

# **Prestaties van thermisch-comfort installaties in woningbouw in Nederland.**

Afstudeerwerk

P.C.M. Zegers (1170627)

Samenvattende rapportage d.d. 25 april 2011

TU Delft, Faculteit Civiele Techniek, Sectie Bouwtechniek.

# Inhoud

Woordenlijst .....	3
1 Inleiding.....	4
1.1 Doel en onderzoeksvragen .....	4
1.2 Strategie en afbakening .....	5
2 Opbouw van het computermodel .....	6
2.1 Beschrijving van Matlab-Simulink .....	6
2.2 Het uitwerken van de toetscriteria.....	7
2.3 Het uitwerken van de gebouwkenmerken in aantal simulaties.....	8
2.4 De opbouw van het bouwfysische onderdeel van het model.....	9
2.5 De opbouw van het installatietechnisch onderdeel van het model .....	12
2.6 Validatie van het model aan de hand van VABI114.....	14
3 De belangrijkste resultaten .....	15
3.1 Opwarmingssnelheid, wisselende temperaturen en energiegebruik bij installaties en gebouwkenmerken.....	15
3.2 Opwarmingssnelheid, wisselende temperaturen en energiegebruik bij verschillend gebruik.....	19
3.3 Het vergelijken van de opwarming in warme zomers ten opzichte van de huidige referentie .....	19
3.4 Koelinstallaties en koelprestaties.....	20
4 Conclusies .....	21
4.1 Conclusies uit het computermodel.....	21
4.2 Algemene conclusies .....	22
4.3 Aanbevelingen .....	22
Bijlage A Selectiecriteria voor de simulaties .....	24
A1 Selectie van de gebouw-parameters .....	24
A2 Selectie van de installaties .....	25
A3 Selectie van de variabele invloeden in de gebruiksfase.....	26
A4 Totale selectie van de parameters .....	29
Bijlage B Aanvullende beschrijving van computermodel .....	32
B1 Uitleg over de bediening van het model .....	32
B2 Aanvulling op de opbouw van het model, de principes en parameters. ....	33
B3 Aanvulling op de beperkingen van het model.....	40
Bijlage C De resultaten en uitgebreide analyse.....	41
C1 De resultaten van de 1 <sup>e</sup> simulaties.....	41
C2 De verwerking van de 1 <sup>e</sup> simulaties .....	53
C3 De resultaten van de 2 <sup>e</sup> simulaties.....	63
C4 De verwerking van de 2 <sup>e</sup> simulaties .....	67
Bijlage D BRONVERMELDING .....	70

# Woordenlijst

Klimaatinstallatie	Verzamelnaam voor installaties die voorzien in thermisch comfort, luchtkwaliteit of een combinatie van deze functies
Thermisch comfortinstallatie	Klimaatinstallatie die enkel voorziet in thermisch comfort
Opwekkinginstallatie	Installatie die warmte opwekt, dan wel onttrekt t.b.v. thermisch comfort
Distributie-installatie	Installatie die voorziet in de distributie van de warmte (bijvoorbeeld pomp met leidingen) t.b.v. thermisch comfort
Afgifte-installatie	Afzonderlijke installatie die voorziet in de afgifte of opname van warmte t.b.v. thermisch comfort; ook wel een warmtewisselaar
Installatiesysteem	Geheel van opwekking, distributie- en afgifte-installaties
Klimaatsysteem	Geheel van technieken die voorzien in een binnenklimaat (klimaatinstallaties, gebouwkenmerken, etc.)
Gebouwkenmerken	Kenmerken die een gebouw kan aannemen en die van invloed zijn op het thermisch comfort, dan wel de luchtkwaliteit; voorbeelden zijn constructie (massa, isolatie, glas), klimaatjaar, oriëntatie, doelgroep en installatietype
Parametervariant	(Te simuleren) variant met bepaalde waarden voor de parameters voor gebouwkenmerken, klimaatinstallaties, etc.
Primaire energie	Energiegrondstoffen in hun natuurlijke vorm vóór enige technische omzetting. Dat zijn bijvoorbeeld steenkool, bruinkool, aardolie, aardgas, uranium, water, zonnestraling.
Cascade-opstelling	Aan elkaar gekoppelde installaties, waarvan de tweede pas in werking treedt op het moment dat er meer prestatie gevraagd wordt, dan de eerste installatie kan leveren; opstelling is bedoeld om energie te besparen
Adiabatisch	Zonder uitwisseling van warmte
Operatieve temperatuur	De temperatuur die de mens ervaart, opgebouwd uit de lucht- en stralingstemperatuur
Setpoint	Ingestelde en gewenste waarde voor de temperatuur, die de thermisch comfort installatie moet verzorgen
Graaduren	Het aantal uren waarbij af wordt geweken van een bepaalde temperatuur (setpoint) maal het aantal graden dat wordt afgeweken, gedurende deze uren; ook wel oppervlak tussen de grafieken van deze bepaalde temperatuur en de werkelijke temperatuur in een temperatuur/tijd grafiek.
Regelalgoritmes	Algoritme ofwel reeks van instructie voor wiskundige berekening aan de hand van verschillende gemeten parameters om de temperatuur te regelen en naar de setpoint te brengen
Iteratie/iteratief	Herhaling/herhalend; Iteratief rekenen is een zich herhalende berekening ten einde tot een bepaalde convergerende waarde te komen.

# 1 Inleiding

De laatste decennia is er een grote technische vooruitgang met betrekking tot het binnenklimaat in de woningbouw. Toch blijken innovatieve klimaatinstallaties in de praktijk vaak problemen te geven. De technische vooruitgang maakt dat deze installaties meer functies vervullen ten aanzien van thermisch comfort, ventilatie, gebruikersgemak en besturing, en met duurzaamheid als extra randvoorwaarde. Daarbij kunnen die functies met een veelvoud van verschillende combinaties van technieken worden bewerkstelligd. Er zijn dus vele mogelijke technieken met onderlinge relaties ontstaan waarin overzicht moeilijk is.

Het moeilijke overzicht maakt dat bij het ontwerp aanwezige relaties soms worden vergeten, technieken elkaar ongewenst beïnvloeden, en installaties uiteindelijk niet naar behoren functioneren. Dit komt omdat installatieadviseurs, bouwfysici en ontwerpers niet altijd genoeg kennis hebben van elkaars vakspecialisme. Bouwfysici hebben bijvoorbeeld niet altijd kennis van de snelheid en vermogens waarmee installaties warmte afgeven. Installateurs op hun beurt weten soms te weinig van warmte- en koudeverdeling en de luchtcirculatie in het gebouw. Dit leidt er toe dat er klachten kunnen ontstaan over de gezondheid, wisselende temperaturen en oververhitting in de zomer. Ook kunnen er negatieve bijwerkingen optreden zoals geluidsoverlast, het ontbreken van de mogelijkheid tot ingrijpen in het klimaatsysteem, en onduidelijkheden over de bediening van het systeem.

Dit afstudeerwerk geeft inzicht in de werking van de verschillende installaties, hun functies, bijwerkingen, en onderlinge relaties, met als doel knel- en verbeterpunten bij innovatieve klimaatinstallaties aan te tonen. De werking van een selectie van de meest voorkomende installaties in woningen is gesimuleerd in de vorm van een computermodel. In dit model zijn de installaties niet op zichzelf beschreven, maar in relatie tot hun omgeving – dus ten opzichte van gebouwstructuren, gebruikersactiviteiten, het buitenklimaat etc. – om te zien hoe het geheel bijdraagt aan bepaalde fysische parameters in het binnenklimaat. Met het computermodel is onder gelijkwaardige omstandigheden het binnenklimaat gesimuleerd voor iedere gebouwkarakteristiek - constructie (massa, isolatie, glas), klimaatjaar, oriëntatie, doelgroep en installatietype - uit de selectie. De resultaten zijn vervolgens vergeleken om een waardeoordeel toe te kennen aan de installaties.

## 1.1 Doel en onderzoeksvragen

### *Doel*

Het onderzoeken van de invloed van gebouwkarakteristieken als constructie (massa, isolatie, glas), klimaatjaar, oriëntatie, doelgroep en installatietype op het energiegebruik en temperatuurcomfort in woningen door middel van een computermodel. In dit model worden zowel innovatieve als conventionele installaties vergeleken.

### *Hoofdvraag*

1. Wat zijn de thermische en energetische prestaties van de op basis van meest voorkomendheid geselecteerde thermisch-comfort installaties wat betreft de opwarmingssnelheid, de overschrijding van de temperatuurgrenswaarden, en het energieverbruik?

### *Subvragen*

2. Wat is de invloed van het type ventilatie-installatie op de opwarmingssnelheid, de overschrijding van de temperatuurgrenswaarden, en het energieverbruik?
3. Wat is de invloed van variërende interne warmtelast en aanwezigheidspatronen op de opwarmingssnelheid, de overschrijding van de temperatuurgrenswaarden, en het energieverbruik?
4. Wat is de invloed van het type gebouwconstructie op de opwarmingssnelheid, de overschrijding van de temperatuurgrenswaarden, en het energieverbruik?

5. Wat is de invloed van het in de simulatie gebruikte klimaatjaar op de opwarmingsnelheid, de overschrijding van de temperatuurgrenswaarden, en het energieverbruik

## 1.2 Strategie en afbakening

Er is onderzoek gedaan naar de prestatie van thermisch-comfort installaties. De prestatie van installaties die voorzien in luchtkwaliteit is niet onderzocht en komt alleen zijdelings aan bod om de invloed op het thermisch comfort vast te stellen.

### *Vooronderzoek*

Op basis van literatuur, informatiemateriaal van leveranciers, en persoonlijke gesprekken met ervaringsdeskundigen - zoals installatietechnische en bouwfysische adviseurs - zijn de meest voorkomende oplossingen geïnventariseerd die in de ontwerpfase worden aangedragen om actief in het binnenklimaat te voorzien. Gelijktijdig zijn ook de voornaamste problemen verkend die optreden bij installaties als gevolg van een gebrek aan een goed inzicht in de relatie met de omgeving.

Afwijkingen ofwel verstoringen op componentniveau binnen installatiesystemen zijn niet meegenomen in dit onderzoek. Dergelijke afwijkingen behoren meer tot andere vakgebieden, zoals werktuigbouwkunde of industrieel ontwerpen.

### *Computermodel*

Met behulp van het programma MATLAB SIMULINK is een computermodel opgezet zoals toegepast in het vak CT5241, Applied Buildings Physics. Dit vak wordt gegeven in de Master Building Technology aan de faculteit Civiele Techniek van de TU Delft.

Bestaande modellen bij het vak CT5241 zijn uitgebreid om het bouwfysische model te verkrijgen. Daarnaast is hier een installatietechnisch onderdeel aan toegevoegd. Dit is op basis van nauwkeurig onderzoek naar de relaties van de installaties met de omgeving, welke nauwkeurig zijn opgesteld en gedefinieerd. De uitgangspunten om deze relaties te definiëren vormde de interviews met de adviseurs. Vervolgens is een iteratief proces doorlopen in nauw contact met bouwfysische adviseurs en fabrikanten/leveranciers van installaties om installaties te optimaliseren. De randvoorwaarden zijn nauwkeurig vastgesteld op basis van literatuur of in overleg met de adviseurs. Wanneer de randvoorwaarden meer omstreden waren is nauwkeurig onderzoek gedaan. Het uiteindelijke model is getoetst op basis van vergelijking van temperaturen en energiegebruik met het bestaande model VABI.

Om de installaties goed te kunnen vergelijken, is het computermodel systematisch opgebouwd uit verschillende componenten. Die componenten kan men wijzigen - bijvoorbeeld als een andere installatie wordt toegepast - zonder dat hier een heel nieuw model voor hoeft te worden gemaakt. Gebruik van het programma vereist dan ook wel verdieping en inzicht in het model. Toch kan het model bij het uitvoeren van grote aantallen simulaties tijd en werk besparen, ten opzichte van bestaande programma's. Het houdt vooral in dat alle in het model verweven relaties (van een component met de omgeving) mee veranderen. Het model in dit afstudeerwerk maakt dit mogelijk en alleen hierdoor kunnen installaties goed worden vergeleken en kan een waardeoordeel worden uitgesproken over de energetische en thermisch-comfort- prestatie bij verschillende gebouwkarakteristieken.

## 2 Opbouw van het computermodel

Het computermodel is via bepaalde stappen tot stand gekomen, welke in de volgende paragrafen chronologisch worden behandeld.

### 2.1 Beschrijving van Matlab-Simulink

#### *Keuze voor het computermodel in Matlab-Simulink.*

Bij het opzetten van dit onderzoek is er bewust voor gekozen om een computermodel te gebruiken. Simulaties met een computermodel zijn nauwkeurig genoeg om verschillen in de energetische en thermisch-comfort- prestaties voor het brede scala van installaties en gebouwkenmerken vast te stellen. Bovendien heeft het simuleren het mogelijk gemaakt om het brede scala van gebouwkenmerken in relatief korte tijd te onderzoeken.

Bestaande simulatieprogramma's om binnenklimaten door te rekenen bieden niet genoeg of geen ruimte om innovatieve installaties op te nemen. Het is vaak niet duidelijk, welke berekeningen ten grondslag liggen aan bepaalde (deel-) simulaties, noch welke aannames en parameters hierbij zijn gemaakt en gebruikt. Dit is wel van belang om de relaties tussen de verschillende invloeden in het binnenklimaat te begrijpen en eventueel te kunnen verbeteren. Daarbij zijn binnenklimaatparameters als de opwarmingsnelheid moeilijk af te lezen of af te leiden.

Zodoende is ervoor gekozen om zelf een computermodel te maken in het programma Matlab-Simulink. Hiermee kunnen de verschillende gebouwkenmerken zelf worden gesimuleerd en de relaties hiertussen zelf worden beschreven om zo de energetische en thermisch-comfort- prestaties vast te kunnen stellen voor verschillende van deze gebouwkenmerken.

#### *Beschrijving van de theoretische achtergronden van het Matlab-Simulink-programma.*

Dit model past de theorie en het basismodel toe zoals dit wordt beschreven bij het vak CT5241, Applied Buildings Physics. Dit vak wordt gegeven in de Master Building Technology aan de faculteit Civiele Techniek van de TU Delft.

Het programma opereert volgens de Eindige Elementen Methode (EEM), waarbij de constructies in de te modelleren ruimte zijn opgedeeld in een aantal elementen. Alle verschillende vlakken (en eventueel voorwerpen) in deze ruimte krijgen verschillende knopen toegewezen op bepaalde diepten in deze vlakken. Zo kan er aan iedere knoop (element) een massa worden toegekend, waarmee vervolgens wordt gerekend in een diagonaal matrix ofwel de massa- matrix.

Ook de lucht in de kamer en de buitenlucht krijgen knopen toegewezen. Aan deze laatste wordt alleen geen massa toegekend en dit is ook niet van belang, omdat de temperaturen van de buitenlucht al bekend en juist gegeven zijn om de kamertemperaturen binnen uit te rekenen. De luchtbeweging binnen een kamer is van gering belang voor de gemiddelde kamertemperatuur en warmteverliezen (door de gevel) van een vertrek, zodat één knoop voor de binnenlucht in dit onderzoek ruim volstaat. Alle warmteoverdracht- mechanismen van conductie, radiatie en convectie tussen de verschillende knopen zijn vervolgens beschreven in een driehoeks- matrix ofwel stijfheids- matrix.

Naast het definiëren van de warmteoverdracht tussen de verschillende constructies, worden per gebouwkenmerk verschillende parameters opgesteld en randvoorwaarden opgelegd, zoals voor de initiële binnentemperatuur, de zonbelasting per oriëntatie in de tijd, de oriëntatie, de buitentemperatuur over de tijd, al of geen warmte-uitwisseling met de grond of andere aangrenzende constructies. Het model in dit onderzoek is verder uitgebreid met een installatietechnisch gedeelte waarin zeer complexe parameters en randvoorwaarden zijn opgenomen in de vorm van

regelalgoritmes. Deze regelalgoritmes zorgen dat er voor een groot scala van voorwaarden warmte wordt toegevoegd of onttrokken aan bepaalde knopen in het model, al naar gelang er wordt verwarmd of gekoeld. Deze regelalgoritmes zijn goed te simuleren in Matlab-Simulink.

Met de warmteoverdrachtsmechanismen en (de over de tijd variërende) randvoorwaarden berekent het programma de temperatuur in iedere knoop voor iedere tijdstap. Dit resulteert in een uiteindelijke lucht- en vlaktemperatuur voor de ruimte. Hieruit is de operationele temperatuur berekend.

### *Beperkingen van de EEM*

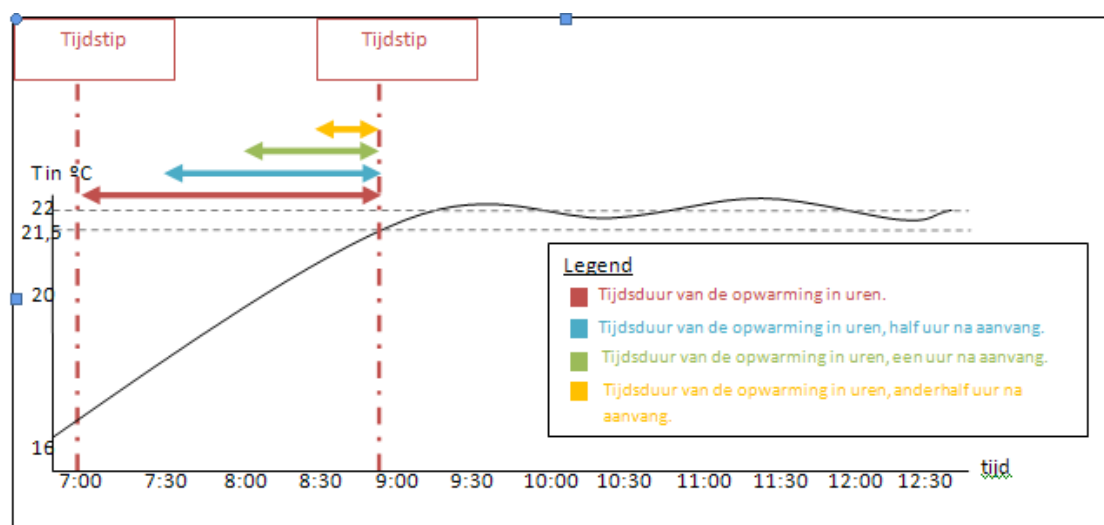
De EEM kan in principe een vrij nauwkeurige benadering geven van de praktijk, ondanks dat de gemodelleerde elementen er in de praktijk heel anders uit kunnen zien. Zo kunnen er maatafwijkingen optreden in stenen en is de luchtdichtheid soms niet perfect. Deze factoren zijn van gering belang of kunnen in het model worden geïmplementeerd door ze kunstmatig toe te voegen.

In bijlage B1 is meer informatie te vinden over het gebruik van het model. In bijlage B3 worden de beperkingen nader uitgewerkt.

## **2.2 Het uitwerken van de toetscriteria**

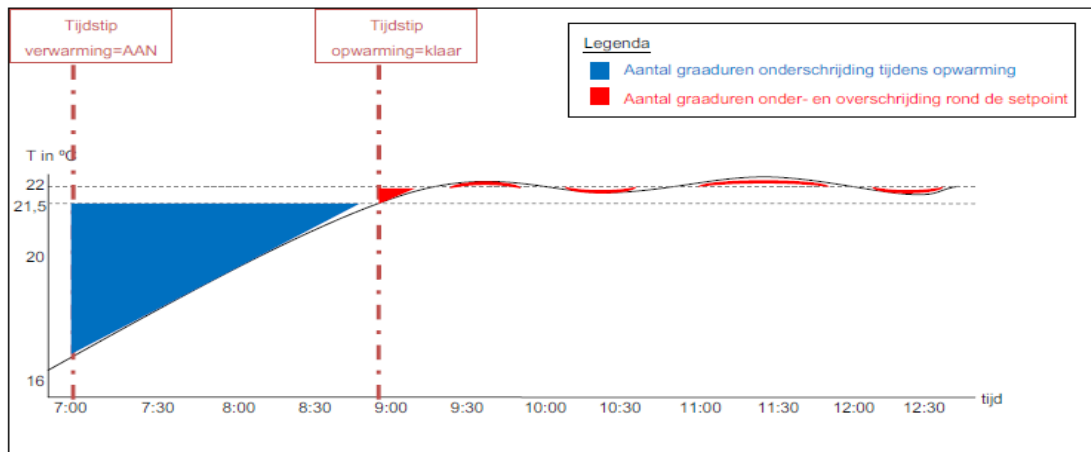
De hoofdvraag is om het energieverbruik, de opwarmingssnelheid, de temperatuuronverschijding en –overschrijding vast te stellen voor verschillende gebouwkenmerken. Om dit te kunnen doen, is het noodzakelijk om precies te definiëren wat er getoetst moet worden. Dit alvorens het model op te stellen.

De opwarmingssnelheid is op twee manieren onderzocht. Enerzijds is de tijdsduur van de opwarming vastgesteld vanaf verschillende momenten na aanvang van de verwarming, zoals in figuur 1 wordt verduidelijkt. Hiermee kan worden onderzocht welke installatie het meest comfortabel is bij inschakeling na thuiskomst. Als blijkt dat de opwarming dusdanig snel is dat voldoende comfort ervaren wordt, kan het zijn dat een klokthermostaat overbodig wordt. Op die manier kan het bedieningscomfort verbeteren, omdat programma's van klokthermostaten niet voortdurend hoeven te worden aangepast bij onverwacht vertrek uit de woning. Ook is het energiegebruik onderzocht om te zien of een snellere opwarming die alleen is ingeschakeld bij aanwezigheid, energie bespaart ten opzichte van installaties die al ruim tevoren gaan verwarmen (en regelmatig vergeten worden om uit te zetten).



Figuur 1 Illustratie te verduidelijking van de verschillende tijdsduren van opwarming.

De opwarmingssnelheid is ook nog op een andere manier onderzocht door het aantal graaduren te tellen vanaf de aanvang van de verwarming tot het moment dat de opwarming klaar is. Dit is geïllustreerd in figuur 2. De temperatuur waarbij de opwarming klaar is, is gedefinieerd als een halve graad onder de setpoint. Dit omdat de temperatuur altijd nog schommelt rondom de setpoint, wanneer het setpoint is bereikt. Deze schommelingen dienen niet mee genomen te worden bij het onderzoeken van de opwarming. Op deze manier wordt dit voorkomen. In dit onderzoek is de setpoint op 22 graden ingesteld dus is de opwarming klaar als de temperatuur op 21,5 graden is.



**Figuur 2 Illustratie ter verduidelijking van het aantal graaduren van opwarming.**

De temperatuuronderschrijding en –overschrijding is getoetst door het aantal graaduren te tellen ten opzichte van de setpoint, in geval de thermisch comfort installatie aanstaat en vanaf het moment dat de opwarming klaar is. Ter verduidelijking is dit ook geïllustreerd in figuur 2. Deze temperatuuronderschrijdingen en -overschrijdingen worden ook wel de wisselende temperaturen genoemd.

Voor het geval van de zomer wanneer er geen verwarming wordt gevraagd, wordt het aantal uren geteld dat verschillende temperaturen worden overschreden.

Het energieverbruik is vastgesteld door het aantal Joule aan verwarming of koeling te tellen, welke moet worden geleverd.

### **2.3 Het uitwerken van de gebouwkenmerken in aantal simulaties.**

Alvorens het model in Matlab-Simulink op te stellen zijn per gebouwkenmerk parameters gedefinieerd waarvoor randvoorwaarden zijn opgesteld om de invloeden op de energetische en thermisch-comfort prestaties vast te stellen. In de praktijk komen er veel parameters voor omdat het binnenklimaat uit verschillende technieken en materialen bestaat. Het aantal varianten van gebouwkenmerken bestaat uit een combinatie van deze parameters en wordt hiermee nog veel groter. Het is dus noodzakelijk dat het aantal parameters en combinaties hiervan wordt afgebakend tot een aantal varianten van gebouwkenmerken omdat dit aantal anders te groot wordt. Bovendien zijn niet alle combinaties van parameters even interessant en/of zijn zij af te leiden (door middel van interpolatie) uit andere (meer extreme) combinaties.

De belangrijkste parametervarianten die in dit onderzoek zijn toegepast staan weergegeven in tabel 1 incl. belangrijkste randvoorwaarden. Deze parametervarianten zijn gecombineerd en er is een verdere selectie gemaakt op basis van de voor dit onderzoek meest maatgevende combinaties van parametervarianten. Een argumentatie van de keuze van deze parameters en randvoorwaarden hiervoor is verder uitgewerkt in bijlage A. In totaal zijn er 216 simulaties gedaan waarbij de maatgevende variabelen in de gebouwstructuur, de thermische klimaatinstallatie, de ventilatie-installaties, de



gebruikersinvloeden en de invloed van het buitenklimaat eerst nauwkeurig zijn vastgesteld en vervolgens systematisch zijn gevarieerd.

