiesysteem individueel van elkaar goed functioneren, dit om er zeker van te zijn dat de oorzaak van het probleem binnen de school niet in verband gebracht kan worden met de verwarming en/of de ventilatie. Tijdens het uitvoeren van het eerste deel van het onderzoek zijn er in de individuele systemen geen gebreken of slecht functionerende onderdelen gevonden waar de hoge stookkosten aan te verwijten zijn.

Echter zijn er wel enkele fouten ontdekt in de uitvoering van het systeem, de ruimten worden verwarmd middels betonkernactivering die zich in de plafonds bevindt. De ruimten worden dus vanaf boven naar beneden verwarmd hierbij is de fout gemaakt dat ook de afzuiging van de ventilatie zich ook op een hoger niveau bevindt waardoor de warme lucht vrijwel direct weer uit de ruimte wordt afgezogen. Dit heeft als resultaat dat de ruimten in de school koud blijven en de luchtkwaliteit binnen de school slecht is maar ook dat nuttige ruimtewarmte direct wordt afgevoerd en er steeds meer verwarmd moet worden om de ruimte op temperatuur te houden of te krijgen. Met als gevolg een hoger energieverbruik.

Er is in één lokaal een alternatief systeem geplaatst, in dit lokaal zijn geen klachten meer. Er is een systeem toegepast waarbij de verse lucht uit de ventilatieroosters opgewarmd wordt en er geen tocht ontstaat in het binnenklimaat.

Daarnaast is het opgevallen dat een ruimte via de boven liggende vloer verwarmd. Warme lucht gaat naar boven en koude lucht naar beneden. Daarom hebben ze bij het ontwerp de zogenaamde wings toegepast zodat de koude verse lucht het lokaal ingeblazen wordt en niet meteen naar beneden valt. Het pand had beter opgewarmd kunnen worden via de onderliggende vloeren. Omdat nu de combinatie van de warme lucht en koude lucht tocht veroorzaken en het warme lucht nu snel het pand kan verlaten omdat er bovenin een ruimte geventileerd wordt. Over dit gedeelte kunt u meer vinden in het onderzoek "Invloed installatieconcept op behaaglijk binnenklimaat". De onderzoekers kunnen concluderen dat de samenwerking tussen deze twee systemen niet goed op elkaar is afgestemd en dat er bij de plaatsing van deze systemen niet goed is gekeken wat de invloed van deze systemen zoals toegepast doet met het energieverbruik. De grootste oorzaak van de hoge stookkosten licht na onderzoek zeker bij de verwarming en ventilatie systeem en een slechte samenwerking tussen deze systemen.



## Deelvraag 10

### In welke mate is het gebruik van de installaties van invloed op de behaaglijkheid van het binnenklimaat in de Leon van Gelder school?

Het pand wordt verwarmd en gekoeld door betonkernactivering in combinatie met een warmte pomp. De temperatuur wordt geregeld door een programma in combinatie met sensors die buiten op het pand zitten. In het programma is een schoollokaal nagemaakt waarop de temperatuur wordt berekend, met deze gegevens (van één lokaal) wordt het hele pand verwarmd. Dit werkt dus niet optimaal omdat de verschillende lokalen in het pand verschillende condities hebben (hierbij valt te denken aan de ventilatie, ligging, bezettingsgraad etc.). Als een lokaal betreedt wordt door leerlingen en docenten stijgt de temperatuur al met een aantal graden en dan is het al snel warm (en muf). De enige mogelijkheid om de boel te koelen is door een raam open te zetten en dit gebeurt dan ook heel veel in de (lente- en) zomerperiode.

Uit de conclusies kan worden geconcludeerd dat de mate van het gebruik van de installaties wel degelijk negatieve invloed heeft op de behaaglijkheid van het binnenklimaat, maar dit ligt hem meer aan hoe de installaties zijn geprogrammeerd door de installateur.



*Afbeelding met de installaties zoals de aanvoer van de betonkernactivering, aan- en afvoer CV ketel en de warmtepomp in de school. Foto door H. de Bruin.*

## 5 Discussie, conclusie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt teruggekeken naar de resultaten van dit onderzoek. In de eerste paragraaf 'Conclusie' wordt de hoofdvraag beantwoord. Als praktische afronding van het onderzoek volgt aansluitend een paragraaf 'Discussie' waarbij onder andere op de betrouwbaarheid van het uitgevoerde onderzoek wordt gereflecteerd.