#### **2.4 De opbouw van het bouwfysische onderdeel van het model**

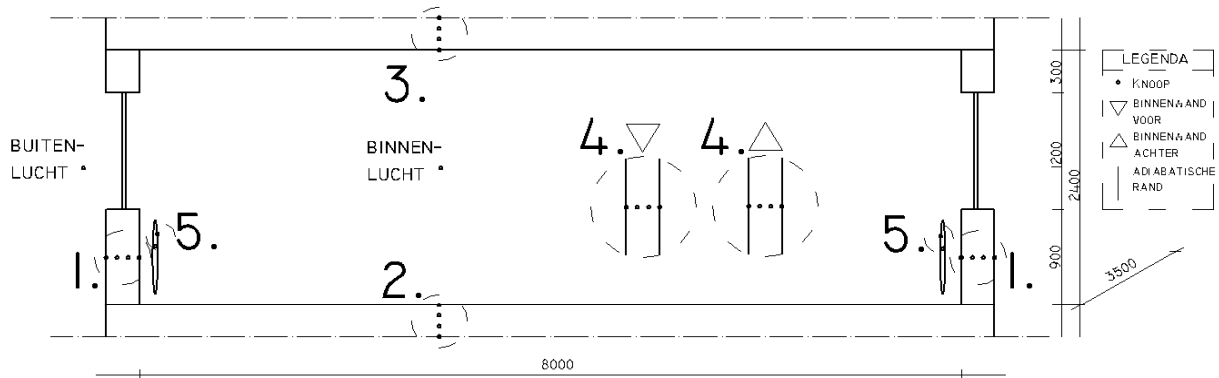
Het opbouwen van het bouwfysisch model is afgebakend tot het onderzoeken van de prestaties voor een standaard woonkamer. De thermisch-comfort prestaties in de woonkamer worden het meest kritisch ervaren. De randvoorwaarden van de woonkamer zijn zo gedefinieerd dat ze model staan voor de meeste rijtjeshuizen, maar ook voor woonkamers in appartementen.

Figuur 3 toont de belangrijkste randvoorwaarden die zijn gekozen voor de parametervarianten uit tabel 1. Een nadere toelichting op deze randvoorwaarden is te lezen in bijlage A1 en B2. In de figuur is te zien dat het raam geen aparte knoop toegewezen heeft gekregen. De warmteoverdrachtsmechanismen zijn hier ook anders gedefinieerd wat nader staat beschreven in bijlage B2. Wat opvalt is dat er geen deuren en luchtwisseling met aangrenzende vertrekken is meegenomen in het model. Hier is voor gekozen om de omvang van het model te beperken vanuit de gedachte dat de invloed van deuren op de te toetsen prestaties in de praktijk zo veel mogelijk wordt beperkt. Deuren worden vaak toch gesloten op het moment dat er grote warmtetransporten door plaats vinden.

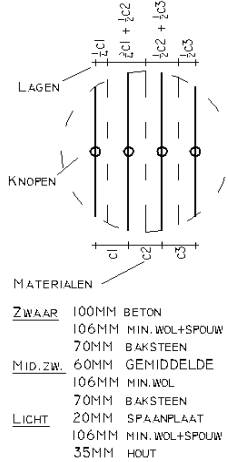
<b>Vaste Gebouwparameters</b>							
<b>Variant</b>	<b>Isolatie</b>	<b>Th. Massa</b>	<b>Glas</b>	<b>Zonwering</b>			
1	Goed	Zwaar	50%	Geen			
2	Goed	Mid.zwaar	50%	Geen			
3	Goed	Licht	50%	Geen			
4	Goed	Licht	100%	Geen			
<b>Binnenklimaat Verwarminginstallaties</b>							
<b>Variant</b>	<b>Opwekking</b>	<b>Afgifte</b>					
		Radiator	Vloer	Wand	Lucht		
1	CV	X					
2	CV	X	X				
3	CV + elektr.	X		X			
4	CV+ airco/heater	X			X		
5	CV		X				
6	WP		X				
7	CV+elektr.		X	X			
8	WP+elektr.		X	X			
9	CV+ airco/heater		X		X		
10	WP+ airco/heater		X		X		
11	Elektr.			X			
12	Heater				X		
<i>Opmerking: Bij meerdere opwekkinginstallaties heeft de additionele andere setpoints</i>							
<b>Binnenklimaat Koelinginstallaties</b>							
<b>Variant</b>	<b>Opwekking</b>	<b>Afgifte</b>					
		Radiator	Vloer	Wand	Lucht		
13	geen						
14	WP		X				
15	Airco +setp. Gem				X		
16	Airco +setp. Hoog				X		
<i>Opmerking: Bij meerdere opwekkinginstallaties heeft de additionele andere setpoints</i>							
<b>Binnenmilieu &amp; Ventilatie-installaties</b>							
<b>Variant</b>	<b>Ventilatievoud (vv)</b>			<b>Vraagsturing</b>		<b>Warmteterugwinning</b>	
	basis	zomer (4xbasis)	zomer setpoint	aanwezig	%vv afwezig	%E(ventilatie) bypass	
1	1.2	5	24				
2	1.2	5	24	100%	10%		
3	1.2	5	24			70%	JA
<b>Gebruikersinvloed</b>							
<b>Variant</b>	<b>Aanwezigheid</b>			<b>Bezetting</b>		<b>Apparatuurgebruik</b>	
	week	weekend					
1	6.30-8.30	7.30-23.30		0.75*1		0.25	
2	17.30-22.30			0.75*6		0.5	
2	6.30-22.30	7.30-23.30		0.75*6		0.5	
<b>Buitenklimaat</b>							
<b>Variant</b>				<b>Jaar</b>	<b>Orientatie</b>		
1				1964	OW		
2				1976	OW		
3				1995	OW		
4				1964	NZ		
5				1976	NZ		
6				1995	NZ		

Tabel 1 met belangrijke te simuleren varianten van de gebouwkarakteristiek

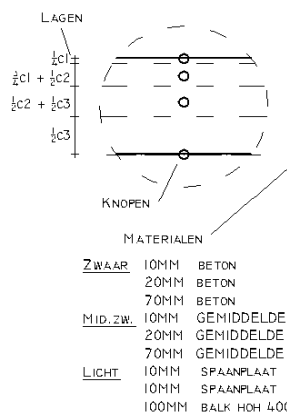
# OPBOUW MODEL & GEOMETRIE KAMER



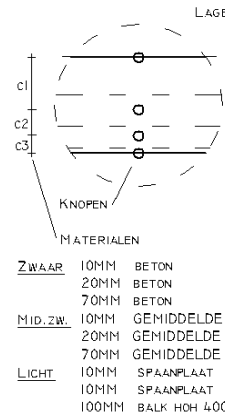
## 1. OPBOUW GEVEL



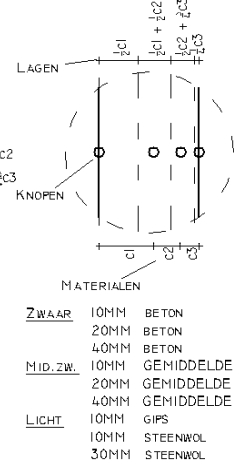
## 2. OPBOUW VLOER



## 3. OPBOUW PLAFOND

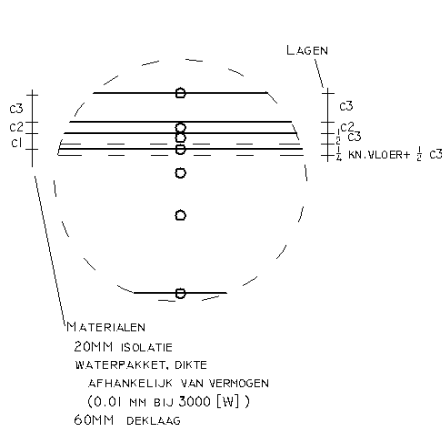


## 4. OPBOUW BINNENWAND

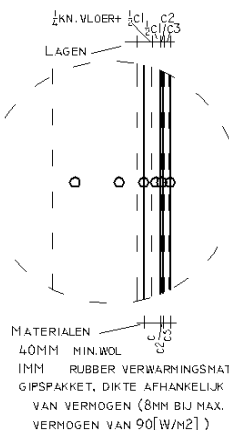


NOTA BENE: GEMIDDELDE IS EEN VERZONNEN MATERIE, WAARVAN DE FYSISCH EIGENSCHAPPEN LABDA, RHO EN C ZIJN GEMIDDELD TUSSEN HOUT/SPAANPLAAT EN BETON

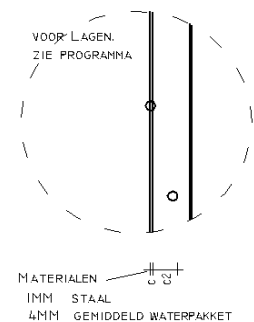
## 2A. EXTRA OPBOUW VLOER IN GEVAL VLOERVERWARMING



## 4A. EXTRA OPBOUW WAND IN GEVAL WANDVERWARMING



## 5. RADIATOR, OPP. AFH. V. VERMOGEN ( $\frac{1}{2}$ [M2] PER RAD BIJ 3000[W])



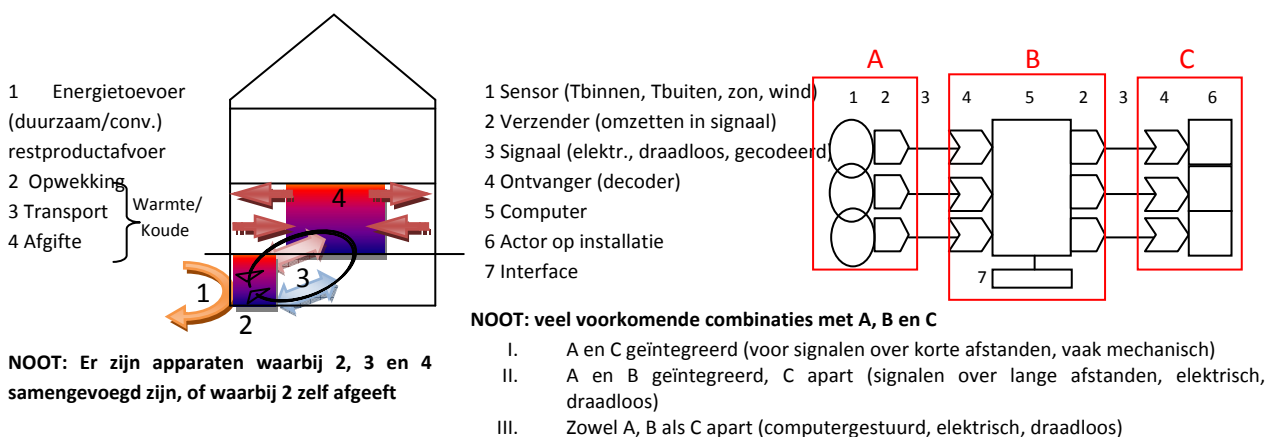
Figuur 3 Grafische weergave van het bouwfysisch model en overzichtelijke weergave van de gekozen waarden.

## 2.5 De opbouw van het installatietechnisch onderdeel van het model

De verschillende (innovatieve) thermisch-comfort installaties zijn onderzocht op basis van literatuuronderzoek. Hierbij is eerst een inventarisatie gemaakt aan de hand van de voorkomende opwekkingsinstallaties. De verschillende opwekkingsinstallaties zijn in kaart gebracht aan de hand van alle bekende natuurkundige principes om warmte en koude op te wekken om zo min mogelijk kans te lopen dat een installatie zou worden overgeslagen. De meest voorkomende installaties in de woningbouw zijn vervolgens verwerkt in het computermodel. Hiervoor is een reeks aan bronnen geraadpleegd. [13] In bijlage A2 staat de selectie van installaties beschreven.

Thermisch comfort installaties bestaan uit opwekkings-, distributie- en afgifte-installaties, die warmte importeren of exporteren al naar gelang koeling of verwarming wenselijk is. Om dit goed te doen worden deze installaties aangestuurd door regelinstallaties. Regelinstallaties bestaan uit meetinstrumenten die o.a. de kamertemperatuur meten, de signalen doorsturen naar een (kamer- of computer-) thermostaat, die op zijn beurt het signaal doorstuurt naar een uitvoerend element in de opwekkings- of afgifte-installatie, die deze bijstelt. Figuur 4 geeft schematisch weer uit welke onderdelen thermisch comfort installaties bestaan en uit welke onderdelen het regelsysteem bestaat. Tabel 2 toont de belangrijkste parameters hiervoor. In bijlage B2 wordt hier dieper op ingegaan.

In het computermodel worden de afgifte-installaties als aparte knopen meegenomen in het bouwfysisch model, zoals in paragraaf 2.1 en 2.4 is uiteengezet. In deze knoop ontstaat warmte, hetzij door opwekking volgens een bepaalde regeling, hetzij door toevoeging van warmte uit een opwekkingsinstallatie. De opwekkinginstallatie heeft ook massa maar is net als in de realiteit buiten de kamer geplaatst. Het installatietechnische onderdeel van het model bestaat voornamelijk uit de regelingen, die de warmteoverdracht regelen.



Figuur 4 Figuur met onderdelen van thermisch-comfort installaties en schematische weergave van de regeltechniek.

	Vermogen installatie (factor totaal)					Setpoint High installatie				Setpoint Low installatie			
	CV	WP	Elektr.	Heater	Totaal	CV	WP	Elektr.	Heater	CV	WP	Elektr.	Heater
1	1x				1x	22				16			
2	1/3x+2/3x				1x	22				16			
3	2/3x		1/3x		1x	22		21		16		15	
4	2/3x			1/3x	1x	22			21	16			15
5	1x				1x	22				16			
6		1x			1x		22				16		
7	2/3x		1/3x		1x	22		21		16		15	
8		2/3x	1/3x		1x		22	21			16	15	
9	2/3x			1/3x	1x	22			21	16			15
10		2/3x		1/3x	1x		22		21		16		15
11			1x		1x			22				16	
12				1x	1x				22				16
		WP		Airco			WP		Airco		WP		Airco
13													
14		-1/5x			-1/5x		23				22		
15				-1/5x	-1/5x				23				22
16				-1/5x	-1/5x				26				25

Tabel 2 met belangrijke de waarden van het afgegeven vermogen (t.o.v. referentie) en de waarde van de setpoints voor ieder van de 16 gekozen installatievarianten.

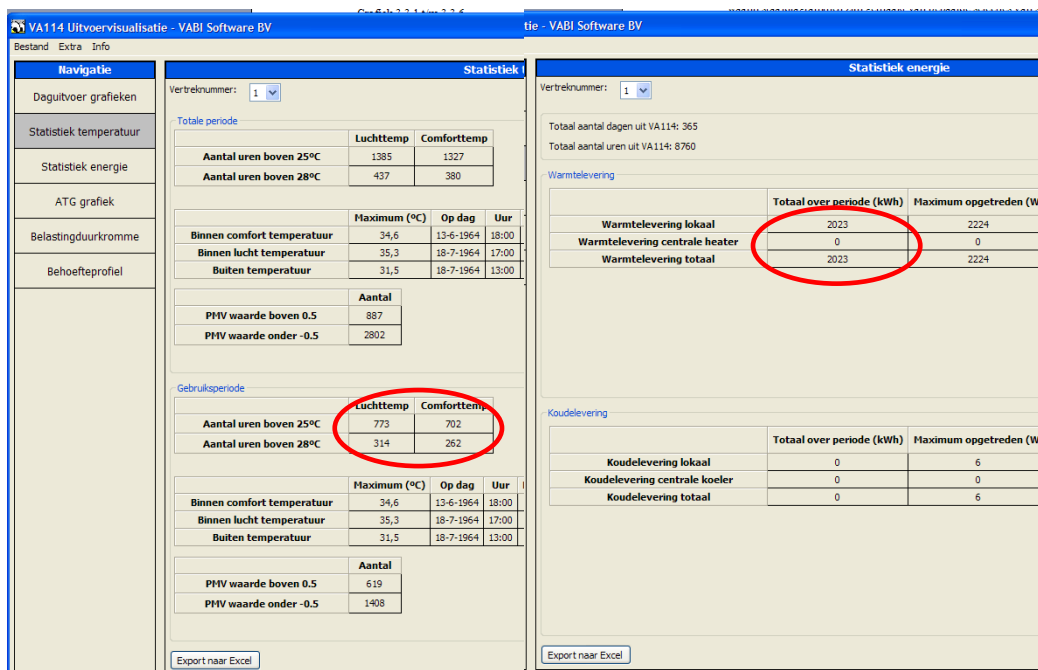
## 2.6 Validatie van het model aan de hand van VABI114

Om de resultaten van het zelf opgestelde model in Matlab-Simulink enigszins te kunnen vergelijken, is in VABI114 ook een simulatie gedaan om de resultaten hiervan naast de verkregen resultaten van Matlab-Simulink te leggen en vergelijken.

Omdat de achterliggende programma-codes in VABI114 niet publiek toegankelijk zijn, is het lastig om te zien hoe in VABI114 de temperaturen en energiestromen zijn berekend. Ook de warmteuitwisseling in het vertrek is niet helder. Dit is ook mede de reden geweest om een eigen model op te zetten. Daarnaast is de gebouwinput ook beperkt. Zo kunnen niet alle materiaalsoorten worden gekozen en kunnen er ook geen adiabatische grenzen (zonder uitwisseling van warmte) worden opgelegd of opgeheven. De uitvoer is ook beperkt.

In figuur 7 is te zien dat het energieverbruik van de installaties met ongeveer 2000 kWh van dezelfde orde grootte is als de 1600 kWh die het Matlab-Simulink model berekent. Zie hiervoor grafiek 1.3.1 in bijlage C. Het verschil is met 25 tot 30% nog wel aanzienlijk, maar kan worden verklaard door het verschil in adiabatische randen tussen VABI114 en Matlab-simulink.

Ook het aantal uren overschrijding in de zomer is te zien met VABI114, in figuur 5. Relatief gezien voor de doeleinden van dit model verschilt VABI met ongeveer 700 uur overschrijding van de 25 graden, niets ten opzichte van Matlab-Simulink met 600 uur overschrijding van de 25 graden en voldoet het model. Zie grafiek 4.1 in bijlage C.



Figuur 5 Uitvoerschermen van VABI114 met resultaten

### 3 De belangrijkste resultaten

In dit hoofdstuk staan de belangrijkste resultaten beschreven. Voor een uitgebreide uitwerking van alle resultaten en een analyse daarvan, wordt verwezen naar bijlage C.

#### 3.1 Opwarmingsnelheid, wisselende temperaturen en energiegebruik bij installaties en gebouwkarakteristieken

Om adequaat te kunnen verwarmen is onder andere de temperatuurregeling van belang. De huidige regelingen op basis van de luchttemperatuur zorgen bijvoorbeeld dat een luchtverwarming snel afslaat, terwijl de gewenste (operatieve) temperatuur nog niet bereikt is. Een regeling op basis van de operatieve temperatuur (de temperatuur die de mens ervaart, opgebouwd uit de lucht- en stralingstemperatuur) kent dit probleem niet.

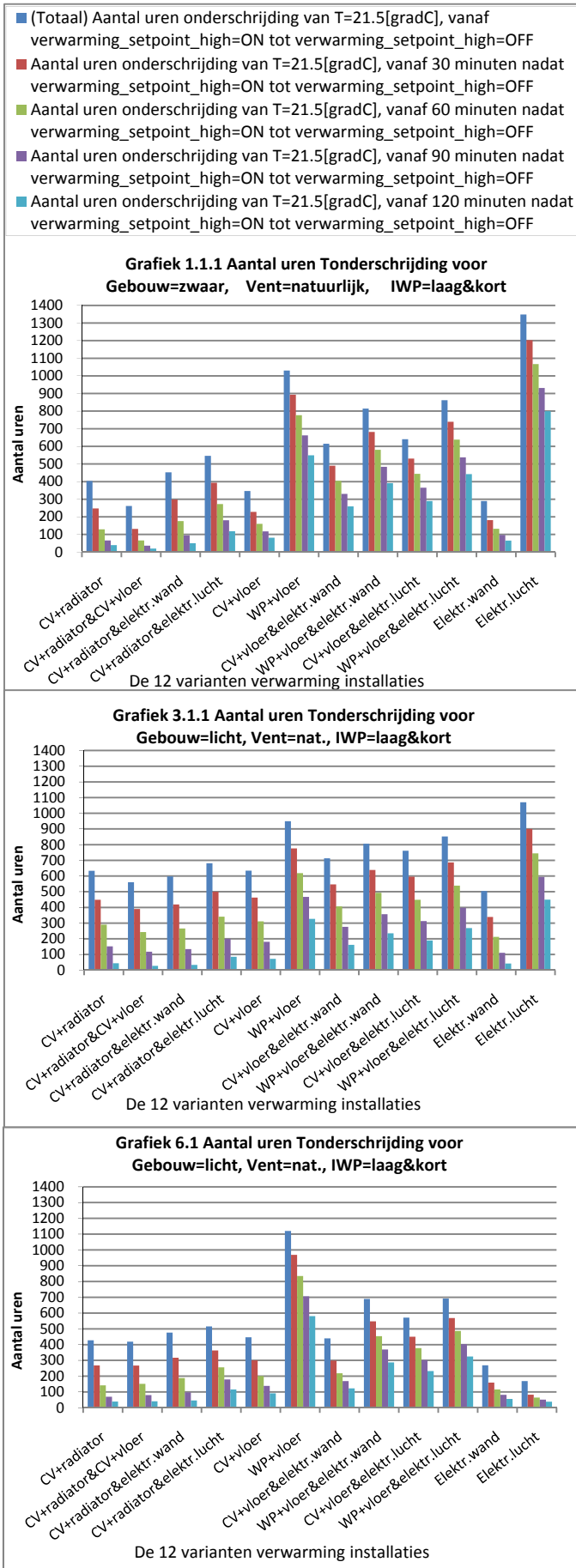
#### Wand- en luchtverwarming

Het verschil in lucht- en stralingstemperatuur wordt vooral zichtbaar bij het vergelijken van de wand- en luchtverwarming in figuur 6 en verklaard in figuur 7. Luchtverwarming warmt snel de lucht op en wandverwarming verwarmt snel de vlakken.

#### Wand- of luchtverwarming in combinatie met vloerverwarming of radiatoren

Uit figuur 6 blijkt dat deze installatietypen voor de reeks van simulaties niet snel verwarmen. Dit komt voornamelijk door de lagere setpoint van deze secundaire installaties. Deze installaties reageren snel en stoppen dan ook acuut met verwarmen als de setpoint van deze secundaire installatie is bereikt. Op dat moment moet de primaire installatie het dus alleen doen met minder vermogen, omdat het totale vermogen in deze simulaties voor alle installatievarianten gelijk is.

**Figuur 6** Vergelijking van het aantal uren temperatuuronderschrijding. De drie grafieken geven het verschil tussen zware en lichte gebouwen (boven, midden) en tussen de twee soorten van regelingen (midden, beneden), waarbij de overige parameters constant zijn gehouden.



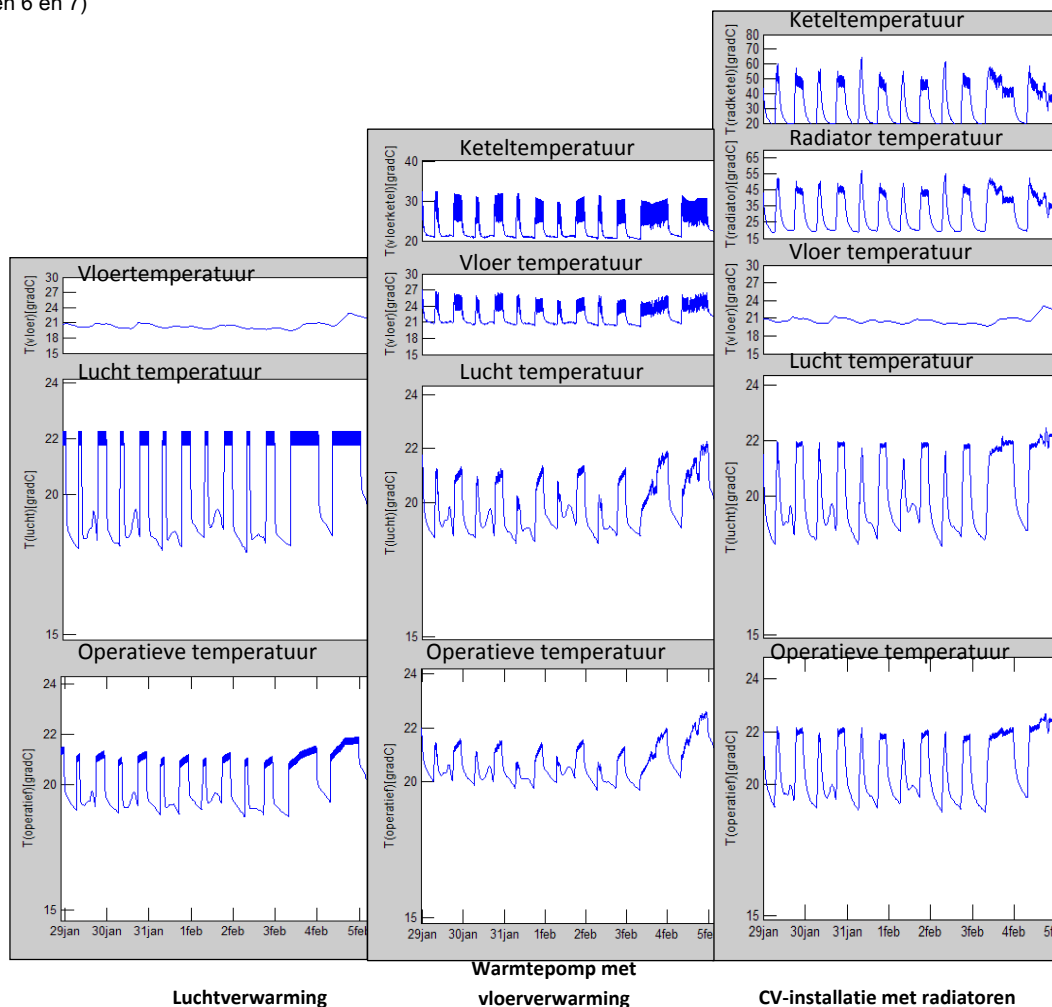
### Radiatoren in combinatie met vloerverwarming

De installatie van radiatoren in combinatie met vloerverwarming reageert sneller dan deze installaties afzonderlijk. Deze combinatie reageert even snel als wandverwarming. Dit valt te verklaren uit het feit dat radiatoren de lucht snel verwarmen. Daarbij zorgt de vloerverwarming ervoor dat de vloer nauwelijks afkoelt en sneller warm is. Zowel de stralingstemperatuur als de luchttemperatuur worden direct naar hogere waarden gebracht.

Ten opzichte van wandverwarming wordt echter meer warmte in de kamer gebracht, en de vloertemperatuur stijgt daarbij nog meer dan bij toepassing van een enkele vloerverwarming. Er wordt dus wel meer energie verbruikt en de wisselende temperaturen zijn bijgevolg ook groter, zoals is te zien in figuur 8 en 9.

### WP/CV + vloerverwarming/radiatoren

Vloerverwarmingsystemen en/of systemen die warmte eerst transporteren via water zijn van zichzelf altijd traag omdat ze eerst massa moeten verwarmen. Dit in tegenstelling tot installatiesystemen die warmte meer direct en 'snel' aan de lucht afgeven met als nadeel dat de warmte ook sneller uit de ruimte vloeit. De zware en dus trage systemen houden de warmte een langere tijd vast. Als het voorkomt dat een zwaar systeem toch snel verwarmt (ten opzichte van een snel systeem), dan komt dat doordat de massa nog niet volledig is afgekoeld. (Zie de betreffende installatievarianten in de figuren 6 en 7)

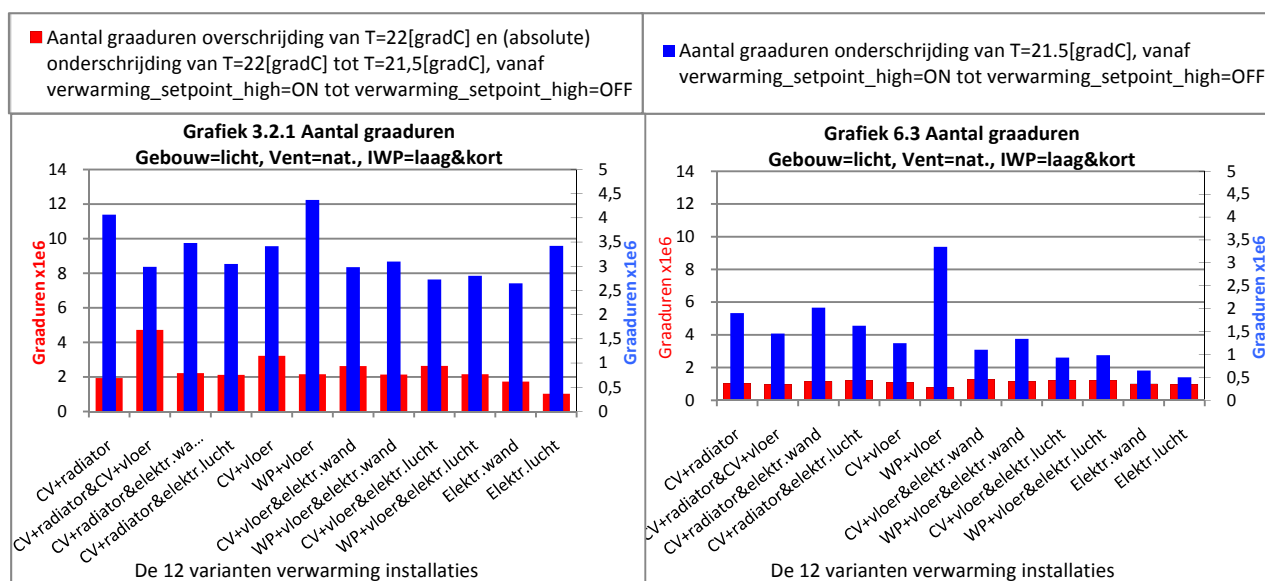


Figuur 7 De grafieken tonen de temperaturen van verschillende elementen in de kamer voor de koudste week van februari in het referentiejaar bij gebruik van drie verschillende installaties. De regeling is op basis van de luchttemperatuur en de overige parameters zijn constant. Naast de regeling op basis van luchttemperatuur toont de figuur de mate van opwarmingssnelheid als oorzaak van het verschil in temperatuuronderschrijding tussen de verschillende installaties.

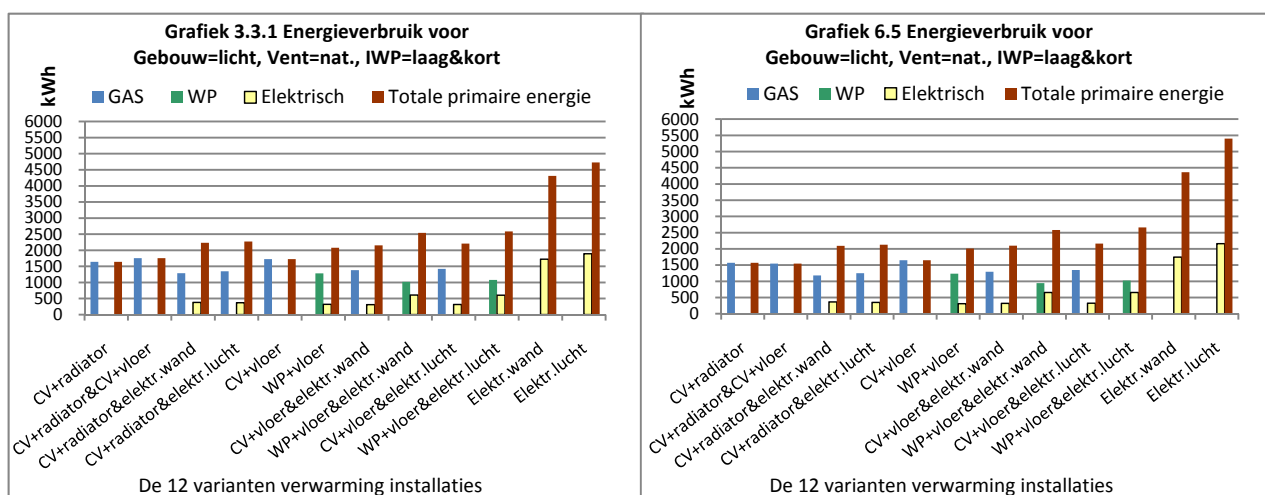


Dit niet afkoelen van de massa komt het sterkst voor bij een regeling op basis van de luchttemperatuur, als gevolg van een overschot aan warmte in de massa op het moment dat zware systemen moeten stoppen met verwarmen. Dit leidt er toe dat er geruime tijd warmte aan de ruimte wordt afgegeven op het moment dat de gewenste temperatuur is bereikt, wat kan leiden tot voelbare fluctuaties rondom de wenselijke operationele temperatuur (wisselende temperaturen). Dit is goed zichtbaar in figuur 8.

Bovengenoemd aspect is er verantwoordelijk voor dat deze systemen circa 10 tot 20% meer energie kosten dan snelle systemen. Wanneer men de zware systemen echter regelt op basis van de operationele temperatuur neemt de fluctuatie van temperaturen af en is het energieverbruik iets lager dan bij de snelle systemen. Snelle systemen hebben een lokale warmteopwekking en -afgifte, hoeven dus niet te distribueren en meestal geen massa te verwarmen (elektrische wand- en luchtverwarming). Dit is zichtbaar bij het vergelijken van figuren 8 en 9.



**Figuur 8 Het aantal graaduren temperatuuroverschrijding en wisselende temperatuur. De regeling is links op basis van de luchttemperatuur, rechts op basis van de operationele temperatuur.**



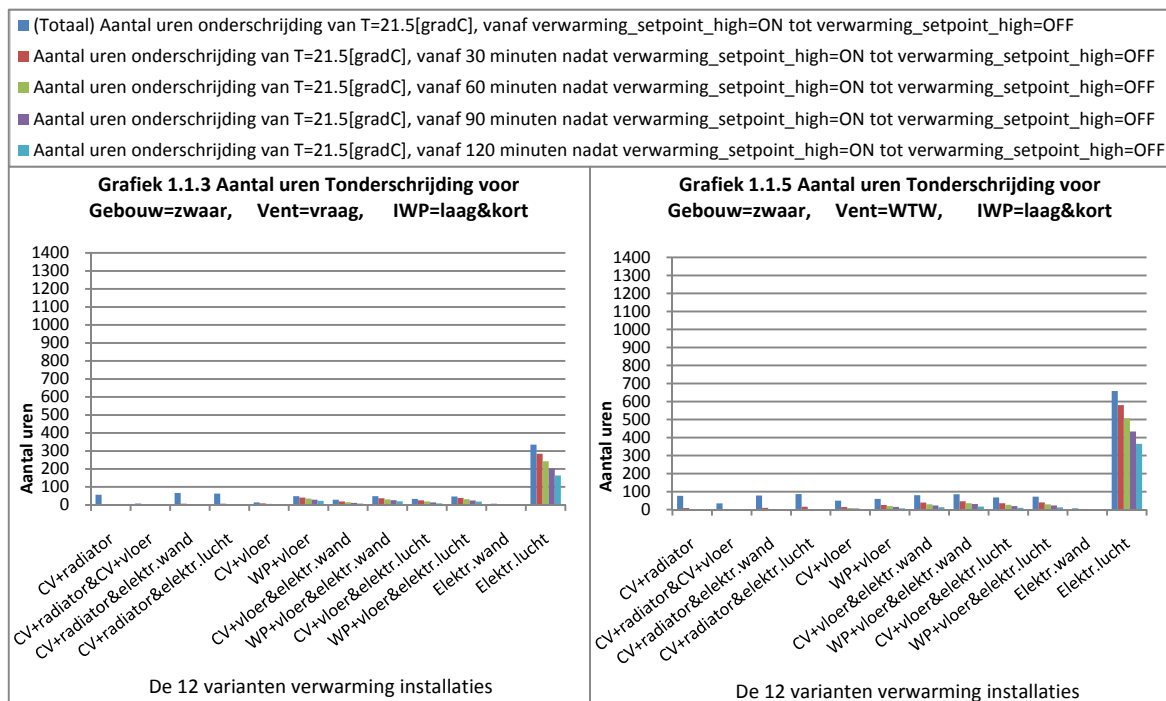
**Figuur 9 Het aantal kilowattuur energieverbruik. De regeling is links op basis van de luchttemperatuur, rechts op basis van de operationele temperatuur.**

## Ventilatie-installaties

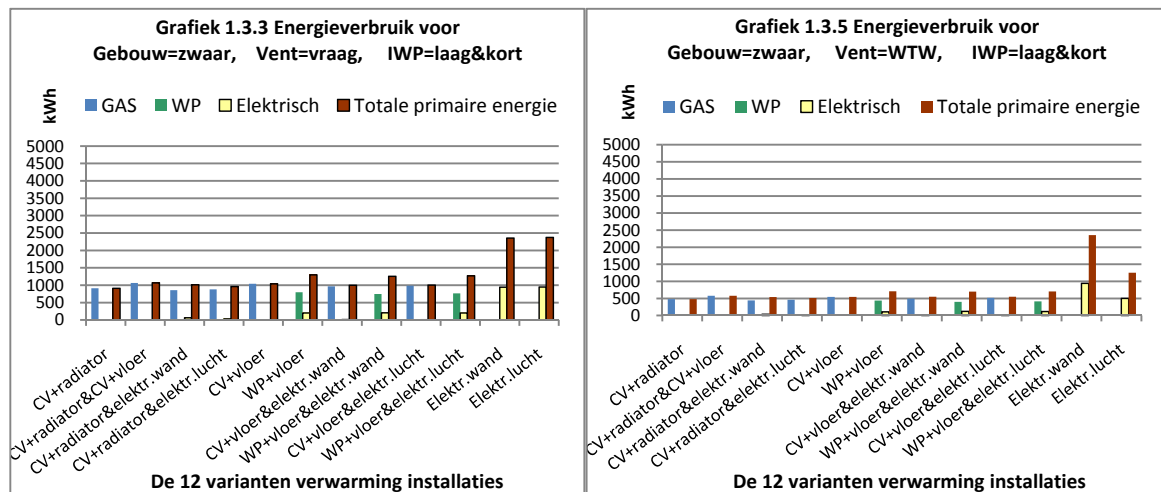
Innovatieve ventilatiesystemen hebben veel invloed op de opwarmingsnelheid. Dit is duidelijk zichtbaar bij het vergelijken van de grafieken in figuur 10 met de grafieken in figuur 6. Interessant is dat vooral vraaggestuurde ventilatie (VV) hier beter op scoort dan warmteterugwinning (WTW). Er hoeft minder opgewarmd te worden omdat de warmte hier met 90 % minder verloren gaat ten opzichte van 70 % minder bij WTW. Verder blijkt uit figuur 11 dat WTW energiezuiniger is dan VV. Op het moment dat ventilatie daadwerkelijk gevraagd wordt, gaat bij VV de warmte van de geventileerde lucht altijd voor 100% verloren terwijl WTW altijd warmte terugwint bij zowel af- als aanwezigheid van mensen.

## Gebouwkarakteristieken

Variatie in gebouwtypen levert vergelijkbare conclusies op als de variatie in trage en snelle opwarmingsystemen. De gebouwstructuur maakt voor de opwarmingsnelheid in principe niet veel uit, wanneer men bereid is om voldoende (niet duurzaam) te stoken. Een licht gebouw zal sneller opwarmen, maar ook sneller en verder afkoelen. Hierdoor kan het soms zelfs wat langer duren voordat de temperatuur in de buurt komt van de gewenste temperatuur.



**Figuur 10 Het aantal uren temperatuuroverschrijding bij vraaggestuurde ventilatie en bij warmteterugwinning.**

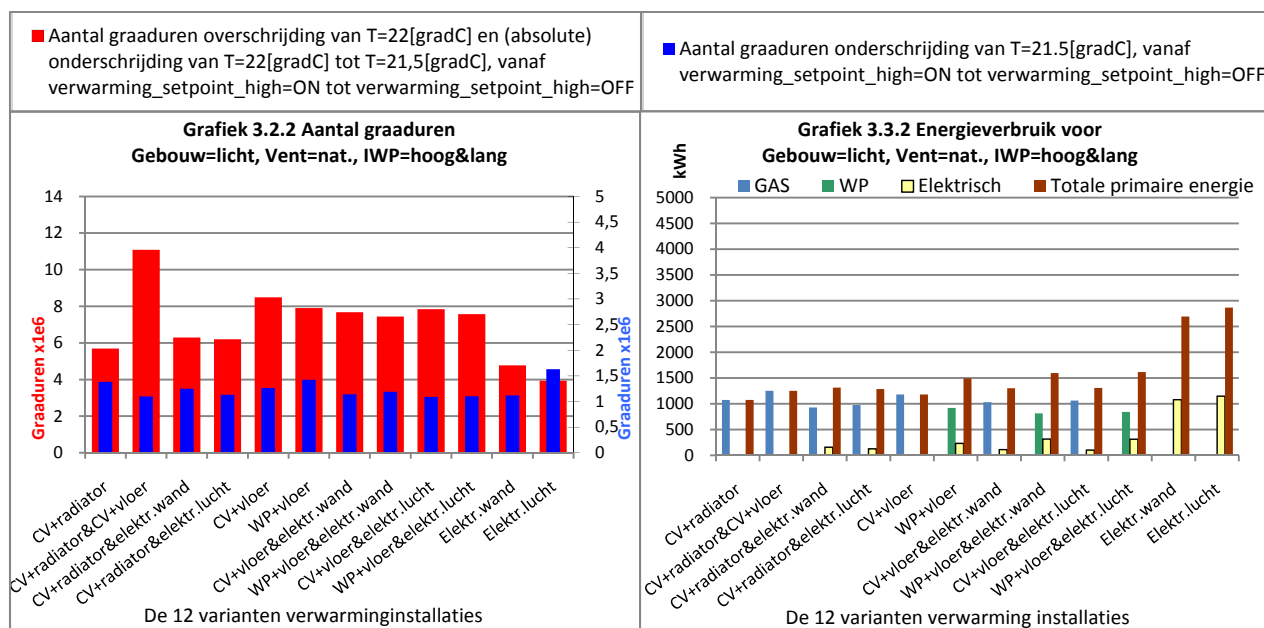


**Figuur 11 Het energieverbruik bij vraaggestuurde ventilatie en bij warmteterugwinning.**

### 3.2 Opwarmingsnelheid, wisselende temperaturen en energiegebruik bij verschillend gebruik

Het computermodel wijst uit dat wanneer zes personen een huishouden delen, dit grote effecten heeft op de temperatuur en warmtehuishouding, waarbij er van uit is gegaan dat er doordeweeks over het algemeen altijd iemand thuis is. Dit wordt duidelijk bij het vergelijken van de grafieken uit figuur 12 met de figuren 8 en 9. Dit komt de opwarming ten goede. Er hoeft 5 keer minder vaak opgewarmd te worden dan bij eenpersoonshuishouden waarbij 14 keer opgewarmd moet worden. Het aantal uren overschrijding van de temperatuur is nog minder dan deze verhouding van 5:14. Als er opgewarmd moet worden is het sneller warm door meewerking van de interne warmtelast, maar ook dan blijft er meer warmte achter in de massa van de gebouwconstructie. Qua energiegebruik kan er worden gesteld dat er ondanks de langdurige inschakeling van de installatie, toch minder energie wordt gebruikt, doordat de interne warmtelast hoger is.

Wel moet worden gesteld dat de wisselende temperaturen tot twee keer zo hoog zijn als bij een lage interne warmtelast bij een eenpersoonshuishouden. Dit is verklaarbaar doordat er meer overshoot is als gevolg van de hogere warmtelast. Zo wordt er bijvoorbeeld 's ochtends opgewarmd om snel op temperatuur te komen. Eenmaal op temperatuur levert de interne warmtelast al teveel energie om de temperatuur constant te houden en dus stijgt de temperatuur. Vooral als het zonnetje erbij gaat schijnen. In de zomer is het veel sneller te warm.

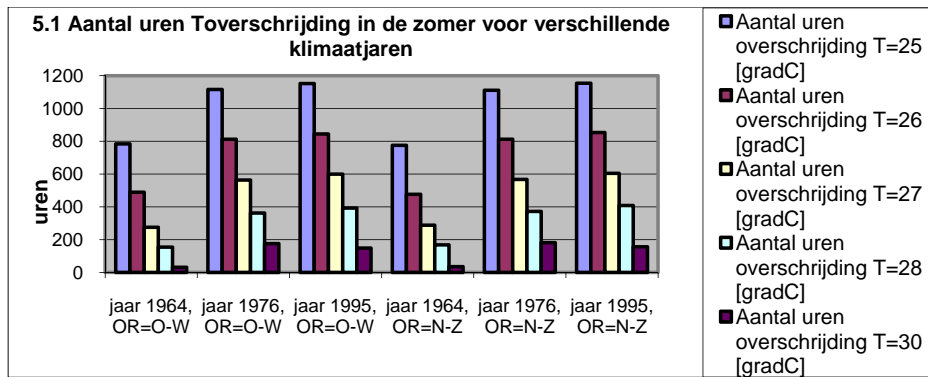


Figuur 12 Het aantal graaduren over- en overschrijding van de ingestelde gewenste temperatuur en het energiegebruik bij verschillend gebruik.

Verder is nog onderzocht wat het verschil in energiegebruik is tussen het wel en niet toepassen van nachtverlaging en verlaging bij afwezigheid. Continue aanstaan van de verwarming in een goed geïsoleerd gebouw kost 10 tot 15 % meer energie en slechts 1% wanneer ook warmteterugwinning wordt toegepast.

### 3.3 Het vergelijken van de opwarming in warme zomers ten opzichte van de huidige referentie

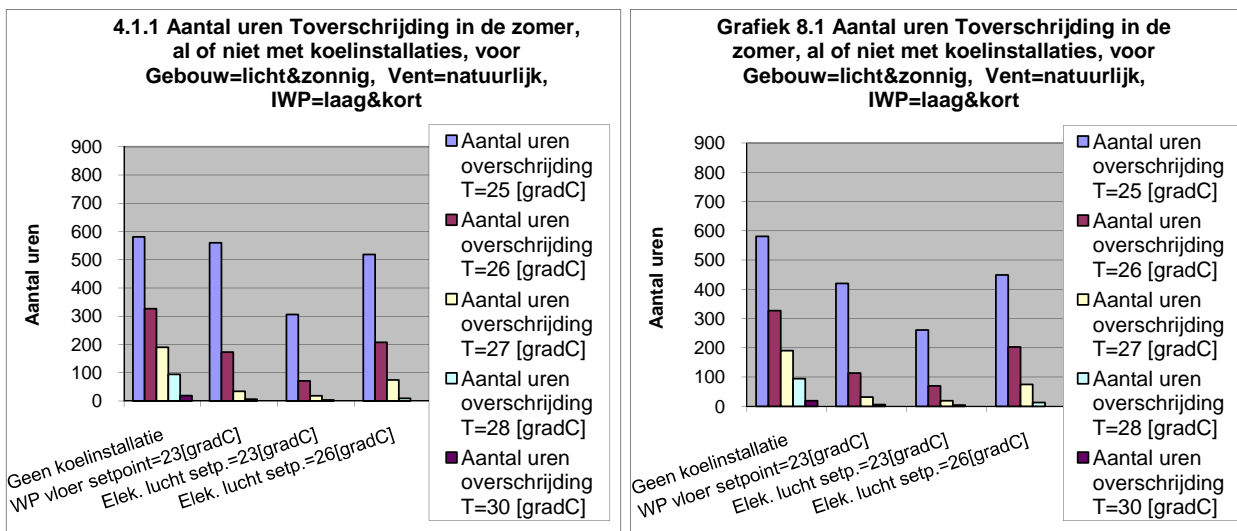
Figuur 13 laat zien dat zomers met vele aaneengesloten warme periodes veel warmere binnenklimaten op kunnen leveren dan waar men standaard rekening mee houdt. Uit modelberekening blijkt dat de thermische massa in een gebouw deze warmte tot op een zeker niveau kan bufferen. De warmte moet dan wel in een koude periode weg kunnen stromen. Langere en warmere zomers kennen (ook 's nachts) onvoldoende koelere periodes.



Figuur 13 Aantal uren overschrijding in de zomer bij het lichte gebouw voor verschillende klimaatjaren.

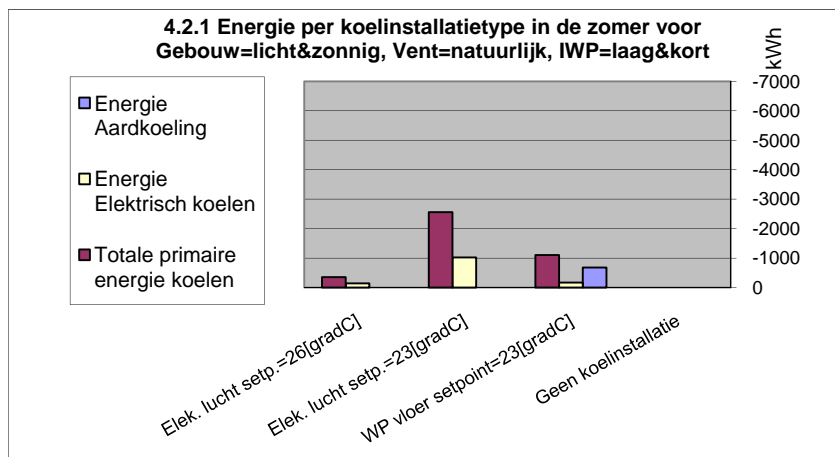
### 3.4 Koelinstallaties en koelprestaties.

Men moet op tijd beginnen met preventief te koelen en niet wachten tot de temperatuur ondraaglijk is. Dit komt naar voren bij het vergelijken van de koelinstallaties die bij verschillende temperatuurgrenswaarden beginnen te koelen, zoals onder andere is te zien in de beide grafieken van figuur 14. De warmtelast van het buitenklimaat is in de zomer tijdelijk zo hoog dat de aanwezige koelcapaciteit te kort schiet als er op dat moment pas gekoeld moet worden. Het is daarbij niet lonend en duurzaam om de installatie een groot koelvermogen te geven, want dat vereist een installatie die exponentieel veel meer ruimte inneemt.