### Conclusie

In dit rapport is er onderzoek gedaan naar de vraag: Welke factoren bepalen het hoge energieverbruik van en de comfortproblemen in de Leon van Gelder school te Groningen?

Door antwoorden die zijn verkregen bij de subvragen zijn we tot de conclusie gekomen dat er meerdere factoren hun steentje bijdragen aan het probleem. De betonkernactivering in combinatie met waterpomp die is toegepast in het pand is niet geschikt voor de school. Redenen daarvoor zijn dat het systeem het hele pand gelijkmatig verwarmd of gekoeld en dus alle lokalen en ruimtes met dezelfde temperatuur verwarmd worden, terwijl er in elke ruimte andere condities zijn.

Er is een probleem dat het pand zomers snel opwarmt door de grote raampartijen aan de zuidzijde. De school kan veel doen aan het stookprobleem door zoals eerder al genoemd de installaties te laten verbeteren maar ook door zijn personeel goed te trainen in de omgang met dit systeem. Door bijvoorbeeld een raam open te zetten kan het systeem al verstoord worden en de werking hiervan niet meer optimaal zijn.

Daarnaast was er ten tijde van de bouw van deze school wellicht te weinig kennis aanwezig of is er te weinig met deze kennis gedaan om het systeem goed uit te voeren. Het is namelijk erg belangrijk dat het verwarmingssysteem regelbaar is in delen en niet als één geheel.

De conclusie op de vraag 'Welke factoren bepalen het hoge energieverbruik van en de comfortproblemen in de Leon van Gelder school te Groningen?' de belangrijkste factor die dit probleem onder andere veroorzaakt is dat het pand via het plafond verwarmd wordt terwijl ook bij het plafond de ventilatieroosters en afzuiging zich bevinden, de net verwarmde lucht wordt hierdoor de ruimte uitgeblazen wat weer voor een hoog energieverbruik zorgt. Daarom kunnen we concluderen dat de belangrijkste factoren die het energieverbruik van de Leon van Gelder school bepalen zijn:

1. De ventilatieroosters/ afzuiging bevindt zich vlak bij het plafond en kan de net opgewarmde lucht naar buiten blazen, hierdoor kost het extra energie om het pand te verwarmen.
2. De betonkernactivering zit aan de bovenzijde van de ruimte, dus het pand wordt overal via het plafond verwarmd terwijl warme lucht altijd naar boven gaat, dit zorgt in eerste instantie al voor een hoger energieverbruik.
3. Het programma van het verwarmingssysteem is gebaseerd op gegevens van één klaslokaal en verwarmd/ verkoeld het hele pand op basis van deze gegevens, terwijl elke ruimte andere condities heeft.
4. In de zomer wordt het pand al snel opgewarmd door de grote raampartijen aan de zuidzijde, het betonkernactiveringssysteem kan wel koelen maar is zeer traag dus dit neemt veel tijd en energie.



## Discussie

### Betrouwbaarheid

De opdrachtgever kampt met problemen met het hoge energieverbruik en discomfort op het Leon van Gelder College. Daarom is hier een onderzoeksvraag voor opgesteld met een aantal subvragen. Om deze betrouwbaar te kunnen beantwoorden is er gezocht naar de verschillende wijzen om dit probleemgebied goed te onderzoeken. Er is hier gebruik gemaakt van verschillende berekeningen (zoals ventilatie berekening en Rc-berekening), instrumenten (zoals een warmtebeeld camera) en er is gebruik gemaakt van verschillende literatuur om de uitkomsten te bevestigen.

Daarnaast is er goed gekeken naar de testresultaten van alle meetinstrumenten. Zo zijn de allereerste beelden met de warmtebeeld camera als onbetrouwbaar beschouwd omdat deze te laat op de dag gemaakt zijn en hierdoor geen problemen vertoonden. Daarom zijn er nieuwe beelden gemaakt van rond 06.00 uur 's ochtends.

Ook zijn er meerdere luchtvochtigheid- / thermometers aangeschaft om ook hier de betrouwbaarheid te kunnen aantonen.

Er zijn ook meerdere RC- berekeningen gemaakt en deze zijn ook allemaal gecontroleerd.