Figuur 14 Het aantal uren (operatieve) temperatuuroverschrijding. Links op basis van een luchttemperatuurthermostaat, rechts op basis van een regeling van de operatieve temperatuur.

Wel blijkt uit figuur 15 dat het minder energie kost wanneer men bij een hogere grenswaarde (topkoeling) begint te koelen, waarbij een gezond klimaat wordt nagestreefd en minder comfort wordt geleverd. Dit sluit beter aan bij de richtlijnen omtrent adaptief comfort. [1]



Figuur 15 Energiegebruik van koelinstallaties. Nota bene: In deze figuur is bij WP een fout gemaakt. Aan de aarde afgegeven warmte is bij de totale primaire energie opgeteld.

## 4 Conclusies

### 4.1 Conclusies uit het computermodel

Het is goed mogelijk om een zowel bouwfysisch als installatietechnisch computermodel op te zetten en daarmee de thermisch-comfort installaties te toetsen op hun prestaties voor verschillende gebouwkarakteristieken. Dit blijkt ook uit de meest interessante antwoorden op de onderzoeksvragen, die hieronder puntsgewijs staan weergegeven.

#### *Installaties*

In paragraaf 3.1 is duidelijk gemaakt dat van de gevarieerde installaties in het computermodel de lokale opgewekte wand- en luchtverwarming het snelst opwarmen. Paragraaf 3.4 toont dat de meest effectieve manier van topkoeling er uit bestaat om preventief te koelen. De setpoint waarbij men begint blijkt hiervoor van belang. Aangezien elektrische installaties ook sneller in koeling voorzien, kan (preventief) koelen nog het beste met elektrische installaties. Het spreekt voor zich dat deze het hoogste primaire energieverbruik kennen en het minst duurzaam zijn. In paragraaf 3.1 wordt ook duidelijk dat wisselende temperaturen het best tegen worden gegaan door een regeling op basis van de operationele temperatuur.

#### *Ventilatieinstallaties*

Ten opzichte van traditionele ventilatie, scoren zowel warmteterugwinning als vraagsturing beter op het gebied van opwarmingssnelheid, overschrijding van de temperatuurgrenswaarden, en energieverbruik. Opmerkelijk is dat we in paragraaf 3.1 hebben kunnen lezen dat vraagsturing een snellere opwarming bewerkstelligd dan warmteterugwinning, terwijl warmteterugwinning wel minder energie verbruikt. Bij vraagsturing gaat minder energie verloren bij afwezigheid van gebruikers waarbij de setpoint wordt verlaagd. Hierdoor hoeft er maar weinig energie te worden toegevoegd als men weer aanwezig is en hierdoor is het snel weer op temperatuur. Bij warmteterugwinning gaat wel iets meer energie verloren bij afwezigheid, maar bij aanwezigheid wordt veel minder energie gebruikt, zodat deze veel minder energie gebruikt in het totaal. Toch kan het voor eenpersoonshuishoudens die slechts een paar uur per dag thuis zijn, duurzamer zijn om vraagsturing toe te passen dan warmteterugwinning.

#### *Interne warmtelast en aanwezigheidspatronen*

Paragraaf 3.2 geeft weer dat het soort van huishouden van grote invloed is op de temperatuur en warmtehuishouding in een woning. In de winter kan het sneller warm zijn en energie besparen. Het kan echter ook zorgen voor hogere wisselende temperaturen, doordat de interne warmtelast de kamer te sterk opwarmt naast de werking van de installatie. In de zomer worden temperaturen veel sneller overschreden. Het blijkt dan ook van groot belang om goed rekening te houden met het soort huishouden van een woning.

#### *Gebouwconstructie*

In dit afstudeerwerk zijn voornamelijk een viertal zaken in de gebouwconstructie gevarieerd waarvan bekend is dat deze invloed hebben op de temperatuur en warmtehuishouding in een gebouw. De voornaamste conclusie wordt duidelijk in paragraaf 3.1 en stelt dat een regeling op basis van de operationele temperatuur energie bespaart bij zware systemen. De regeling voorkomt een teveel aan energie in de massa van deze systemen en het optreden van wisselende temperaturen.

#### *Klimaatjaren*

In dit afstudeerwerk zijn verschillende klimaatjaren onderzocht. Dit is voornamelijk gedaan om de invloed van verschillende zomers vast te stellen, die anders zijn dan het referentiejaar. In paragraaf 3.3 is uiteengezet dat er warmere

zomers bestaan dan het huidige referentiejaar welke is beschreven in paragraaf 3.4. In deze warmere zomers wordt al snel niet meer aan de gestelde normen betreffende temperatuuroverschrijding voldaan. Aangezien het computermodel model staat voor de meeste typen woningen in Nederland, betekent dit dat de normen hieromtrent moeten worden bijgesteld.

## **4.2 Algemene conclusies**

In de praktijk kan het thermische binnenklimaat worden verbeterd en geoptimaliseerd door meer uitgewerkte computermodellen die zowel bouwfysisch als installatietechnisch zijn. Voor deze nadere uitwerking moet wel de (veelal fabrieksgeheime) werking en regelingen van installaties worden vrijgegeven zodat deze kunnen worden gemodelleerd. Hier moeten dan ook eerst duidelijke afspraken over worden gemaakt.

Het is opmerkelijk te noemen dat een regeling op basis van de luchttemperatuur volgens het computermodel weinig nauwkeurig is ten opzichte van een regeling op basis van de operationele temperatuur. De regeling op basis van de luchttemperatuur is daarmee weinig comfortabel en is in combinatie met sommige installaties zelfs oorzaak voor een verlies van 10 tot 20 procent energie. Dit is opmerkelijk te noemen omdat regelingen op basis van de operationele temperatuur voldoende voor handen zijn, goed toepasbaar zijn en niet veel kosten met zich mee brengen.

Ook valt op dat in een sterk geïsoleerde woning waarbij geen nachtverlaging wordt toegepast, volgens het computermodel nog altijd 10 tot 15 procent van de energie verloren gaat. Op het moment dat warmteterugwinning wordt toegepast, gaat slechts nog één procent verloren. Er zijn mensen die uit vergeetachtigheid, gemak of comfort de thermisch-comfort installatie niet lager zetten bij afwezigheid. Hoewel huizen steeds beter geïsoleerd worden, levert dit momenteel nog veel energieverliezen omdat de meeste huizen in Nederland nog niet zo sterk zijn geïsoleerd. Daarbij blijkt uit het computermodel dat elektrische thermisch-comfort installaties kamers sneller op temperatuur hebben. Deze installaties kosten weinig en zijn eenvoudig (in cascade-opstelling) te vergroten (zodat ze nog sneller opwarmen). In combinatie met een regeling op basis van detectie van de aanwezigheid van mensen, zouden elektrische thermisch comfort installaties pas hoeven te gaan verwarmen bij aanwezigheid en de kamer in snel op de gewenste temperatuur hebben. Er zou dan helemaal geen energie meer verloren hoeven te gaan als men (nacht-)verlaging automatisch zou toepassen.

Tenslotte is het opmerkelijk te noemen dat elektrische thermisch-comfort installaties (door lokale opwekking) volgens het computermodel het snelst presteren bij het leveren van een goed binnenklimaat. Daarbij levert ze veel gemakken op ten aanzien van bediening, plaatsing en onderhoud. Desondanks zijn deze installaties minder wenselijk omdat ze minder duurzaam zijn, terwijl de installaties helemaal niet meer (elektrische) energie verbruiken dan andere thermisch-comfort installaties (andersoortige) energie verbruiken. Dit heeft alles te maken met de weinig rendabele opwekking en transporten van elektrische energie, waardoor elektrische energie ongeveer 2,5 keer zoveel primaire energie verbruikt om opgewekt te worden. Onderzoek naar verduurzaming hiervan zou een verbetering van het thermisch comfort met zich mee kunnen brengen.

## **4.3 Aanbevelingen**

### ***Duurzame energie***

Het verdient aanbeveling om meer onderzoek te doen naar technieken om (elektrische) energie (meer) duurzaam op te wekken en te transporteren. Dit is namelijk niet alleen goed ten opzichte van duurzaamheid maar verbetert ook het comfort in het thermische binnenklimaat door snelle opwarming. Hier moet nog wel bij worden gezegd dat ook de invloed

van elektriciteit op de gezondheid van de mens nader moet worden onderzocht alvorens deze (nog) meer toe te passen in woningen. Er zijn veel aanwijzingen dat elektromagnetische en andersoortige straling van elektrische apparaten en zendapparatuur een schadelijke invloed heeft. Om het uit te kunnen sluiten, zal het nader onderzocht moeten worden. Het belang dient hier de gezondheid van de mens en heeft dus een hoge prioriteit.

#### ***Overcapaciteit bij combinaties van installaties voor optimalisatie van comfort en duurzaamheid.***

Er kan nader worden onderzocht of combinaties van duurzame centrale verwarminginstallaties met snelle elektrische verwarmingsinstallaties door overdimensionering op een dusdanige manier kunnen worden toegepast, dat zowel de voordelen van een snelle (elektrische) opwarming aanwezig zijn, terwijl men bij het op peil houden van de temperatuur de minder snelle duurzame verwarmingsinstallatie gebruikt. Interessant is dan vooral ook of de extra (vaak eenvoudige elektrische) installatie opweegt tegen de besparing in energie.

#### ***Regeltechniek***

Regelingen van thermisch-comfort installaties zouden verfijnd en meer geautomatiseerd kunnen worden op basis van detectie van de aanwezigheid van mensen. Hierbij kan worden gedacht aan dezelfde detectie als die bij vraaggestuurde ventilatie wordt toegepast, maar misschien is er ook een regeling op basis van infrarood mogelijk. De mogelijkheid van een snelle opwarming op basis van aanwezigheidsdetectie kan immers voldoende comfort verzorgen en tegelijkertijd een besparing in energie opleveren door automatische (nacht-)verlaging toe te passen.

#### ***Computermodel***

In de verdere uitwerking van een bouwfysisch en installatietechnisch computermodel kan ook worden gekeken naar de prestaties ten aanzien van luchtkwaliteit en tocht. Per deelgebied binnen een kamer kan dan precies de (lucht)bewegingen worden gemodelleerd. Hiermee kan inzichtelijk worden gemaakt hoe (vuile) lucht zich verplaatst al naar gelang het verschil in temperatuur, luchtvochtigheid, etcetera.

## Bijlage A Selectiecriteria voor de simulaties

Alvorens het model in Matlab-Simulink op te stellen is er onderzocht, hoe en welke parameters er allemaal precies moeten worden meegenomen. Dit is meer ter afbakening van het mogelijke aantal combinaties die de verschillende invloeden allemaal met elkaar kunnen aangaan, enerzijds omdat het aantal combinaties anders teveel wordt, anderzijds omdat veel combinaties ook niet interessant zijn of zijn af te leiden uit meer extreme combinaties.

In de volgende subparagrafen worden de verschillende innovatieve installaties en de verschillende invloeden nader benoemd. Vervolgens wordt gekeken welke combinaties in de praktijk veel voorkomen en op basis hiervan worden bepaalde combinaties geselecteerd. De meest extreme combinaties zijn het meest interessant en vormen de criteria bij de selectie.

### A1 Selectie van de gebouw-parameters

Bij het onderzoeken van gebouweigenschappen, zijn eerst verschillende voorkomende combinaties van gebouweigenschappen onderzocht. Dit staat ook in de onderstaande tabel:

<u>Soort</u>	<u>Variant</u>	<u>Isolatie gevel</u>	<u>Th.Massa</u>	<u>Glas</u>	<u>Zonwering</u>
<b>Extr. warm</b>	1	Veel	Weinig	Veel	Weinig
<b>Extr. koud</b>	2	Weinig	Veel	Weinig	Veel
<b>Renovatie</b>	3	Gemiddeld	Veel	Gemiddeld	Gemiddeld
<b>Nieuwbouw</b>	4	Veel	Gemiddeld	Gemiddeld	Gemiddeld
<b>Passiefhuis winter</b>	5	Veel	Weinig	Veel	Veel
zomer	6	Weinig	Veel	Veel	Veel

Tabel 4 Selectie van extreme bouwparameters.

De varianten 1 en 2 zijn extremen waarvoor het heel warm of koud is. Variant 1 komt voor bij houtskeletbouw en variant 2 zou kunnen voorkomen, wanneer men bijvoorbeeld in een oud pakhuis met weinig ramen gaat wonen. Dit zijn in de praktijk echter minder vaak voorkomende situaties in de woningbouw.

De varianten 3 en 4 zijn gebaseerd op de hedendaagse verschillende en uiteenlopende typen woningen. Variant 5 en 6 staan hier model voor het passiefhuis. Deze variant is tegenwoordig nog niet standaard, maar vormt meer een toekomstideaal, waarbij er naar wordt gestreefd om woningen zo energiezuinig mogelijk te maken. Aangezien de verwachting is dat de isolatie en de th. massa variabel zijn in te stellen naar het seizoen, representeren de varianten 5 en 6 samen het passiefhuis. Variant 5 representeert de winter en variant 6 de zomer.

Zoals eerder al aangegeven zijn de extreme situaties geselecteerd, maar wel op basis van 'het voorkomen in de praktijk'. Zo worden tegenwoordig alle huizen verplicht geïsoleerd alvorens innovatieve klimaatinstallaties toe te passen. Hier is de selectie dus ook vanuit gegaan. De overige parameters zijn in de tabel hieronder weergegeven. Daarbij nog de opmerking dat in de winter meerdere massavarianten zijn onderzocht, voornamelijk om de invloed van de energieopslag in combinatie met de gebruikerspatronen vast te stellen. Dit terwijl de invloed van thermische massa in de zomer over een dag gezien meer algemeen bekend is en hier dus niet is meegenomen.

<u>Soort</u>	<u>Variant</u>	<u>Isolatie(U=0.3)</u>	<u>Th.Massa</u>	<u>Glas(U=1.2)</u>	<u>Zonwering(ZTA=0.58)</u>
<b>Winter-zwaar</b>	1	Veel	Veel	Weinig(50%)	Weinig
<b>Winter-middelzw.</b>	2	Veel	Middel	Weinig(50%)	Weinig
<b>Winter-licht</b>	3	Veel	Weinig	Weinig(50%)	Weinig
<b>Zomer</b>	4	Veel	Weinig	Veel (100%)	Weinig

Tabel 5 Keuze van uiteindelijke bouwparameters.



## A2 Selectie van de installaties

In deze paragraaf staan drie tabellen met de meest gangbare varianten van opwekkingsinstallaties in combinatie met de afgiftesystemen met betrekking tot binnenklimaat- en ventilatie- installaties. Hierbij zijn de opwekkingsinstallaties en afgiftesystemen geselecteerd, zoals deze tegenwoordig in de woningbouw voorkomen voor de verwarming, koeling en ventilatie van ruimtes. Alle combinaties tussen deze installaties zijn weergegeven, met een maximum van 2 opwekkingsinstallaties aangezien in de praktijk ook niet meer dan 2 soorten systemen gelijktijdig worden toegepast. Dit in verband met de kosten en het beperkte budget voor installaties in de woningbouw. Het totale vermogen van de verschillende varianten is altijd gelijk. Bij combinaties is de elektrische installatie meestal secundair en alleen voor de opwarming bedoeld om zoveel mogelijk op elektrische energie te besparen. Hiertoe hebben secundaire installaties ook lagere setpoints.

Plaatselijke (gedeeltelijke) verwarming of koeling van een ruimte is in dit model niet meegenomen. Daarbij vereist plaatselijke opwarming een geheel ander model dan hier is gebruikt. Vanwege de noodzaak tot verdere afbakening en op basis van voorkomen in de praktijk, is er voor gekozen om een aantal varianten niet mee te nemen. De selectie en de niet meegenomen varianten worden hieronder nader verklaard en staan in tabel 6 geel gemarkeerd.

Variant-nr.	Binnenklimaat Verwarmingsinstallaties					
	Opwekking	Afgifte				
		Radiato ren	Vloer	Wand	Lucht	Plaatselijk
1	CV	X				
2	CV	X	X			
3	WP	X	X			
4	WP	X	X	X		
5	CV	X		X		
6	WP	X		X		
7	CV + elektr.	X		X		
8	CV+ fan/klim.plaf	X			X	
9	CV+ airco/heater	X			X	
10	CV		X			
11	WP		X			
12	CV		X	X		
13	WP		X	X		
14	CV+elektr.		X	X		
15	WP+elektr.		X	X		
16	CV+ fan/klim.plaf		X		X	
17	WP+fan/klim.plaf		X		X	
18	CV+ airco/heater		X		X	
19	WP+ airco/heater		X		X	
20	Elektr.		X			
21	Elektr.		X	X		
22	Elektr.			X		
23	Heater				X	
24	Elektr.					X

Tabel 6 Selectie en keuze van verwarminginstallaties.

### Verwarmingsinstallaties

Een aantal installaties wordt niet meegenomen in het onderzoek. Onder andere de combinatie van een centrale opwekking met een fan/klimaatplafond. Deze komt niet heel vaak voor in woningen en is qua kosten, duurzaamheid en techniek pas gunstig als de energie centraal kan worden opgewekt voor een heleboel ruimten. Voor dit onderzoek is het ook belangrijk om op te merken dat de eventuele vergrote opwarmingssnelheid, als gevolg van de convectieve afgifte door de fan, in het niets valt in vergelijking met de opwarmingssnelheid van lokale opwekkingsystemen, zoals heaters of airco's.

In het algemeen is het ook niet gebruikelijk om wandverwarming toe te passen in modale woningbouw bij opwekking door een CV of een WP. Deze systemen werken traag met lage temperaturen en hebben grotere afgiftevlakken nodig. De kostprijs van het afgiftesysteem is hoog. In de praktijk blijkt het nauwelijks toegepast in gewone vertrekken, enkel in badkamers. Daarom is ervoor gekozen om de varianten die deze wandverwarming insluiten ook niet mee te nemen in dit onderzoek. Dit is anders bij elektrische wandverwarming. De kosten hiervan zijn lager, door het ontbreken van het watervoerend pakket voor de distributie van de warmte en door eenvoudiger installatie.

Het is wel zo dat de elektrische verwarmingsinstallaties hogere energiekosten hebben. Het is daarom alleen interessant om te zien of deze installaties een beter comfort behalen. Bijvoorbeeld een snellere opwarming of minder wisselende temperaturen, dan goedkopere en duurzame concurrenten. In dit model wordt getracht om uitkomst te bieden omtrent het werkelijk rendement

van de elektrische verwarming bij verbeterd comfort. Daarbij volstaat het om voorlopig enkel de elektrische wandverwarming en de heater te onderzoeken.

Tenslotte komt het niet vaak voor om radiatoren in combinatie met een WP te gebruiken. Radiatoren geven immers niet genoeg warmte af door de lage afgiftetemperaturen. Deze varianten worden dan ook niet meegenomen.

### Koelinstallaties

De varianten van koelinstallaties staan overzichtelijk weergegeven in tabel 7. Net als bij verwarminginstallaties is de toepassing van de fan niet meegenomen in het onderzoek. Wat betreft de elektrische koelinstallaties is het toepassen van een elektrische airco bij twee verschillende temperatuursetpoints onderzocht. Dit om te zien of het gebruik van deze installaties in meer extreme omstandigheden tot meer verantwoord energieverbruik leidt en in hoeverre het comfort dan vermindert.

### Ventilatie-installaties

In tabel 8 over het binnenmilieu staan alle mogelijkheden tot ventilatie, zoals deze voor de warmtehuishouding van belang zijn. Hierbij is het niet van belang om onderscheid te maken tussen mechanische, centrale en lokale (natuurlijke) ventilatie, want deze eigenschappen hebben vooral hun uitwerking op de luchtkwaliteit en niet zozeer op de warmtehuishouding.

In dit onderzoek zijn dus drie combinaties onderzocht, zoals deze in de praktijk voorkomen. Dat wil zeggen dat vraagsturing en warmteterugwinning altijd naast de basis- en zomerventilatie optreden en nooit gelijktijdig in verband met te hoge aanschafkosten bij het toepassen van beide systemen. Daarnaast is hierbij gesteld dat er altijd een bypass wordt gebruikt.

## A3 Selectie van de variabele invloeden in de gebruiksfase

### De Interne Warmte Productie en de tijden waarbinnen dit gebeurt.

De interne warmteproductie is afhankelijk van de tijdstippen en de uren van de aanwezigheid, van het aantal gebruikers en van de grootte van andere warmtebronnen. In dit onderzoek zijn 4 voorkomende varianten van verschillende parameters geselecteerd om hun invloed op het binnenklimaat vast te kunnen stellen (zie tabel 9). De belangrijkste waarden en aannames zijn direct vastgesteld en bij het selecteren van de varianten en vormen het verschil tussen de varianten.

Variant 1: Bij een lage bezetting is slechts 1 persoon aanwezig in het huis. De bezettingsgraad voor de woonkamer is 0.75 (Men is ook wel eens in andere ruimten aanwezig). Er van uitgaande dat 1 persoon niet veel thuis hoeft te blijven omdat hij/zij gebonden zou zijn aan de zorg voor kinderen en omdat hij/zij hoogstwaarschijnlijk aan het werk is, is de aanwezigheid doordeweeks van 6.30u tot 9.30u en van 17.30u tot 23.30u. In het weekend is de aanwezigheid van 7.30u

Variant-nr.	Binnenklimaat Koelingsinstallaties			
	Opwekking	Afgifte		
		Vloer	Wand	Lucht
1	geen			
2	WP	X		
3	WP	X	X	
4	WP + fan	X		X
5	Airco + gem.setpoint			X
6	Airco + hoog setpoint.			X

Tabel 7 Selectie en keuze van koelinstallaties.

Variant-nr.	Binnenmilieu & installaties			
	Basisventilatie voud	Zomerventilatievoud	Vraagsturing (% ventilatie bij wel /niet aanwezig)	Warmteterugwinning (% Ewtw incl. bypass)
1	1.2	5		
2	1.2	5	100%/10%	
3	1.2	5		70%

Tabel 8 Selectie en keuze van koelinstallaties.

Aantal Varianten	
Soort	Variant-nr.
1 volwassene	1
2 volwassenen	2
Modaal gezin	3
Groot gezin	4

Tabel 9 Selectie van de gebruikersinvloeden

tot 23.30u. Het apparaatgebruik is afhankelijk van de bezetting en heeft een gebruiksfactor van 0.25 (excl. sluimergebruik), wat er ongeveer op neerkomt, dat of de stereo, of de tv of de computer voor 70% van de tijd pertinent aanstaat bij aanwezigheid thuis.

Variant 2: Hetzelfde als 1, maar nu wonen er 2 personen. Dit model representeert voornamelijk starters of ouderen waarvan de kinderen al het huis uit zijn.

Variant 3: Bij een gemiddelde bezetting zijn 3 tot 4 personen aanwezig in het huis. Dit model representeert een modaal gezin met 1 a 2 kinderen. De bezettingsgraad voor de woonkamer is 0.75 (Men is ook wel eens in andere ruimten aanwezig). Er van uitgaande dat de moeder niet werkt, is de aanwezigheid doordeweeks ongeveer pertinent van 6.30u tot 10.30u. In het weekend is de aanwezigheid van 7.30u tot 23.30u. (Dat de moeder niet werkt is misschien geen representatieve situatie voor deze bevolkingsgroep, maar wel een meer interessante situatie om te onderzoeken, omdat de verwachting is dat de Temperatuuroverschrijding in de zomer het grootste probleem vormt bij deze bezettingsgraad.) Het apparaatgebruik is afhankelijk van de bezetting en heeft een gebruiksfactor van 0.25 (excl. sluimergebruik), wat er gemiddeld op neerkomt dat of de stereo, of de tv, of de computer voor 70% van de tijd pertinent aanstaat bij aanwezigheid thuis.

Variant 4: Bij een gemiddelde bezetting zijn 5 tot 6 personen aanwezig in het huis. Dit model representeert de grotere gezinnen, die tegenwoordig meer in opkomst zijn. Het geboortecijfer neemt tegenwoordig in Nederland iets toe, omdat meer mensen kiezen voor meer kinderen. Ook komt het vaker voor dat opa en oma in een gezin worden opgenomen. [2] De bezettingsgraad voor de woonkamer is 0.75. (Men is ook wel eens in andere ruimten aanwezig) Er van uitgaande dat de moeder niet werkt, is de aanwezigheid doordeweeks ongeveer pertinent van 6.30u tot 10.30u. In het weekend is de aanwezigheid van 7.30u tot 23.30u. Het apparaatgebruik is afhankelijk van de bezetting en heeft een gebruiksfactor van 0.5 (excl. sluimergebruik), wat er gemiddeld op neerkomt dat of de stereo, of de tv gelijktijdig met de computer voor 70% van de tijd pertinent aanstaan bij aanwezigheid thuis.

#### Uiteindelijke keuze gebruikersinvloed

De varianten 1 en 4 zijn het meest extreem gebleken, dus het meest interessant om te onderzoeken, en hebben zo de uiteindelijk onderzochte varianten 1 en 2 gevormd. Dit staat nog eens weergegeven in 10.

<u>Variant</u>	<u>Aanwezigheid</u>		<u>Bezetting</u>	<u>Apparatuurgebruik</u>
	week	weekend	factor bij aanwezigheid	factor bij aanwezigheid
1	6.30-8.30 17.30-22.30	7.30-23.30	0.75*1	0.25
2	6.30-22.30	7.30-23.30	0.75*6	0.5

Tabel 10 Keuze van gebruikersinvloeden.

#### ***Buitenklimaat***

Bij het onderzoeken van de invloed van het buitenklimaat op het binnenklimaat, zijn er verschillende klimaatjaren geselecteerd op basis van verschillende eigenschappen van het buitenklimaat in de zomer, om te zien wat de invloed hiervan is op de temperatuuroverschrijding in de zomer.

Het gebruikelijke referentiejaar om binnenklimaten mee te simuleren is meestal nog het jaar 1964. Dit jaar is als referentie genomen omdat het een goed gemiddeld jaar zou representeren 'met voldoende lange warme en koude perioden'. Er zijn wel al andere referentiejaar in omloop, zoals het jaar 1995, omdat men stelt dat het klimaat tegenwoordig opwarmt en de

gemiddelden tegenwoordig anders liggen. Daarnaast zijn er nog referentie jaren, die zijn samengesteld uit het gemiddelde van 10 of 20 klimaatjaren, om zo betere gemiddelden te presenteren. [3]

Zodoende kan worden geconcludeerd dat het referentiejaar toch meer een gemiddelde representeert. Echter de temperatuuroverschrijding in de zomer zorgt tegenwoordig nog steeds voor veel hoofdbreken. Er wordt nauwkeurig geprobeerd om de temperatuur voor ieder uur te voorspellen en het aantal uren TO mag daarbij niet groter zijn dan een bepaalde waarde voor zekere temperaturen.

Als men stelt dat temperaturen nooit of slechts een bepaald aantal uren overschreden mogen worden in verband met gezondheids- redenen, dan schijnt het nuttiger om een extreme zomer te onderzoeken. Immers kan bij dergelijk argumenten niet gemakkelijk beoogd worden dat hogere temperaturen optreden. Interessant zijn dan zomers die gemiddeld het meest warm waren, zomers die de meeste warme dagen hadden, en zomers die de meeste lange aaneengesloten warme perioden hadden. Ook blijkt de zonne-instraling te variëren over de tijd en niet afhankelijk te zijn van de buitentemperatuur. Zodoende is het ook interessant om zomers met hoge zonne-instraling te onderzoeken. Als men deze zomers aanhoudt als referentie waarvoor temperaturen nooit overschreden mogen worden, dan kan men met grotere zekerheid stellen dat deze temperatuur ook daadwerkelijk nooit overschreden wordt.

Het bestaan van dergelijke zomers is onderzocht en in tabel 11 staat een overzicht van de klimaatjaren, welke opportuun zijn bevonden. [3] [4]

<u>Soort</u>	<u>Jaar(vanaf '60)</u>	<u>Orientatie</u>	<u>Opmerking</u>
Gemiddelde zomer	1964	NZ & OW	
Meest warme gemiddelde van de heetste zomer	2003	NZ & OW	
” op 1 na heetste zomer	2006	NZ & OW	
” op 2 na heetste zomer	1976	NZ & OW	
” op 3 na heetste zomer	1995	NZ & OW	
” op 4 na heetste zomer	1983	NZ & OW	
Meeste warme(>20gr.) dagen in zomer	2003	NZ & OW	
Meeste zomerse(>25gr.) dagen in de zomer	1976	NZ & OW	
Meeste tropische(>30gr.) dagen in de zomer	1976	NZ & OW	
Meeste lange warme(>20gr.) periode(n) in zomer	2003	NZ & OW	53 dagen*
Meeste lange zomerse(>25gr.) periode(n) in zomer	????	NZ & OW	Niet op te maken*
Meeste lange tropische(>30gr.) periode(n) in zomer	????	NZ & OW	Niet op te maken*
Meeste zomerse zonne-instraling	1976	NZ & OW	

\* Deze perioden zijn van belang in het geval de thermische massa zich tussentijds niet weet te ontdoen van de (overtollige) warmte. Feitelijk is het hierbij ook van belang hoezeer de temperatuur 's nachts afkoelt en of er meerdere perioden optreden tijdens een zomer. Daarbij is het ook nog nuttig om dit te onderzoeken in combinatie met de sterkte van de temperaturen. Voor dit onderzoek zijn niet genoeg gegevens voor handen om dergelijke zomers vast te stellen en mee te nemen in het model. Bovendien heeft men het vermoeden dat deze zomers grotendeels overeenkomen met andere soorten zomers. Bij het uitvoeren van meer diepgaande onderzoeken op dit gebied kan het wel interessant zijn om dit verder te onderzoeken.

**Tabel 11 Selectie van het buitenklimaat.**

#### Uiteindelijke keuze buitenklimaat

Voor een aantal te onderzoeken zomers blijken dezelfde jaartallen overeen te komen. Dit resulteert dus in 6 te onderzoeken zomers in dit model. Omdat in dit onderzoek enkel de gegevens tot het jaar 2000 beschikbaar zijn en het jaar '83 daarbij ontbreekt, zullen de jaren 1983, 2003 en 2006 niet worden onderzocht! Zo blijven er slechts 3 zomers over, te onderzoeken voor 2 oriëntaties en resulterend in 6 varianten, zoals ook te zien in tabel 12.

Jaar	Orientaties
1964	NZ & OW
1976	NZ & OW
1995	NZ & OW

**Tabel 12 Keuze van het buitenklimaat.**

## A4 Totale selectie van de parameters

In de eerste drie deel-paragrafen 1.3.1 tot en met 1.3.3 zijn nu per type van invloed bepaalde selecties gegeven. Deze selecties moeten nog gecombineerd worden. Echter met het oog op hetgeen er bereikt moet worden, zijn niet alle combinaties van belang. Bovendien vraagt het grote aantal om verdere afbakening.

### Zomer

Zo moet in de zomersituaties de temperatuuroverschrijding en het energiegebruik worden onderzocht. Daarbij zijn vooral de invloeden van de gebruikers en het buitenklimaat van belang. Deze invloeden kunnen wel worden losgekoppeld. Doel van dit onderzoek is om vast te stellen of deze 2 invloeden in de gebruiksfase aanwezig zijn en wat hun orde-grootte zouden zijn. De combinatie van deze 2 is hierbij niet van belang. (Deze combinatie kan waarschijnlijk logischerwijs ook globaal uit de afzonderlijke resultaten worden afgeleid.) De selectie per situatie staat hieronder apart weergegeven:

- Om de gebruikersinvloeden te onderzoeken zijn eigenlijk alleen de extreme gebruikersinvloeden van belang om te zien of er en hoe groot de invloeden zijn. Met behulp van de verkregen resultaten kan voor tussenliggende gegevens geïnterpoleerd worden om tussenliggende resultaten globaal te verkrijgen. Verder is het interessant om koeling- en ventilatie-installaties mee te nemen om de gebruikersinvloed te onderzoeken. Deze worden veelal geregeld door gebruikers of op basis van de aanwezigheid van de gebruikers. Als er enige invloed van de gebruikers en de verschillende installaties op de temperatuuroverschrijding en het energiegebruik zichtbaar zal zijn, moet dit vooral tot uiting komen bij het meest warme gebouw. Daarom wordt van de gebouwen variant 4 onderzocht. Als hierbij al of geen invloed wordt aangetoond, is het doel van dit onderzoek immers al bereikt.
- Om de invloed van het buitenklimaat te onderzoeken zullen alle eerder genoemde varianten uit paragraaf 2.1.3 van deze bijlage worden onderzocht. De gebruikersinvloeden en de installaties worden hierbij echter constant gehouden. Van de vaste bouwparameters worden de meest extreme onderzocht, dus variant 4.

### Winter

Voor de winter- en verwarmingssituatie is enkel de opwarmingssnelheid en het energiegebruik van belang. De verschillende invloeden van het buitenklimaat zijn enkel interessant voor de zomers en worden niet meegenomen in de wintersituatie.

Alleen de extreme gebruikersinvloeden zijn van belang om te zien of er en hoe groot de invloeden zijn. Met behulp van de verkregen resultaten kan voor tussenliggende gegevens geïnterpoleerd worden om tussenliggende resultaten globaal te verkrijgen.

Verder is het interessant om verwarminginstallaties mee te nemen om de gebruikersinvloed te onderzoeken. Deze worden immers veelal geregeld door gebruikers of op basis van de aanwezigheid van de gebruikers. Als er enige invloed van de gebruikers en de verschillende installaties op de opwarmingssnelheid en het energiegebruik zichtbaar zal zijn, moet dit vooral tot uiting komen bij het meest koude gebouw. Maar ook de invloed van de massa op de opwarmingssnelheid en het energiegebruik is interessant. Daarom wordt van de bouwparameters variant 1 t/m 3 onderzocht. Als hierbij geen of enige invloed wordt aangetoond, is het doel van dit onderzoek bereikt. In tabel 13 staan de combinaties van te simuleren parameters overzichtelijk weergegeven.

In tabel 14 en tabel 15 staan de gehele selectie nog eens overzichtelijk weergegeven met de belangrijkste waarden.

	Gebouw	Installatie	Ventilatie	Gebruikersinvloed	BuitenKlimaat	Totaal
<b>Zomer&amp;Gebruikers</b>	<b>4</b>	<b>Koeling</b>	<b>1t/m3</b>	<b>1A &amp; 4</b>	<b>'64, OW</b>	
Aantal	1	4	3	2	1	24
<b>Zomer&amp;Klimaat</b>	<b>4</b>	<b>Koeling 1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>3jr.+2or.</b>	
aantal	1	1	1	1	6	6
<b>Winter&amp;Gebruikers</b>	<b>1 t/m 3</b>	<b>Verwarming</b>	<b>1t/m3</b>	<b>1A &amp; 4</b>	<b>'64, OW</b>	
aantal	3	12	3	2	1	216

Tabel 13 Keuze van combinaties van parameters

SIMULATIE		nr					nr					nr					nr					nr				
		Gebouw	Binnenklimaat installaties	Milieu installaties	Gebruikersinvloeden	Buitenklimaat & Orieintatie	Gebouw	Binnenklimaat installaties	Milieu installaties	Gebruikersinvloeden	Buitenklimaat & Orieintatie	Gebouw	Binnenklimaat installaties	Milieu installaties	Gebruikersinvloeden	Buitenklimaat & Orieintatie	Gebouw	Binnenklimaat installaties	Milieu installaties	Gebruikersinvloeden	Buitenklimaat & Orieintatie	Gebouw	Binnenklimaat installaties	Milieu installaties	Gebruikersinvloeden	Buitenklimaat & Orieintatie
Winter	1	1	1	1	1	73	2	1	1	1	1	145	3	1	1	1	1	Zomer & Gebruikers	217	4	13	1	1	1		
	2	1	2	1	1	74	2	2	1	1	1	146	3	2	1	1	1		218	4	14	1	1	1		
	3	1	3	1	1	75	2	3	1	1	1	147	3	3	1	1	1		219	4	15	1	1	1		
	4	1	4	1	1	76	2	4	1	1	1	148	3	4	1	1	1		220	4	16	1	1	1		
	5	1	5	1	1	77	2	5	1	1	1	149	3	5	1	1	1		221	4	13	1	2	1		
	6	1	6	1	1	78	2	6	1	1	1	150	3	6	1	1	1		222	4	14	1	2	1		
	7	1	7	1	1	79	2	7	1	1	1	151	3	7	1	1	1		223	4	15	1	2	1		
	8	1	8	1	1	80	2	8	1	1	1	152	3	8	1	1	1		224	4	16	1	2	1		
	9	1	9	1	1	81	2	9	1	1	1	153	3	9	1	1	1		225	4	13	2	1	1		
	10	1	10	1	1	82	2	10	1	1	1	154	3	10	1	1	1		226	4	14	2	1	1		
	11	1	11	1	1	83	2	11	1	1	1	155	3	11	1	1	1		227	4	15	2	1	1		
	12	1	12	1	1	84	2	12	1	1	1	156	3	12	1	1	1		228	4	16	2	1	1		
	13	1	1	1	2	85	2	1	1	2	1	157	3	1	1	2	1		229	4	13	2	2	1		
	14	1	2	1	2	86	2	2	1	2	1	158	3	2	1	2	1		230	4	14	2	2	1		
	15	1	3	1	2	87	2	3	1	2	1	159	3	3	1	2	1		231	4	15	2	2	1		
	16	1	4	1	2	88	2	4	1	2	1	160	3	4	1	2	1		232	4	16	2	2	1		
	17	1	5	1	2	89	2	5	1	2	1	161	3	5	1	2	1		233	4	13	3	1	1		
	18	1	6	1	2	90	2	6	1	2	1	162	3	6	1	2	1		234	4	14	3	1	1		
	19	1	7	1	2	91	2	7	1	2	1	163	3	7	1	2	1		235	4	15	3	1	1		
	20	1	8	1	2	92	2	8	1	2	1	164	3	8	1	2	1		236	4	16	3	1	1		
	21	1	9	1	2	93	2	9	1	2	1	165	3	9	1	2	1		237	4	13	3	2	1		
	22	1	10	1	2	94	2	10	1	2	1	166	3	10	1	2	1		238	4	14	3	2	1		
	23	1	11	1	2	95	2	11	1	2	1	167	3	11	1	2	1		239	4	15	3	2	1		
	24	1	12	1	2	96	2	12	1	2	1	168	3	12	1	2	1		240	4	16	3	2	1		
	25	1	1	2	1	97	2	1	2	1	1	169	3	1	2	1	1	Zomer & Buitenklimaat	241	4	13	1	2	1		
	26	1	2	2	1	98	2	2	2	1	1	170	3	2	2	1	1		242	4	13	1	2	2		
	27	1	3	2	1	99	2	3	2	1	1	171	3	3	2	1	1		243	4	13	1	2	3		
	28	1	4	2	1	100	2	4	2	1	1	172	3	4	2	1	1		244	4	13	1	2	4		
	29	1	5	2	1	101	2	5	2	1	1	173	3	5	2	1	1		245	4	13	1	2	5		
	30	1	6	2	1	102	2	6	2	1	1	174	3	6	2	1	1		246	4	13	1	2	6		
	31	1	7	2	1	103	2	7	2	1	1	175	3	7	2	1	1									
	32	1	8	2	1	104	2	8	2	1	1	176	3	8	2	1	1									
	33	1	9	2	1	105	2	9	2	1	1	177	3	9	2	1	1									
	34	1	10	2	1	106	2	10	2	1	1	178	3	10	2	1	1									
	35	1	11	2	1	107	2	11	2	1	1	179	3	11	2	1	1									
	36	1	12	2	1	108	2	12	2	1	1	180	3	12	2	1	1									
	37	1	1	2	2	109	2	1	2	2	1	181	3	1	2	2	1									
	38	1	2	2	2	110	2	2	2	2	1	182	3	2	2	2	1									
	39	1	3	2	2	111	2	3	2	2	1	183	3	3	2	2	1									
	40	1	4	2	2	112	2	4	2	2	1	184	3	4	2	2	1									
	41	1	5	2	2	113	2	5	2	2	1	185	3	5	2	2	1									
	42	1	6	2	2	114	2	6	2	2	1	186	3	6	2	2	1									
	43	1	7	2	2	115	2	7	2	2	1	187	3	7	2	2	1									
	44	1	8	2	2	116	2	8	2	2	1	188	3	8	2	2	1									
	45	1	9	2	2	117	2	9	2	2	1	189	3	9	2	2	1									
	46	1	10	2	2	118	2	10	2	2	1	190	3	10	2	2	1									
	47	1	11	2	2	119	2	11	2	2	1	191	3	11	2	2	1									
	48	1	12	2	2	120	2	12	2	2	1	192	3	12	2	2	1									
	49	1	1	3	1	121	2	1	3	1	1	193	3	1	3	1	1									
	50	1	2	3	1	122	2	2	3	1	1	194	3	2	3	1	1									
	51	1	3	3	1	123	2	3	3	1	1	195	3	3	3	1	1									
	52	1	4	3	1	124	2	4	3	1	1	196	3	4	3	1	1									
	53	1	5	3	1	125	2	5	3	1	1	197	3	5	3	1	1									
	54	1	6	3	1	126	2	6	3	1	1	198	3	6	3	1	1									
	55	1	7	3	1	127	2	7	3	1	1	199	3	7	3	1	1									
	56	1	8	3	1	128	2	8	3	1	1	200	3	8	3	1	1									
	57	1	9	3	1	129	2	9	3	1	1	201	3	9	3	1	1									
	58	1	10	3	1	130	2	10	3	1	1	202	3	10	3	1	1									
	59	1	11	3	1	131	2	11	3	1	1	203	3	11	3	1	1									
	60	1	12	3	1	132	2	12	3	1	1	204	3	12	3	1	1									
	61	1	1	3	2	133	2	1	3	2	1	205	3	1	3	2	1									
	62	1	2	3	2	134	2	2	3	2	1	206	3	2	3	2	1									
	63	1	3	3	2	135	2	3	3	2	1	207	3	3	3	2	1									
	64	1	4	3	2	136	2	4	3	2	1	208	3	4	3	2	1									
	65	1	5	3	2	137	2	5	3	2	1	209	3	5	3	2	1									
	66	1	6	3	2	138	2	6	3	2	1	210	3	6	3	2	1									
	67	1	7	3	2	139	2	7	3	2	1	211	3	7	3	2	1									
	68	1	8	3	2	140	2	8	3	2	1	212	3	8	3	2	1									
	69	1	9	3	2	141	2	9	3	2	1	213	3	9	3	2	1									
	70	1	10	3	2	142	2	10	3	2	1	214	3	10	3	2	1									
	71	1	11	3	2	143	2	11	3	2	1	215	3	11	3	2	1									
	72	1	12	3	2	144	2	12	3	2	1	216	3	12	3	2	1									

Tabel 14 Overzicht van aantal simulaties. De nummers onder de installaties, gebouw, gebruikersinvloeden en buitenklimaat, komen overeen met de nummers van de varianten uit Tabel 15.

<b>Vaste Gebouwparameters</b>						
<b>Variant</b>	<b>Isolatie</b>	<b>Th. Massa</b>	<b>Glas</b>	<b>Zonwering</b>		
1	Goed	Zwaar	50%	Geen		
2	Goed	Mid.zwaar	50%	Geen		
3	Goed	Licht	50%	Geen		
4	Goed	Licht	100%	Geen		
<b>Binnenklimaat Verwarminginstallaties</b>						
<b>Variant</b>	<b>Opwekking</b>	<b>Afgifte</b>				
		Radiator	Vloer	Wand	Lucht	
1	CV	X				
2	CV	X	X			
3	CV + elektr.	X		X		
4	CV+ airco/heater	X			X	
5	CV		X			
6	WP		X			
7	CV+elektr.		X	X		
8	WP+elektr.		X	X		
9	CV+ airco/heater		X		X	
10	WP+ airco/heater		X		X	
11	Elektr.			X		
12	Heater				X	
<i>Opmerking: Bij meerdere opwekkinginstallaties heeft de additionele andere setpoints</i>						
<b>Binnenklimaat Koelinginstallaties</b>						
<b>Variant</b>	<b>Opwekking</b>	<b>Afgifte</b>				
		Radiator	Vloer	Wand	Lucht	
13	geen					
14	WP		X			
15	Airco +setp. Gem				X	
16	Airco +setp. Hoog				X	
<i>Opmerking: Bij meerdere opwekkinginstallaties heeft de additionele andere setpoints</i>						
<b>Binnenmilieu &amp; Ventilatie-installaties</b>						
<b>Variant</b>	<b>Ventilatievoud (vv)</b>			<b>Vraagsturing</b>		<b>Warmteterugwinning</b>
	basis	zomer (4xbasis)	zomer setpoint	%vv aanwezig afwezig		%E(ventilatie) bypass
1	1.2	5	24			
2	1.2	5	24	100%	10%	
3	1.2	5	24			70% JA
<b>Gebruikersinvloed</b>						
<b>Variant</b>	<b>Aanwezigheid</b>		<b>Bezetting</b>		<b>Apparatuurgebruik</b>	
	week	weekend				
1	6.30-8.30	7.30-23.30	0.75*1		0.25	
	17.30-22.30					
2	6.30-22.30	7.30-23.30	0.75*6		0.5	
<b>Buitenklimaat</b>						
<b>Variant</b>			<b>Jaar</b>	<b>Orientatie</b>		
1			1964	OW		
2			1976	OW		
3			1995	OW		
4			1964	NZ		
5			1976	NZ		
6			1995	NZ		

Tabel 15 met belangrijke te simuleren varianten van de gebouwcarakteristiek

# Bijlage B Aanvullende beschrijving van computermodel.

## **B1 Uitleg over de bediening van het model**

### ***Runnen van een simulatie***

Het programma is dusdanig vormgegeven, dat alle variërende parameters in de m-file zijn ingevoerd. Vervolgens gaat men naar Simulink, waar een simulatie met de betreffende parameters is gerund. Simulink gebruikt dan de m-file met de parameters. Als een simulatie is afgerond zijn de verkregen resultaten in Simulink weggeschreven naar speciale datafiles, door het runnen van weer een andere m-file die dit regelt.

### ***Resultaten***

Door het runnen van weer een andere m-file kan de verkregen data van iedere afzonderlijke simulatie, zoals temperaturen van de belangrijkste knopen, snel en overzichtelijk over het jaar worden geploteerd en worden vergeleken. Ook de energiestromen en het energieverbruik van de installaties kan op iedere moment met de speciale m-file worden opgeroepen.

Ook zijn er datafiles, waar bepaalde cumulatieve waarden (getallen) naartoe zijn geschreven aan het eind van iedere simulatie, zoals het energieverbruik, het aantal uren overschrijding en onderschrijding van de setpoint, enzovoorts. Aan het eind van alle simulaties, bevat deze file dus nu de gegevens van alle simulaties, die zodoende gemakkelijk zijn vergeleken. Dit vergelijken van de simulaties is gedaan in Excel, waarin staafdiagrammen zijn gemaakt van bepaalde selecties van simulaties.

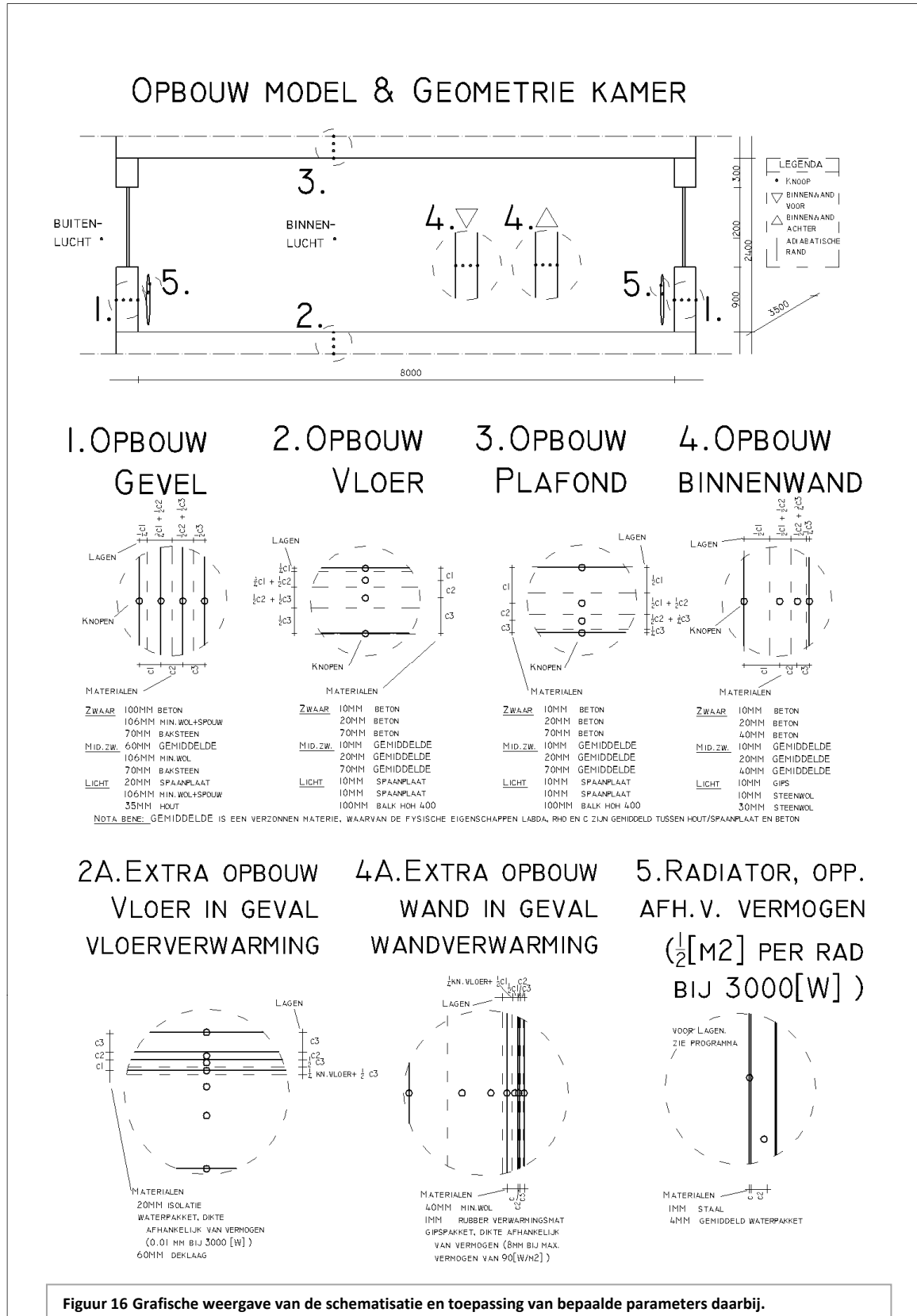
### ***Batch***

Als een simulatie klaar is, wordt het geheugen gewist, kunnen de variërende parameters worden aangepast, en kan er weer een nieuwe simulatie worden gerund. De resultaten hiervan kunnen ook weer worden weggeschreven naar datafiles, zodat deze ieder moment weer snel kunnen worden opgeroepen. Het steeds opnieuw runnen van de verschillende m-files om een simulatie uit te voeren (en het aanpassen van de variërende parameters daarbij), is aanzienlijk wat werk en bovendien bijzonder foutgevoelig. Daarom is ervoor gekozen om een batch op te stellen, die de verschillende stappen voor de 246 simulaties uitvoert.