### Interne validiteit

De interne validiteit van dit onderzoek is na mening van de onderzoekers goed omdat de conclusies gemotiveerd zijn door de literatuur en eerder bewezen reken methoden en werkwijzen.

Tevens is er zoveel mogelijk gewerkt met meerdere bronnen om antwoorden, oplossingen en problemen te motiveren en door de verschillende berekeningen en bewijsstukken deze punten te versterken. Er is zo weinig mogelijk gewerkt met speculaties om de twijfel aan dit onderzoek minimaal te houden, echter is dit wel een onderwerp waar nog de nodige discussies over gaande zijn en daarmee zal niet het gehele onderzoek in de toekomst volgens de experts kloppend zijn.

Het is echter wel zo dat er op het moment van het onderzoek met alle beschikbare middelen is onderzocht en getracht is te bewijzen dat de uitkomst van dit onderzoek valide zijn.

In alle onderdelen is er getracht het hoofddoel niet uit het oog te verliezen om zo samen naar het doel "het oplossen van het hoofdvraagstuk" toe te werken.

Er is met alle zorg gewerkt aan de diverse meettechnieken en om het aantal variabelen in deze meettechnieken te minimaliseren is er gewerkt met berekeningen al ventilatieberekening en een RC-berekening welke al jaren in de bouw worden toegepast om gevels op hun isolatie waarde te testen. Hierbij worden dus ook gegeven waarden van leveranciers of uit tabellenboeken gewerkt en volgens een vast patroon gewerkt om de kant op fouten te minimaliseren.

### Meerwaarde van het onderzoek

Het onderzoek naar de factoren die invloed hebben op het energieverbruik en de comfortproblemen is in eerste instantie belangrijk voor het Leon van Gelder College. Daarnaast is het ook nuttig voor de school om de omliggende informatie te verkrijgen zodat als er in de toekomst weer wat opspeelt er mogelijk antwoorden te vinden zijn.

Er kan hier veel van geleerd worden zo kan er geconcludeerd worden dat een betonkernactivering met warmtepomp wel een prachtig systeem is maar totaal niet handig voor een school. Voor een school is het beter een systeem aan te schaffen die de verschillende ruimten afzonderlijk verwarmt. Als er dan toch een betonkernactivering wordt toegepast bij een pand dan zou er goed uitgedacht moeten worden of de ruimte van de bovenzijde (plafond) of de onderzijde (vloer) verwarmd wordt en wat de gevolgen zijn voor de ventilatie en de afvoer.

Ook zijn er andere aspecten naar voren gekomen wat er allemaal bij komt kijken met een ontwerp als deze, het Leon van Gelder college. De vorm van het pand maakt dit wel een bijzonder pand maar er komt heel veel kijken want er is veel volume maar in verhouding een kleinere gebruiksoppervlakte.

## Aanbevelingen

### Praktische implicaties

Het is duidelijk wat de factoren zijn voor het hoge energieverbruik en discomfort van het Leon van Gelder college:

1. De ventilatieroosters/ afzuiging bevindt zich vlak bij het plafond en kan de net opgewarmde lucht naar buiten blazen, hierdoor kost het extra energie om het pand te verwarmen.
2. De betonkernactivering zit aan de bovenzijde van de ruimte, dus het pand wordt overal via het plafond verwarmd terwijl warme lucht altijd naar boven gaat, dit zorgt in eerste instantie al voor een hoger energieverbruik.
3. Het programma van het verwarmingssysteem is gebaseerd op gegevens van één klaslokaal en verwarmd/ verkoeld het hele pand op basis van deze gegevens, terwijl elke ruimte andere condities heeft.
4. In de zomer wordt het pand al snel opgewarmd door de grote raampartijen aan de zuidzijde, het betonkernactiveringingssysteem kan wel koelen maar is zeer traag dus dit neemt veel tijd en energie.

Maar wat betekenen deze resultaten van het onderzoek voor de praktijk? Zijn er oplossingen om deze implicaties te verhelpen? Er zijn mogelijkheden om deze punten te verbeteren. Maar om nu de hele verwarmingsinstallatie eruit te slopen en anders aan te brengen is onwerkkelijk.