## B2 Aanvulling op de opbouw van het model, de principes en parameters.

In deze paragraaf staat een nadere uitleg over de opbouw van het model, aanvulling op hoofdstuk 2 en bijlage A.



## Geometrie

De woonkamer heeft een rechthoekige vorm van 8x2.4x3.5 meter. Het betreft de woonkamer op de begane grond in een rijtjeshuis, dan wel de woonkamer van een appartement in flatgebouw.

*Opmerking 1: De maten van de woonkamer zijn in het model goed te variëren, maar men moet dan niet vergeten om te controleren of de viewfactoren nog kloppen voor de warmteoverdracht middels radiatie. Opmerking 2: De ramen in de buitengevels zijn variabel en zelf in te voeren. (Zie ramen hieronder) Binnenin de kamer zijn normaal nog deuren opgenomen, maar deze worden in dit model niet als dusdanig meegenomen. Deze deuren zijn in het binnenklimaat voornamelijk van belang voor convectie naar naastliggende vertrekken, maar de relatie hiermede wordt adiabatisch verondersteld. Wat betreft de deuren komt dit goed overeen met de winterse praktijk. In de winter zal men de deuren sluiten als er veel warmte wegvloeit uit de kamer. In de zomer echter zal men deuren openzetten om beter te ventileren. Dit wordt enigszins verdisconteerd in het zomer-ventilatievoud.*

## Constructie & Materiaal

In het model is het mogelijk om voor alle 6 wanden, plafonds en vloeren 3 verschillende lagen op te geven. Voor deze lagen kan men de dikte, de dichtheid, de warmtecapaciteit en de warmteovergangscoefficiënt afzonderlijk opgeven. Zodoende is het mogelijk om een 3-laagse variant van thermische massa binnen, isolatie en thermische massa buiten te modeleren.

De materialen die in dit onderzoek zijn verkozen, staan afgebeeld en vermeld in figuur 16. Ook de van belang zijnde materialen van de afgifte-elementen zijn hierin weergegeven.

## Ramen & Zonwering

In de gevels is het raamoppervlak op te geven met een bijbehorende U-waarde en ZTA-waarde. Zoals in Figuur opvalt heeft de raamconstructie geen knoop toegewezen gekregen. Het verschil tussen de warmteweerstand (U-waarde) van de gevel en het raam, wordt verdisconteerd in de relatie van de binnenlucht met de buitenlucht. Een nadeel van deze benadering is dat de extra warmte in het glas als gevolg van zonne-inval niet direct wordt meegenomen. Ook is er een ZTA-factor in te stellen voor het gebruik van zonwering met daarbij toegevoegd een setpoint zonne-inval-setpoint waarvoor de zonwering al of niet wordt ingeschakeld. Hierbij wordt aangenomen dat zonwering automatisch door middel van sensoren elektrisch wordt aangestuurd. Dat het zonnescherm niet geopend kan worden bij harde wind, wordt in dit model verwaarloosd. In het model zijn de volgende waarden aangenomen voor de genoemde parameters.

U(glas)	=	1,2	[W/(m <sup>2</sup> .K)]
ZTA(glas)	=	0,58	%
ZTA (zonwering)	=	0,08	%
Opp(glas in buitengevel)	=	3,5 x 1,2	[m <sup>2</sup> ]
T(zonne-inval-setpoint)	=	23	[°C]

In dit model zullen de ramen alleen in de korte (buiten-)gevels worden geplaatst, omdat dit model een ingesloten woning beschrijft met slechts 2 buitengevels. In het programma kan variabel worden ingesteld of de ramen te openen zijn middels het op te geven (zomer-)ventilatievoud. (Zie ventilatievoud)

## Oriëntatie

In het programma zijn 2 oriëntaties in te stellen, namelijk Oost-West en Noord-Zuid. Hierdoor zijn de extreme oriëntaties gerepresenteerd. Andere oriëntaties zijn interpoleerbaar uit deze extreme oriëntaties.

## Ventilatie

Ook de ventilatie heeft een invloed op het binnenklimaat en niet enkel op de luchtkwaliteit. Bovendien is de invloed met de tegenwoordige innovatieve ventilatie-installaties behoorlijk divers. Daarom is de ventilatie ook meegenomen in dit model, om te zien hoe de ventilatie het binnenklimaat beïnvloedt. De ventilatie in het gebouw kan zijn geregeld door roosters, installaties, infiltratie, e.d.. Dat maakt voor het model verder niet uit, want daarin is gewoon het (basis)ventilatievoud opgegeven. Daarbij wordt aangenomen dat de ramen over het algemeen gesloten zullen blijven (Een enkele over- of onderschrijding als gevolg van een geopend raam op een onverwacht moment is hierbij in de praktijk niet kwalijk en word immers getolereerd wanneer men een raam openzet.)

Daarnaast kan men een zomerventilatievoud opgeven, wanneer de kamertemperatuur een zekere waarde overschrijdt. Deze ventilatie kan men bijvoorbeeld opgeven, als men te openen ramen heeft, of als men de ventilatoren harder wilt laten werken, bij hogere temperaturen. De temperatuur-setpoint voor deze zomerventilatie is ook in te stellen. In de praktijk werken deze te openen ramen alleen niet automatisch met sensoren, die dit precies registreren. Wanneer men 's ochtends bij vertrek een draaikiep-raampje openzet, omdat men verwacht dat het anders wel eens warm kan worden in huis, dan kan het daardoor ook juist warmer worden wanneer de buitentemperatuur op een gegeven moment erg hoog zal worden.

Sterker nog: omdat men bang is dat dit gebeurt (of omdat men bang is voor inbraak), laat men bij afwezigheid op warme zomerdagen de ramen geheel dicht, waardoor er ook geen zomerventilatie mogelijk is.

Omdat in het model van innovatieve installaties wordt uitgegaan, wordt er voor het gemak ook vanuit gegaan dat automatische spuventilatie ook mogelijk is. Bovendien gaat men er in deze bijzondere situaties vanuit dat men bij thuiskomst accepteert dat het warmer is geworden en dat men de mogelijkheid heeft om het door te laten tochten. Verder is het bij het ventileren nog mogelijk om warmterugwinning en de mate van warmterugwinning in te stellen al of niet met bypass. Ook is het mogelijk om vraaggestuurde ventilatie in te stellen.

In het model zijn de volgende waarden aangenomen voor de genoemde parameters.

Ventilatievoud(basis)	=	1,2
Ventilatievoud(zomer)	=	5
factor vraagsturing	=	0,1 (dus 10% van het ventilatievoud zonder vraagsturing)
factor warmterugwinning	=	0,7 (dus 70% van het ventilatieverlies wordt teruggewonnen)
T(zomerventilatie-setpoint)	=	24 [°C]

## Interne Warmte Productie

De interne warmteproductie is volledig afhankelijk gemaakt van de hoeveelheid apparatuur en lampen en hun warmteafgifte, het menselijk metabolisme, de kledingweerstand en het gebruik. Het gebruik is op zijn beurt weer afhankelijk gemaakt van het sluimergebruik, het gebruikerspatroon (over de tijd), de bezettingsgraad. Daarnaast is de warmteafgifte van de bewoners gemodelleerd als zijnde latent, dus minder effectief voor de luchttemperatuur als gevolg bij hogere temperaturen. De van belang zijnde waarden van de parameters zijn al benoemd en gekwantificeerd bij het selecteren van de varianten in bijlage A.

## Verwarmings- en koelingsinstallaties

De verwarmings- en/of koelingsinstallaties mogen natuurlijk niet ontbreken in het programma, aangezien het model uitkomst moet bieden in het vraagstuk omtrent de uitwerking van verschillende innovatieve installaties op het binnenklimaat.

In het programma kan separaat of gelijktijdig worden geselecteerd voor verwarming (of koeling) met radiatoren, in de vloeren of in de wand of middels convectie aan de lucht.

### *Vermogen*

Het vermogen van de verwarmingsinstallaties is altijd gebaseerd op de warmteverliezen als gevolg van transmissie- en ventilatieverliezen. De transmissieverliezen zijn in het model bij alle type gebouwen hetzelfde, omdat de isolatie niet gevarieerd wordt. Ook de ventilatieverliezen zijn constant aangenomen bij het bepalen van het benodigde vermogen, omdat het vermogen nu eenmaal constant moet worden gehouden wanneer men verschillende ventilatiesystemen wil gaan vergelijken.

In het model is daarom onderstaande waarde aangenomen voor het totale vermogen van installaties. Verder is ervoor gekozen om een derde van het totale vermogen aan te houden als vermogen van de secundaire installatie, en dus automatisch 2/3 voor de primaire installaties. Het vermogen van de koelinstallaties is een vijfde van het vermogen van de verwarmingsinstallaties. Dit in verband met de beperkte capaciteit bij vloerkoeling in verband met het dauwpunt. Om de koelinstallaties goed te kunnen vergelijken hebben alle koelinstallaties hetzelfde vermogen.

Totaal vermogen(verwarming)	=	1800 à 1900	[Watt]
Totaal vermogen(koeling)	=	± 350	[Watt]

### *Afgifte*

Het is verder mogelijk om de grootten van de radiatoren te variëren, zoals bijvoorbeeld wanneer een ander vermogen wordt toegepast. Men moet hierbij alleen niet vergeten de viewfactoren te controleren voor warmteuitwisseling middels radiatie. (Men zou hier nog een extra functie voor kunnen schrijven, maar omdat in het programma met eenzelfde ordegrrootte van de radiatoren werkt, is hier niet voor gekozen.) Bij vloer- en wandverwarming is deze bij alle vermogen altijd uitgesmeerd over het gehele oppervlak. Bij vloerverwarming varieert daarentegen de dikte van het watervoerende pakket wanneer er minder vermogen moet worden afgegeven. Bij wandverwarming de dikte van de massa van de gipsplaat.

De in dit model gehanteerde waarden van de parameters zijn afgebeeld in Figuur .

### *Opwekking & regeling*

Vervolgens kunnen er verschillende temperatuursetpoints, stooklijnen, modulerende regelingen, schakeldifferenties, systeemvertragingen, en eventuele deelvermogens worden opgeven voor zowel de verschillende installaties als hun bijbehorende thermostaten.

Deze parameters moeten goed worden meegenomen omdat ze bijzonder belangrijk zijn voor de opwarmnelheden, wisselende temperaturen en zelfs de energie. Toch zijn regelingen in dit programma niet of weinig gevarieerd en zullen de standaarden zoals deze tegenwoordig in de praktijk voor deze installaties worden toegepast, ook in het model worden toegepast.

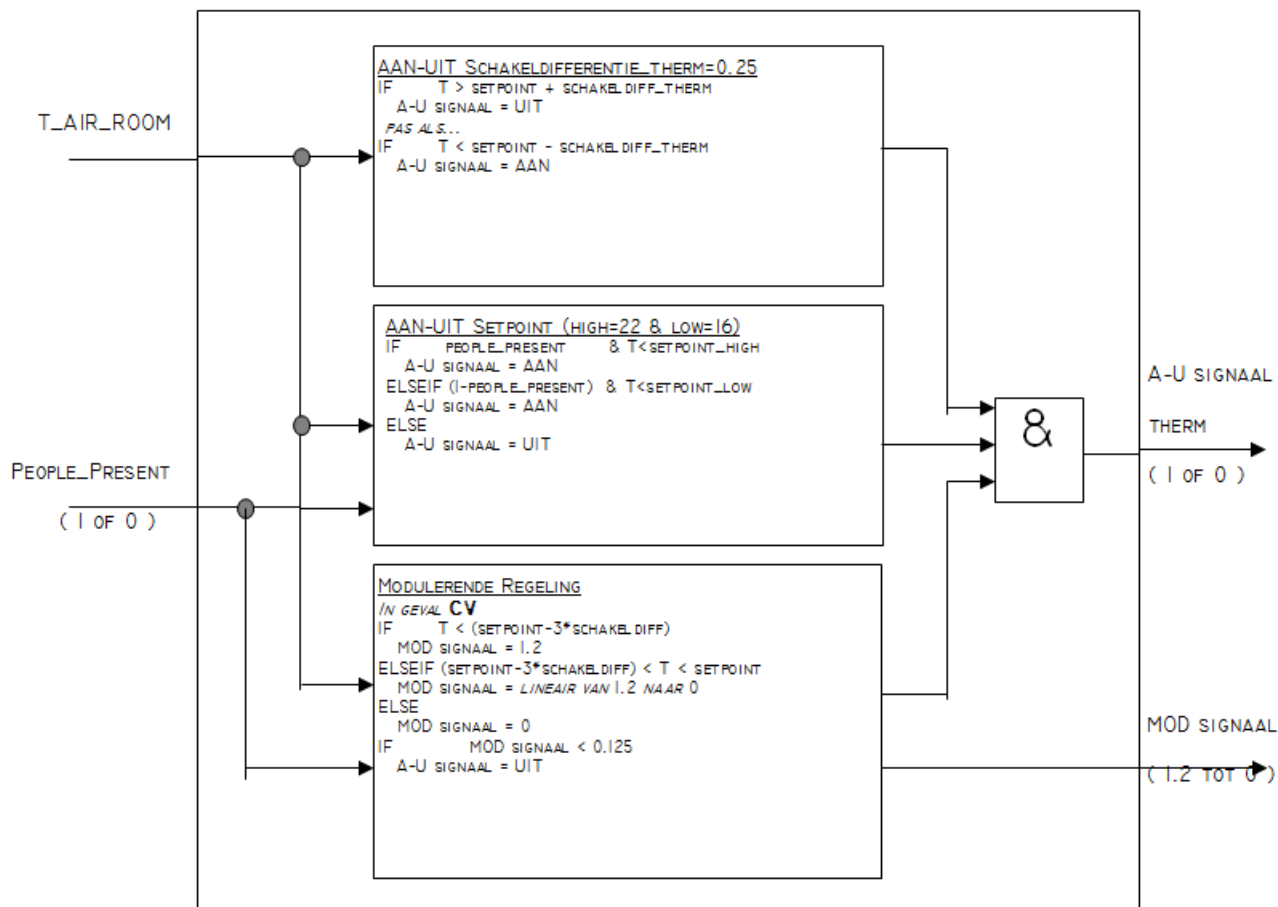
De systeemvertragingen representeren overigens de vertragingen in de tijd die installaties nodig hebben om de gewenste energie op te wekken en af te geven. Dit is gemodelleerd door de warmteoverdracht, de temperatuur en de stroomsnelheid van het water mee te nemen. En dit twee maal, in de ketel en in de radiatoren. Daarnaast zijn er ook nog transportverliezen als gevolg van het distributienetwerk. Qua energie worden deze verliezen niet meegerekend, omdat deze energie veelal toch ergens in de woning wordt afgegeven. Qua tijdsvertraging is er een aanname gedaan.

Hieronder staat een opsomming van de aannames van de belangrijkste parameters weergegeven. De waarden zijn verkregen of afgeleid uit technische producthandleidingen van thermostaten, ketels en warmtepompen. [5] [6] [7] [8] [9] Ook is e.e.a. uit telefonisch overleg verkregen.[10]

Percentage min. vermogen van de brander	=	25	% (van totale vermogen)
Schakeldifferentie in geval radiatoren	=	4	[°C]
Schakeldifferentie in geval vloerverwarming	=	2	[°C]
Schakeldifferentie van de thermostaat	=	0,25	[°C]
Tijd voor ontsteking en voorspoelen	=	8	[s]
Tijd dat ketel op deelvermogen werkt na ontsteking	=	180	[s]
Tijd, eer het water van de ketel in de radiator is	=	120	[s]
Tijd, eer het water van de radiator in de ketel is	=	120	[s]
Tijd, eer het water van de ketel in de vloer is	=	300	[s]
Tijd, eer het water van de vloer in de ketel is	=	300	[s]
Tijd, eer het water van de WP in de vloer is	=	400	[s]
Tijd, eer het water van de vloer in de WP is	=	400	[s]
Tijd waarvoor de WP minimaal uit is na uitschakeling	=	20	minuten
T (aanvoer van water in radiator)	=	75	[°C]
T (afvoer van water in radiator)	=	65	[°C]
T (aanvoer van vloerwater bij CV)	=	50	[°C]
T (afvoer van vloerwater bij CV)	=	45	[°C]
T (aanvoer van vloerwater bij WP-verwarming)	=	35	[°C]
T (afvoer van water in vloer bij WP-verwarming)	=	30	[°C]
T (aanvoer van vloerwater bij WP-koeling)	=	17	[°C]
T (afvoer van water in vloer bij WP-koeling)	=	22	[°C]
Volume water in ketel in geval van radiatoren	=	0.15	liter (aandeel woonkamer)
Volume water in ketel in geval van vloerverwarming	=	0.15	liter (aandeel woonkamer)
Volume water in WP in geval van vloerverwarming	=	0.15	liter (aandeel woonkamer)
Volume water in WP in geval van vloerkoeling	=	0.03	liter (aandeel woonkamer)

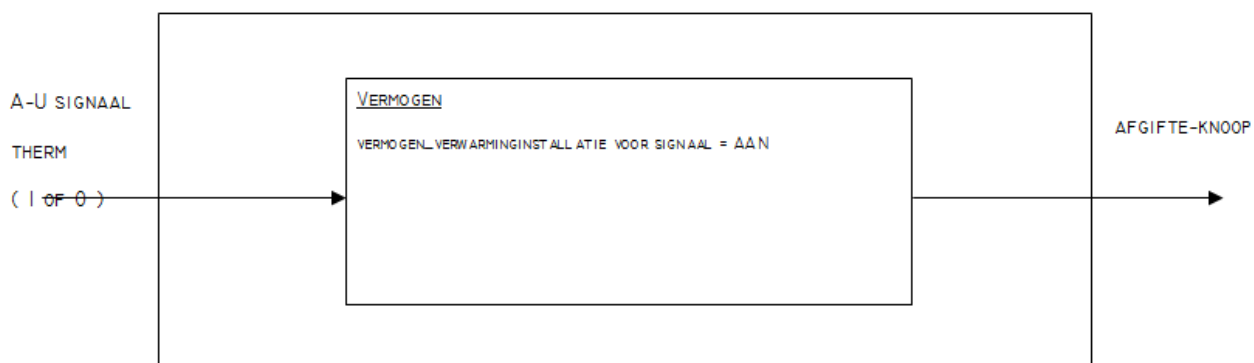
In de blokschema's op de volgende bladzijden is kort overzichtelijk geschematiseerd welke regelingen en algoritmen zijn meegenomen voor iedere installatie.

### THERMOSTAAT

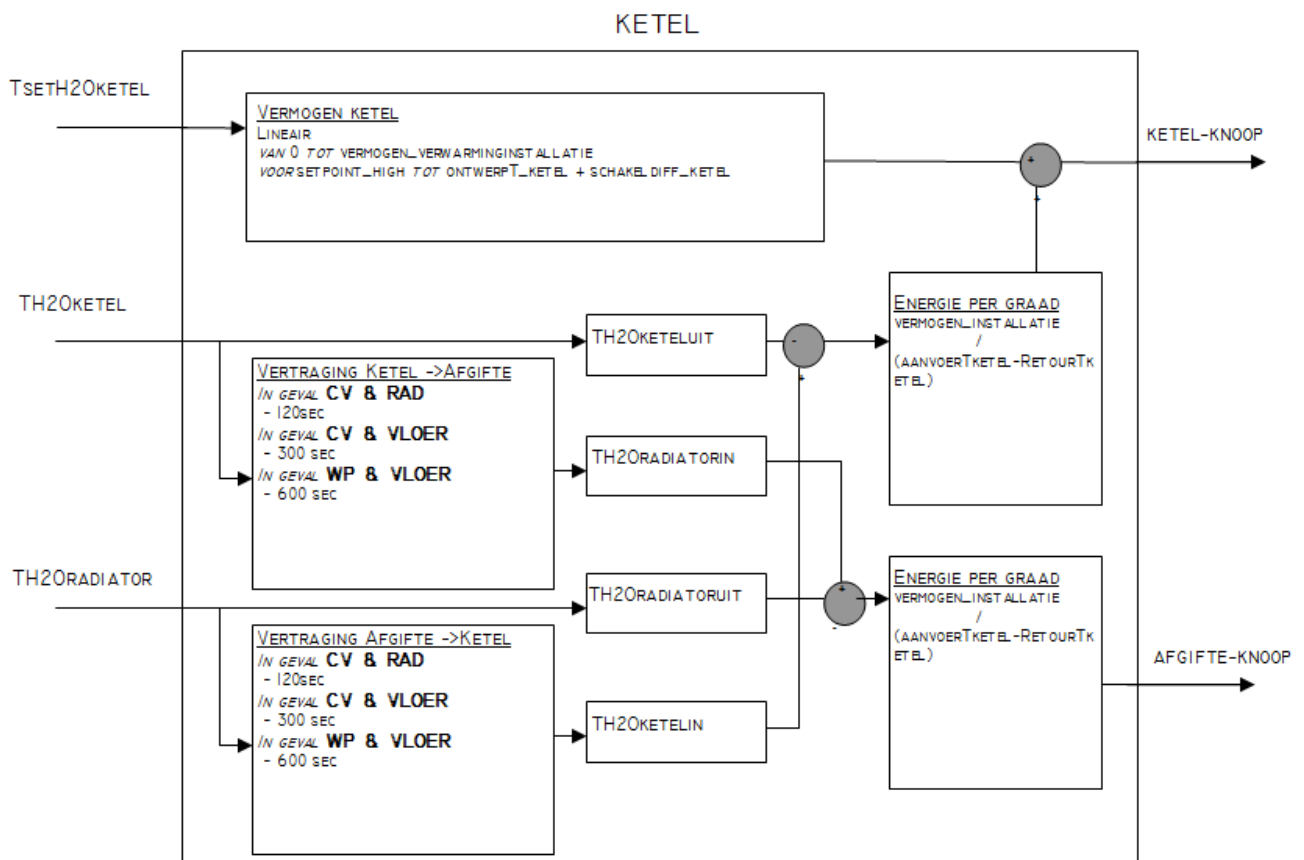
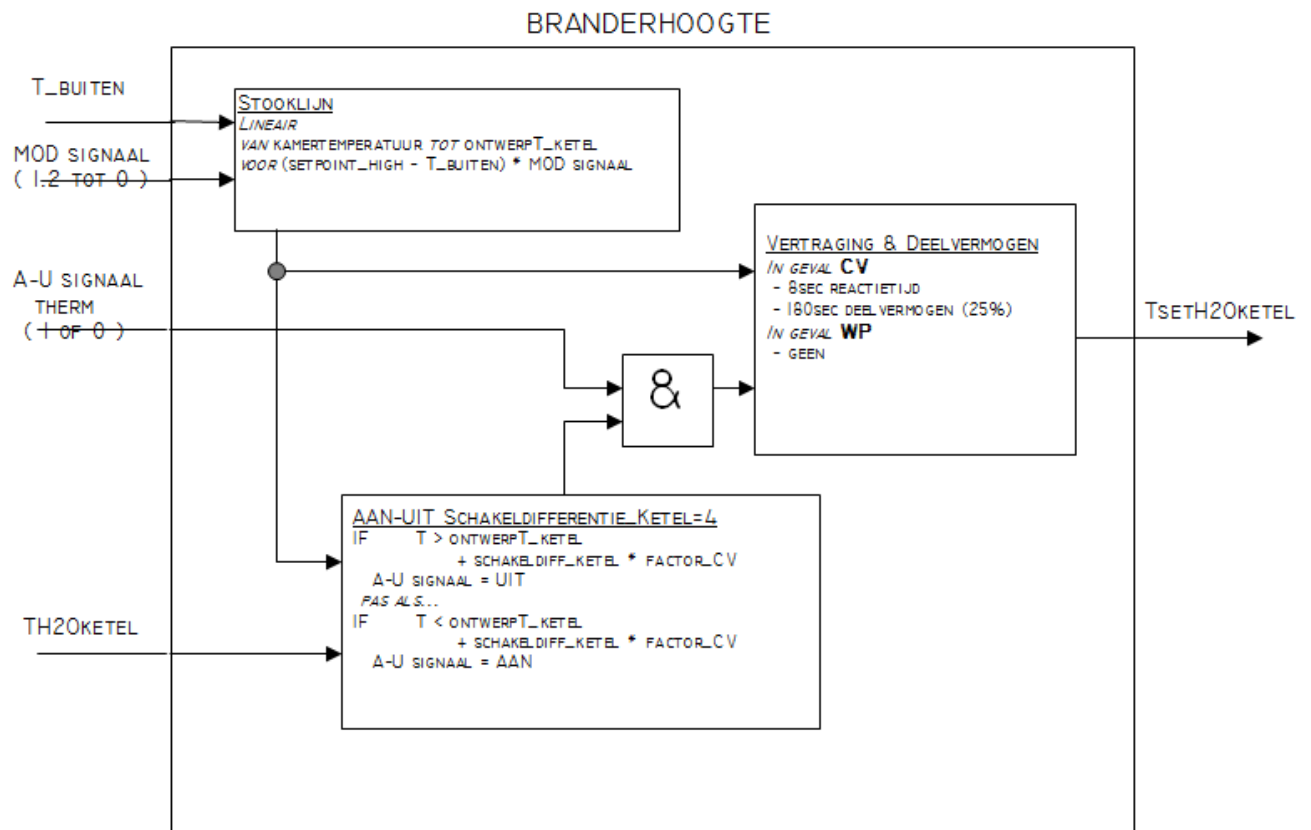


### VERMOGEN

### LUCHTVERWARMING



Figuur 17 Blokschema's van thermostaat en de luchtverwarming



Figuur 18 Blokschema's van centrale opwekking bij radiator- en vloerverwarming

### **B3 Aanvulling op de beperkingen van het model.**

Hoewel in de voorgaande paragrafen het model zeer nauwkeurig en verantwoord is uitgewerkt, blijft het model nog steeds slechts een grove benadering van de realiteit. Er zijn nog steeds gigantisch veel rand- en nevenvoorwaarden te verwerken, welke hun invloed hebben op het al of niet toevoegen of onttrekken van warmte aan de ruimte. Verwarming-, koeling- en ventilatie-installaties hebben hier hun invloed op, maar ook zonwering, interne warmtelasten en de gebruikspatronen.

#### *Precisie en ordegraote*

Hoewel een verwarmingsinstallatie nog vrij precies kan worden gemodelleerd, is dit anders voor de gebruikers en hun invloeden. Iedere gebruiker heeft weer een ander metabolisme. Alhoewel de invloeden hiervan dus niet precies kunnen worden vastgesteld, is het over het algemeen wel mogelijk om een invloed en zijn ordegraote te constateren.

#### *Principiële fouten*

Daarnaast is bij de behandeling van het raamoppervlak al vastgesteld dat de (kou-)straling van de ramen niet goed is meegenomen. Dit omdat het raam geen vaste knoop toegewezen heeft gekregen vanwege de complexiteit.

Omdat in de model voornamelijk van sterk geïsoleerd glas wordt gesproken zal dit niet heel sterk van invloed zijn op de transmissieverliezen en dus op de wintersituatie. Echter in de zomer warmt het glas ook grotendeels op als gevolg van zonne-straling, die in het raam doordringt en het binnenspouwblad van het raam verwarmd. Hierdoor treden in de praktijk aanzienlijke temperaturen op, die wel degelijk bijdragen aan de opwarming.

Welnu, omdat in het model consequent met deze fout wordt omgegaan, kunnen nog wel de invloeden tussen verschillende installaties en andere onderzochte parameters voor de zomer worden vastgesteld. Daarbij kan worden gesteld dat als er invloed is, deze in de praktijk alleen nog maar sterker aanwezig zal zijn.

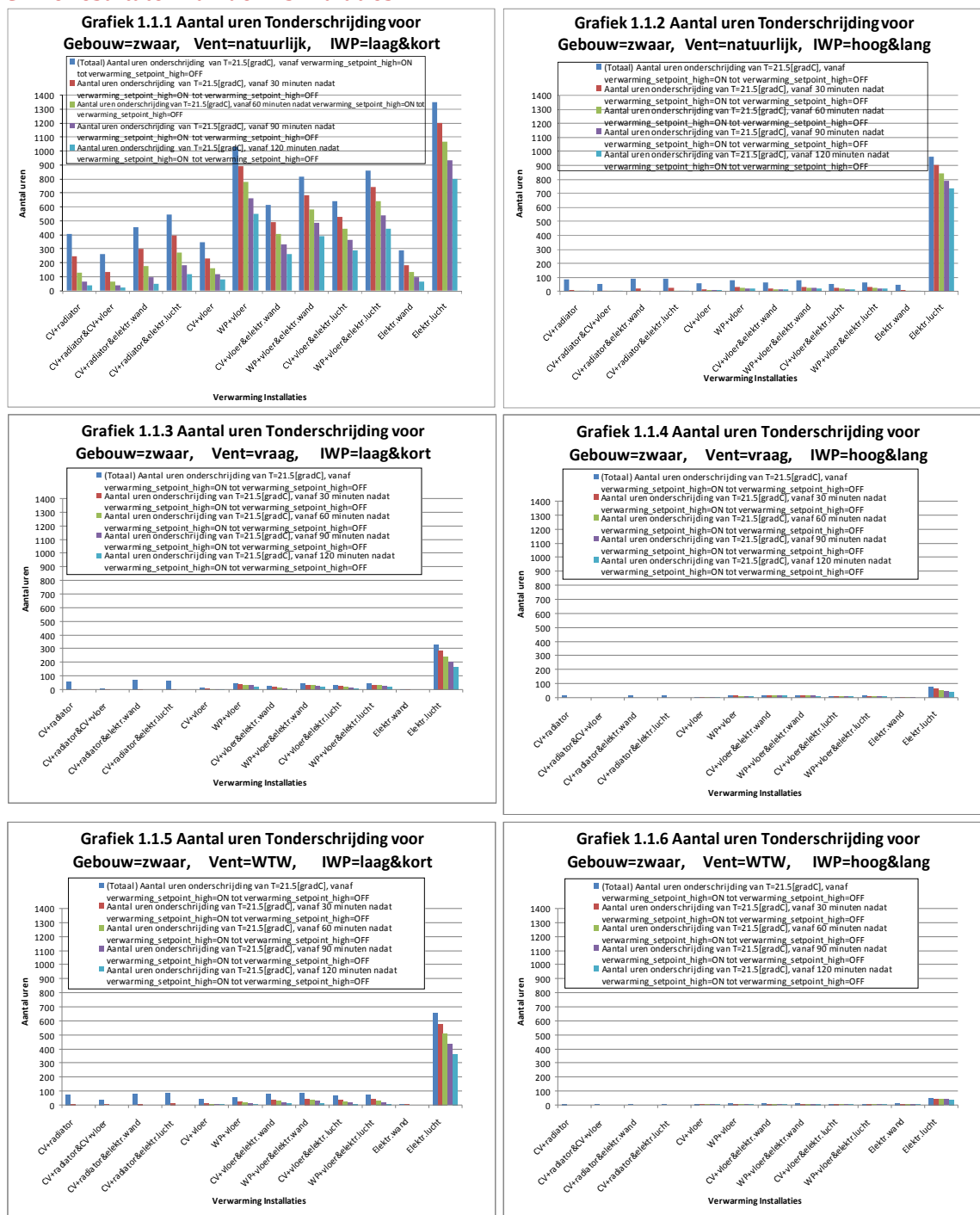
Een andere principiële fout, is dat de lucht als een geheel wordt gezien en niet in verschillende knopen is opgedeeld. Dit zou ook te ingewikkeld worden en vraagt een CFD-programma. Nadeel is wel dat de lucht nu uniform wordt verdeeld en verwarmd. Plaatselijke (gedeeltelijke) verwarming of koeling van/in een ruimte is dus niet mogelijk en is in dit model niet meegenomen.

Verder staan de adiabatiese randen van het model geen uitwisseling toe met de omgeving daarbuiten. Dit is in de praktijk goed mogelijk, wanneer aanliggende ruimten ongeveer een gelijke temperatuur zullen hebben. In dit model zijn de binnenmuren, het plafond en de vloer adiabatisch verondersteld. Dat wil zeggen dat er geen warmte-uitwisseling is tussen deze ruimten. In de praktijk zal dit toch niet geheel overeenkomen, omdat de verwarming in bovenliggende slaapkamers en aangrenzende hallen en/of andere vertrekken wel degelijk op lagere temperaturen zijn ingesteld dan in de woonkamer. Ook zal er warmte-uitwisseling zijn met de kruipruimte onder de vloer, omdat de temperatuur hier toch lager is. Alhoewel de warmte in de kruipruimte enigszins gebufferd wordt, zal zij toch weg ebben. Deze warmte-uitwisseling kan al naar gelang de invloed van de temperatuur buiten (en dus in de aangrenzende ruimte), nog best een aardige invloed hebben op de kamertemperatuur. Het doel van dit model stelt het echter niet noodzakelijk om deze warmte-uitwisseling te verwerken in het model. Er dient alleen aangetoond te worden of er, en wat de invloeden zijn van de gebruikers en het buitenklimaat op het binnenklimaat. Bij de invloed van deze laatste op het binnenklimaat, kunnen de adiabatiese randen ook worden verwaarloosd, omdat de invloed van de verschillende buitenklimaten wordt vastgesteld ten opzichte van een referentiejaar welke ook in hetzelfde model wordt gestopt. Zodoende wordt de invloed wel duidelijk en zal enkel de ordegraote enigszins afwijken.

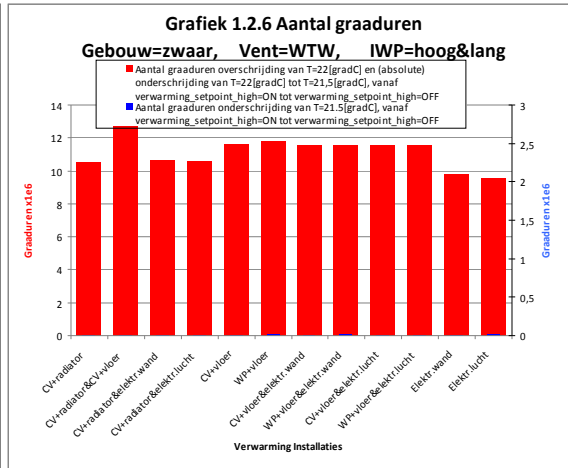
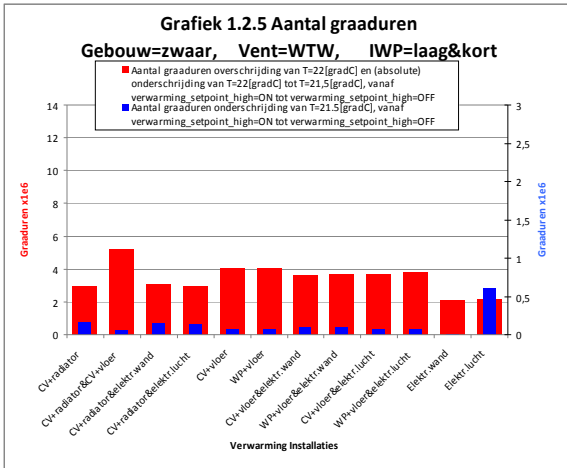
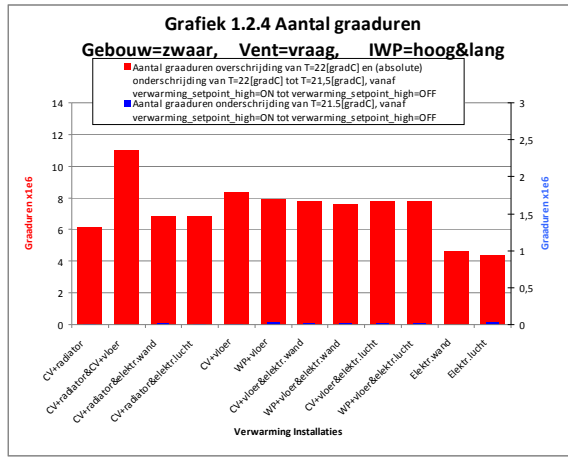
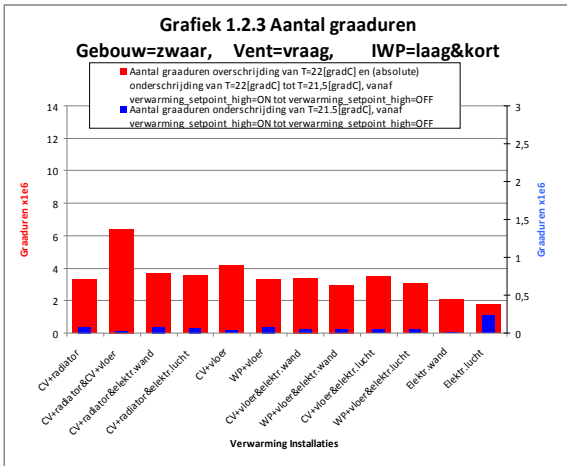
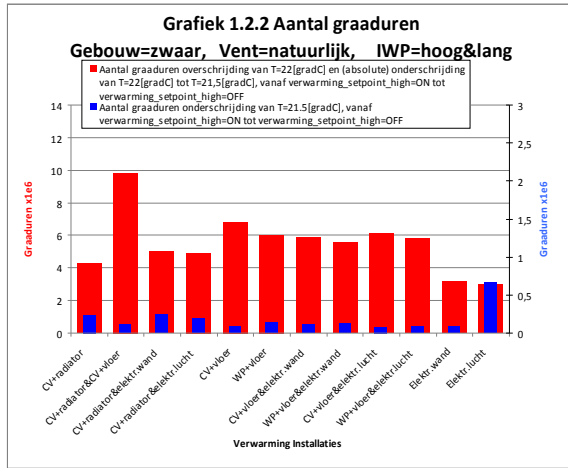
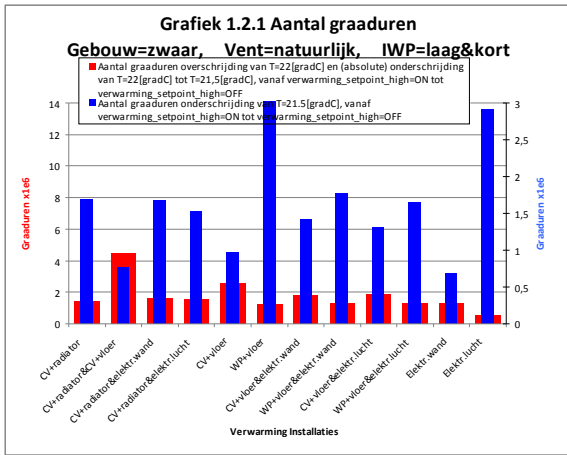


# Bijlage C De resultaten en uitgebreide analyse.

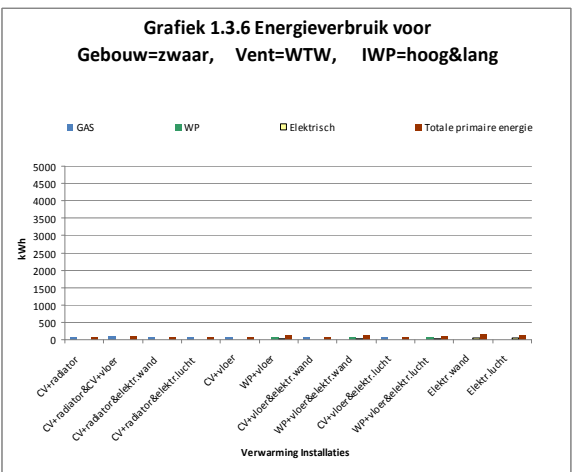
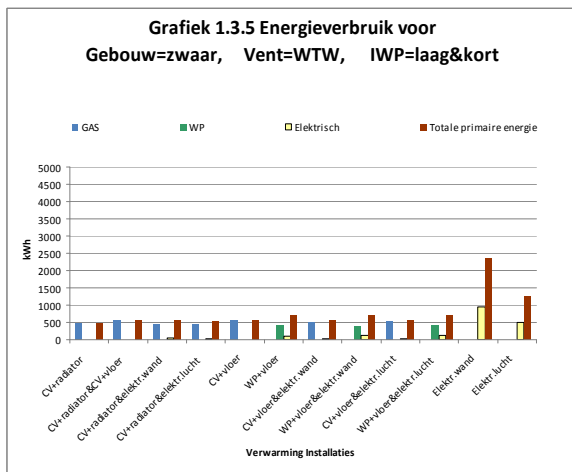
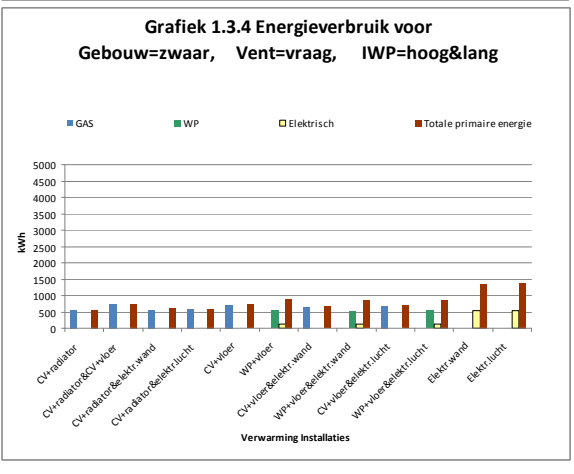
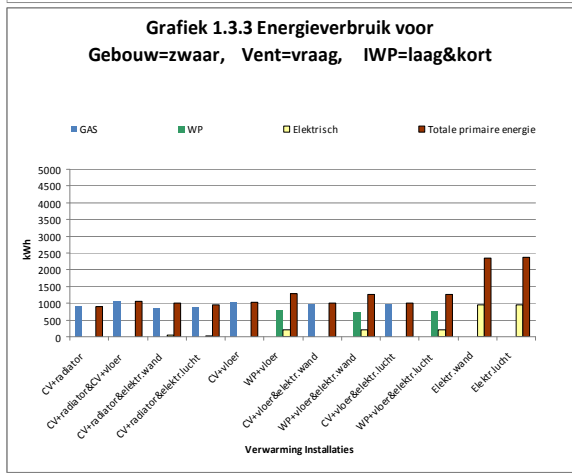
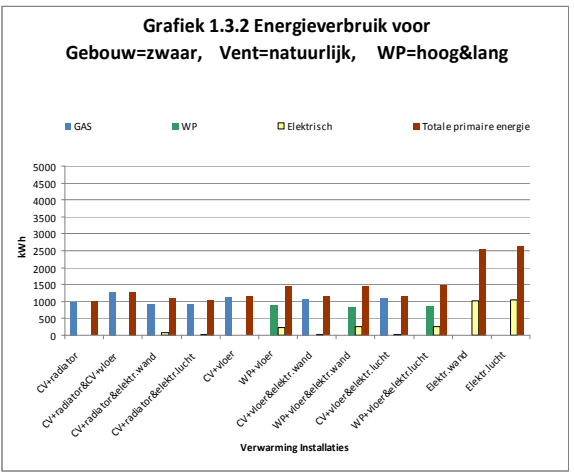
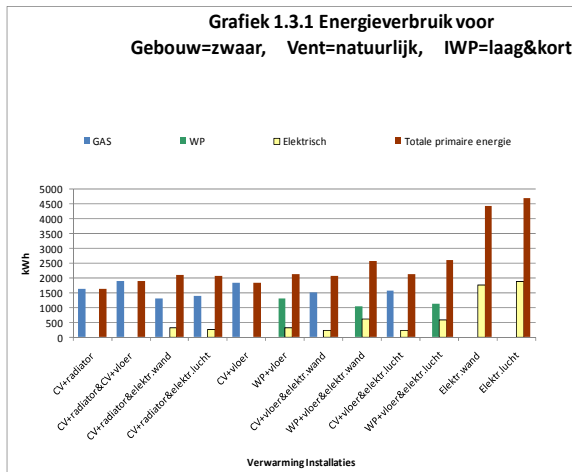
## C1 De resultaten van de 1<sup>e</sup> simulaties.



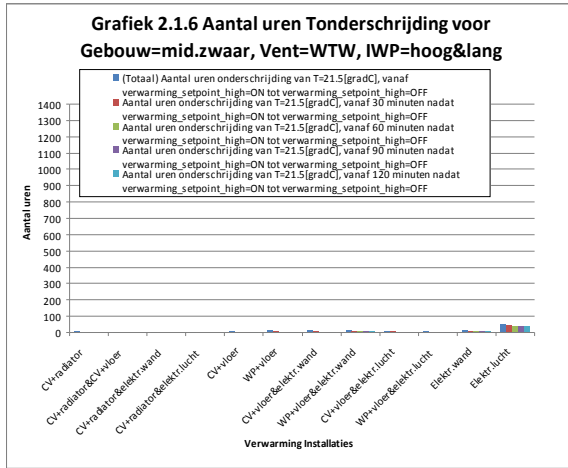
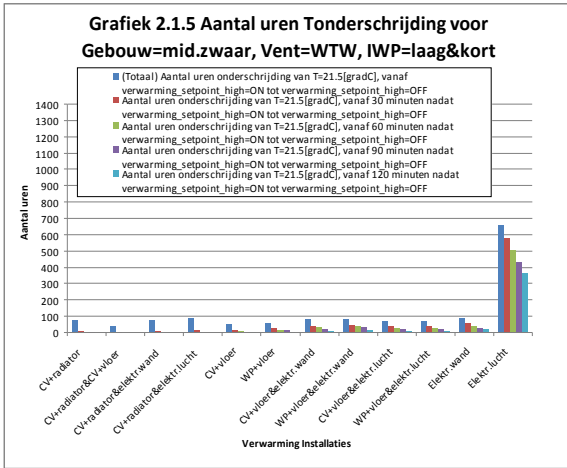
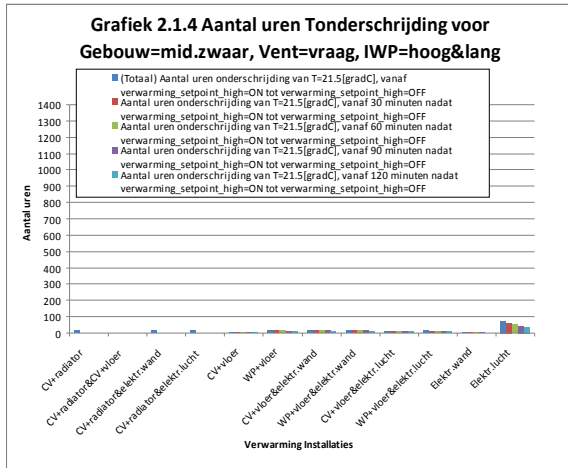
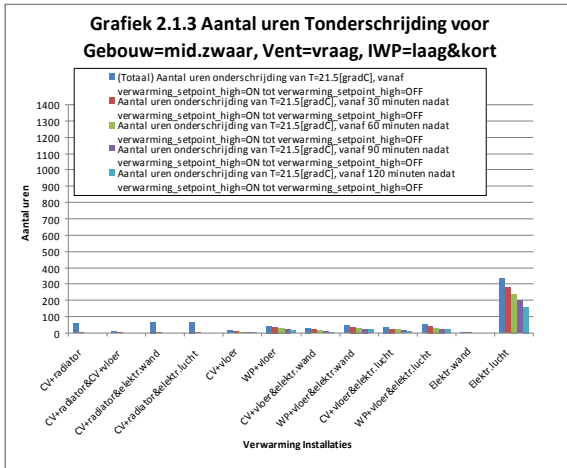
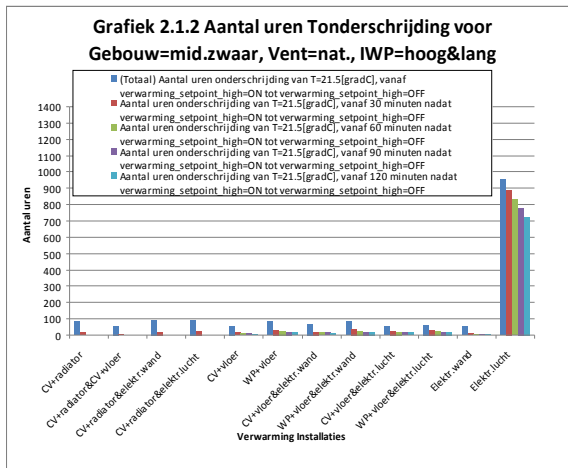
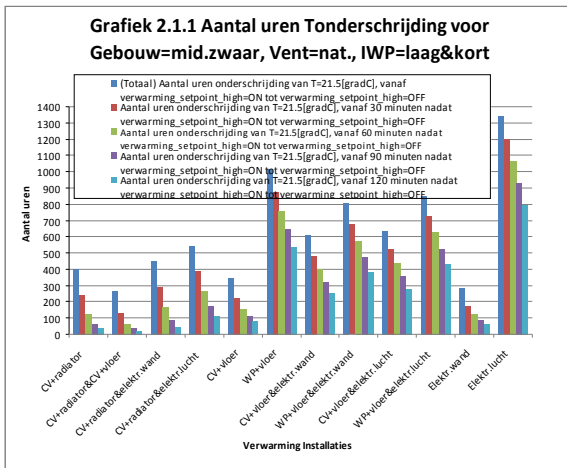
Figuur 19, grafiek 1.1.1 t/m 1.1.6. Aantal uren overschrijding voor het zware gebouw in de winter.