Nu kan er wel advies gegeven worden over wat er eventueel wel mogelijk is om toch het hoge energieverbruik zo zouden op de diverse plaatsen in het pand de ventilatieroosters vervangen kunnen worden door roosters die de lucht voorverwarmen. Daarnaast zouden de grote raampartijen op de zuidgevel voorzien kunnen worden van een zonnenscherm die de meeste opwarming tegen gaat. Ook is het een onderzoek waard om te kijken wat er met de behaaglijkheid van het pand gebeurt als de school in de winter al eerder begint te stoken en in de zomer veel later (en misschien een paar graden minder). Daarnaast zouden de hoofdgebruikers ingelicht kunnen worden over de werking van het systeem zodat deze juist gebruikt kan worden.

### Suggesties voor vervolgonderzoek

Het pand van het Leon van Gelder College heeft de afwatering van de hemel water afvoer via de dak/gevel. Er zijn geen buizen of iets dergelijks toegepast waar het water door afgevoerd wordt.

Architectonisch is dit meestal een hoge eis om geen HWA buizen in het zicht te hebben maar het is ook niet ideaal voor dit pand om de afwatering langs het dak en de gevel te laten stromen. Er zijn een aantal kozijnen in het pand die terugliggend zijn toegepast, doordat de gevel schuin afloopt blijft er bij deze kozijnen water liggen met als gevolg dat hier algen ontstaan en de kozijnen om de zoveel tijd vervangen kunnen worden. Dit probleem heeft er al één keer voor gezorgd dat er een aantal kozijnen zijn vervangen, daarom zou dit een goede suggestie zijn om hier nog onderzoek naar te laten doen.

Een andere suggestie zou kunnen zijn om onderzoek te doen naar de werking van het pand. In diverse lokalen zitten de scheuren in de muren en bij de damestoiletten zijn bepaalde deuren die hierdoor niet meer kunnen sluiten.

Als men de gevel goed bestudeerd is er te zien dat er op diverse plekken de isolatie uit de gevel steekt en dat op sommige plekken er kieren te zien zijn. Deze plekken kunnen nat worden en in de toekomst voor nieuwe problemen zorgen.

De kolommen in het pand stralen en voelen erg koud aan, er zou hier onderzoek naar gedaan kunnen worden hoe dit verminderd zou kunnen worden en of het eventueel omkleed kan worden met een warmer materiaal zodat dit de straling tegen gaat.

## 6 Literatuurlijst

- Energy, Sustainability and the Environment: Technology, Incentives, Behavior  
Auteur: Fereidoon P. Sioshansi  
1e druk  
ISBN 978-0123851369
- Sustainable Energy - Without The Hot Air  
Auteur: David J.C. MacKay  
ISBN 9780954452933
- Green Energy  
Auteur: Eric Jeffs  
ISBN 978-1-4398-1892-3
- Jellema Bouwmethoden / 13 Beheren  
Auteur: J. van der Woude  
2e druk, september 2004  
ISBN 9789006950571
- Jellema deel 7 Bouwmethodiek  
Auteurs: Boveldt, A. te  
Derde druk  
ISBN 9789006951714
- Basisboek Isoleren  
Auteur: A.H.L.G. Bone  
Druk 1, 2009  
ISBN 9789006952261
- Toegepaste bouwfysica: randvoorwaarden, prestaties en materiaaleigenschappen  
Gebouwentechiek – deel 2  
Auteur: Hugo Hens, Acco Leuven / Den Haag  
Vijfde, gewijzigde druk: 2014  
ISBN 978-90-334-9508-3

## 7 Bijlagen

### Inhoud

1. Literatuuronderzoek
2. Empirisch onderzoek
  - a. Onderzoek invloed gebouwontwerp op energiezuinigheid school
  - b. Onderzoek in welke mate is de thermische kwaliteit van de bouwkundige schil van invloed op de energiezuinigheid van de school
  - c. Onderzoek in welke mate is het installatieconcept van invloed op de behaaglijkheid van het binnenklimaat
  - d. Onderzoek gebruik installaties
3. Welke mogelijkheden zijn er om de behaaglijkheid van de ruimten rondom de Vide te verbeteren
4. Onderzoek akoestiek en ontwerp koffiekamer
5. Projectplan
6. Afstudeer dia
7. Reflectie en beoordeling

Verantwoording cijfer en afspraken omtrent de herkansing

  - a. Amparo
  - b. Ype
  - c. Hendrika