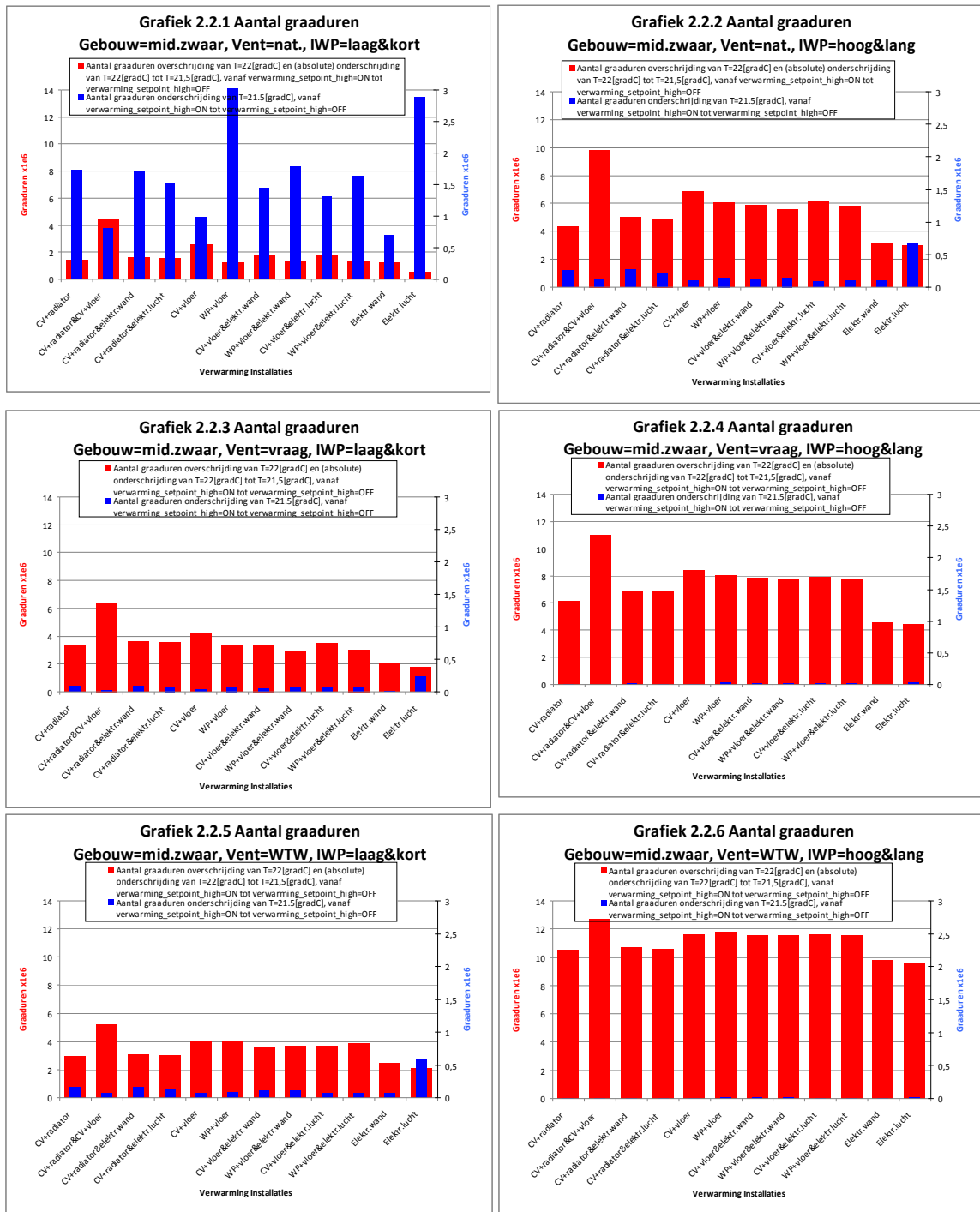
Figuur 20, grafiek 1.2.1 t/m 1.2.6. Aantal graaduren overschrijding en wisselende temperatuur voor het zware gebouw in de winter.



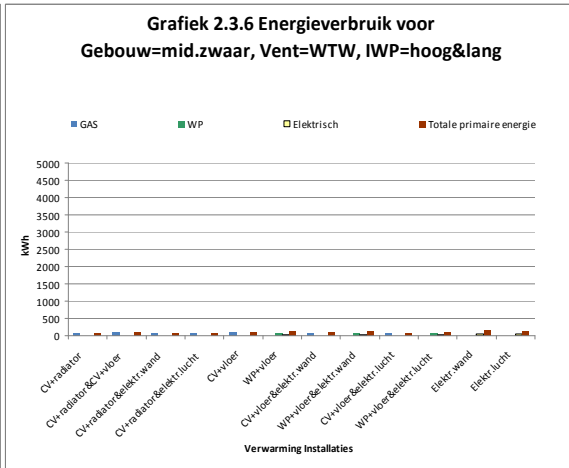
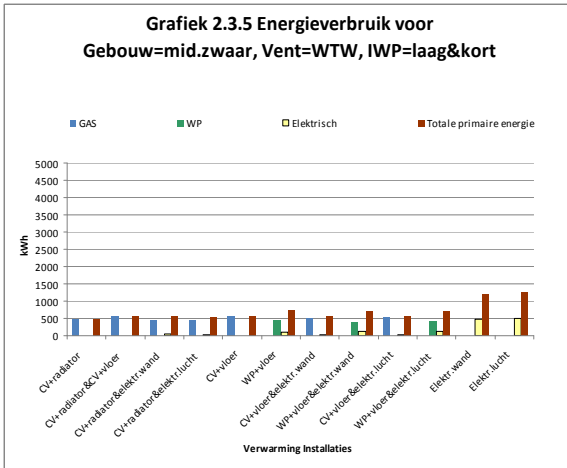
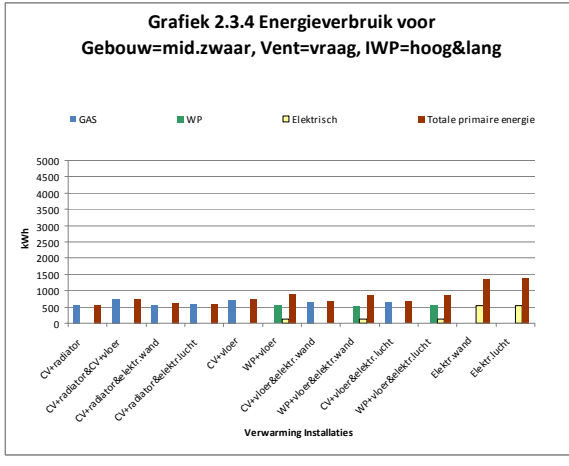
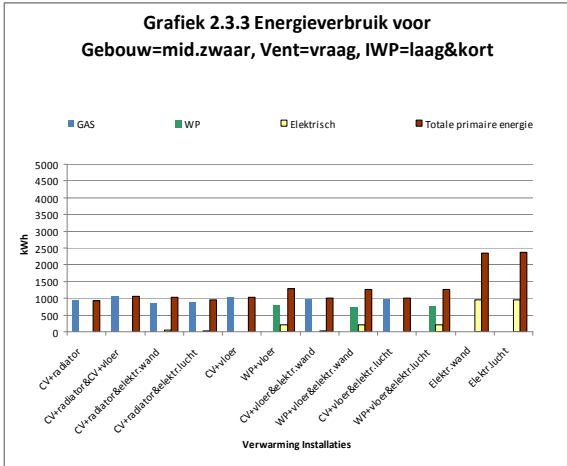
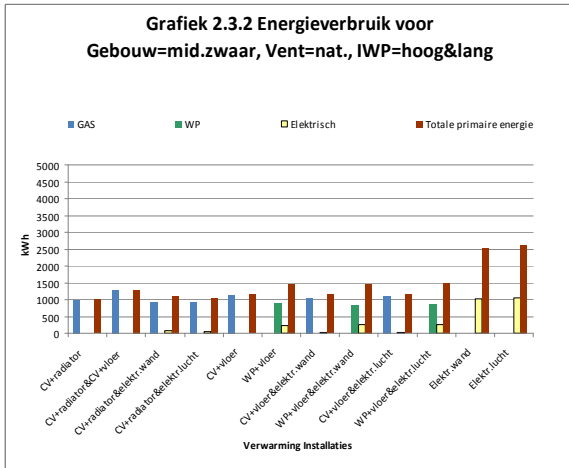
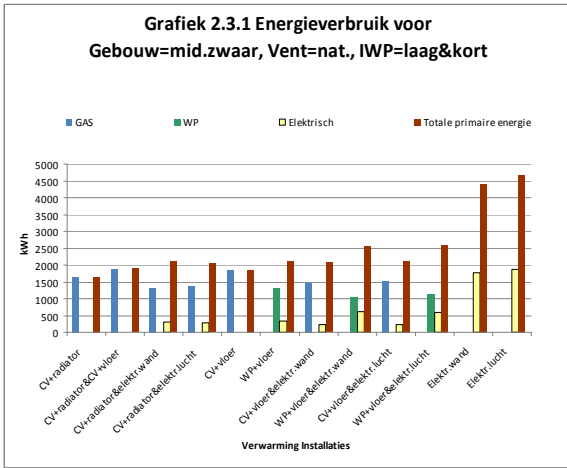
Figuur 21, grafiek 1.3.1 t/m 1.3.6. Energiegebruik van de installaties bij het zware gebouw in de winter.



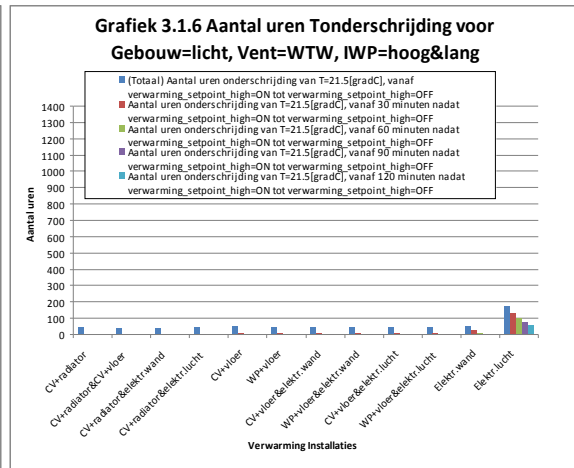
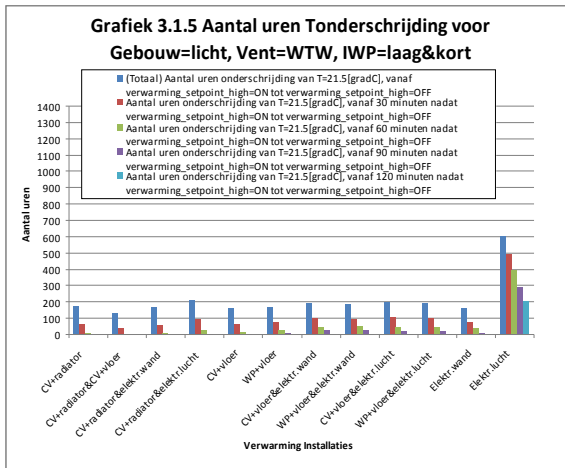
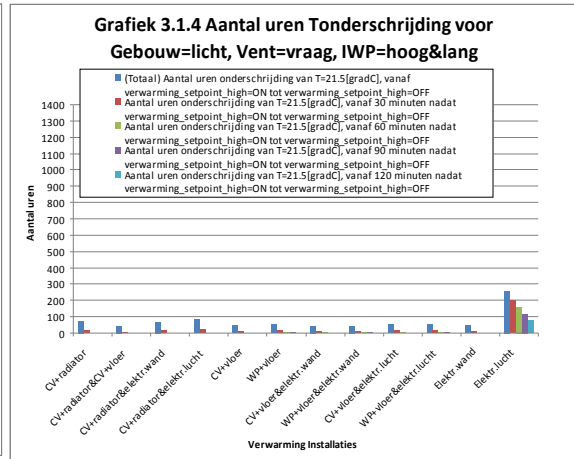
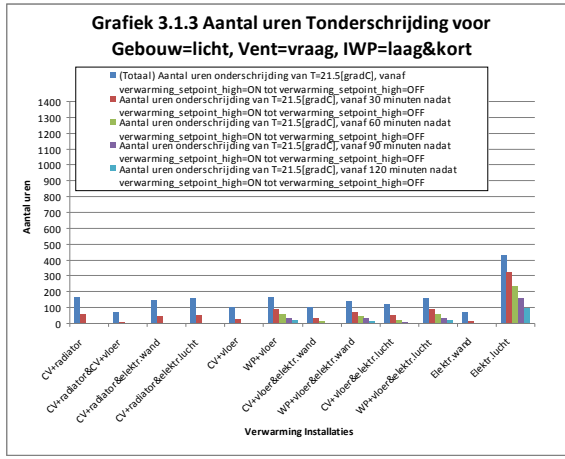
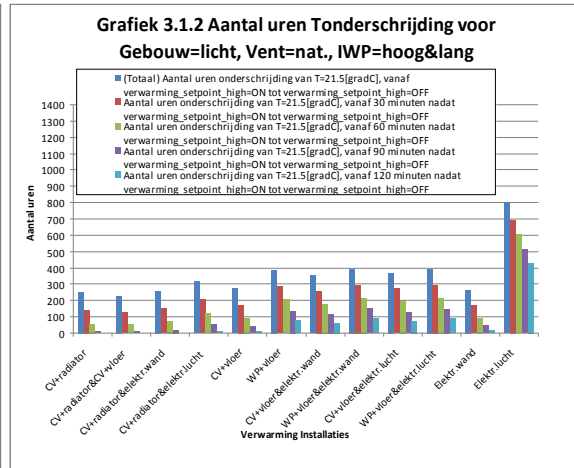
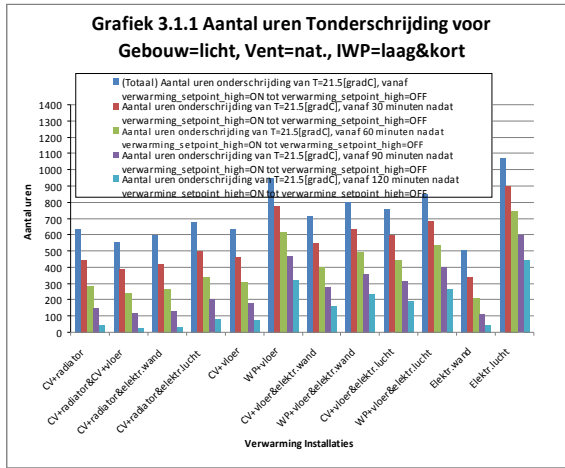
Figuur 22, grafiek 2.1.1 t/m 2.1.6. Aantal uren overschrijding voor het middelzware gebouw in de winter.



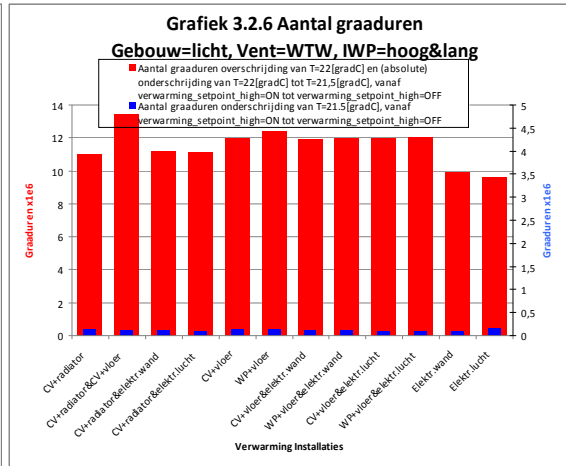
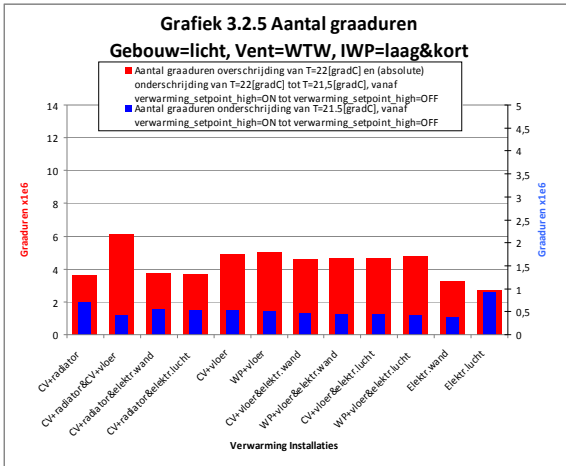
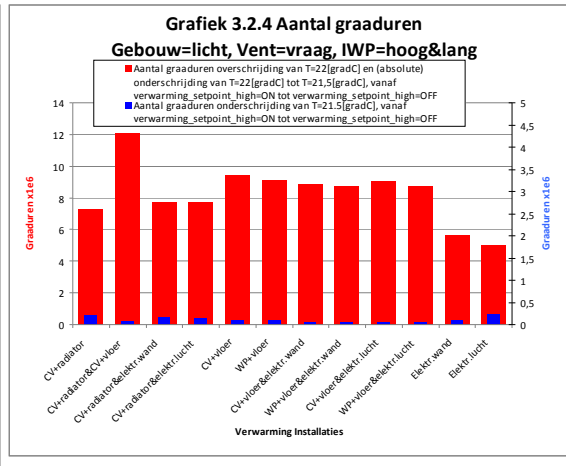
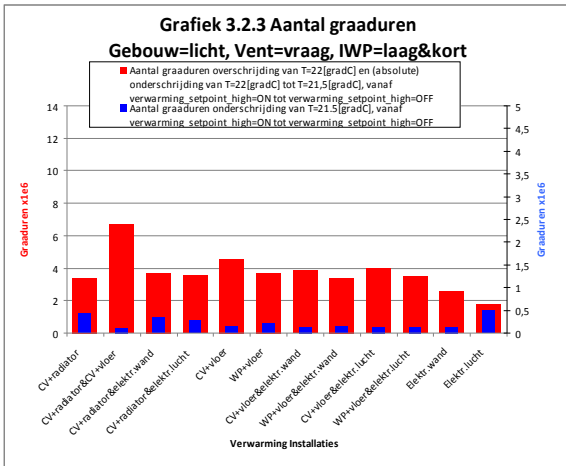
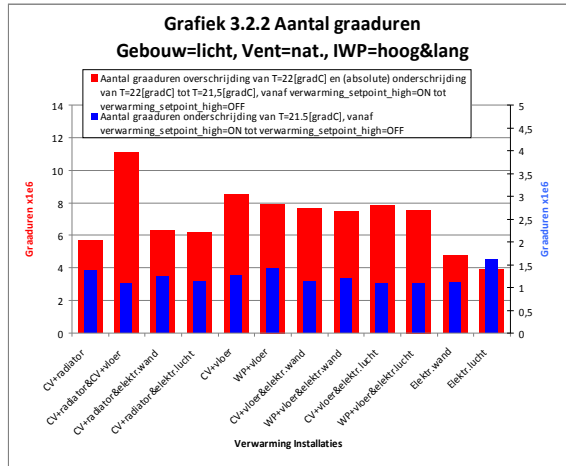
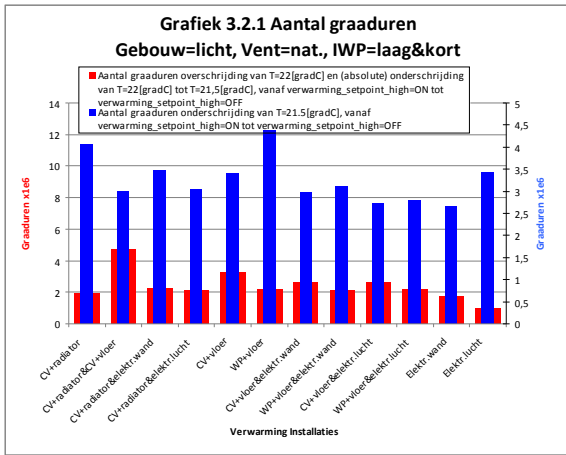
Figuur 23, grafiek 2.2.1 t/m 2.2.6. Aantal graaduren overschrijding en wisselende temperatuur voor het middelzware gebouw in de winter.



Figuur 24, grafiek 2.3.1 t/m 2.3.6. Energiegebruik van de installaties bij het middelzware gebouw in de winter.



Figuur 25, grafiek 3.1.1 t/m 3.1.6. Aantal uren overschrijding voor het lichte gebouw in de winter.



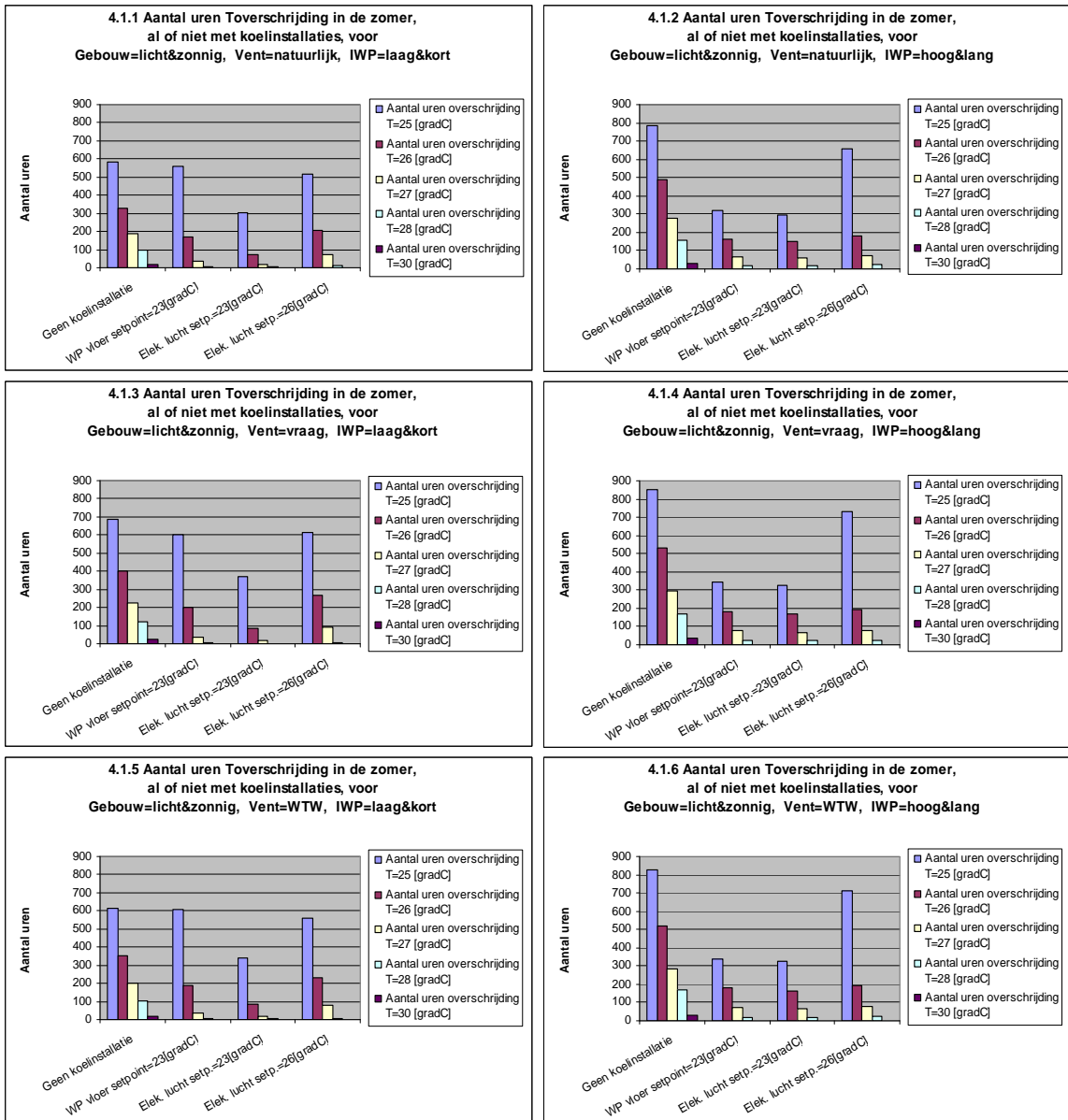
Figuur 26, grafiek 3.2.1 t/m 3.2.6. Aantal graaduren overschrijding en wisselende temperatuur voor het lichte gebouw in de winter.



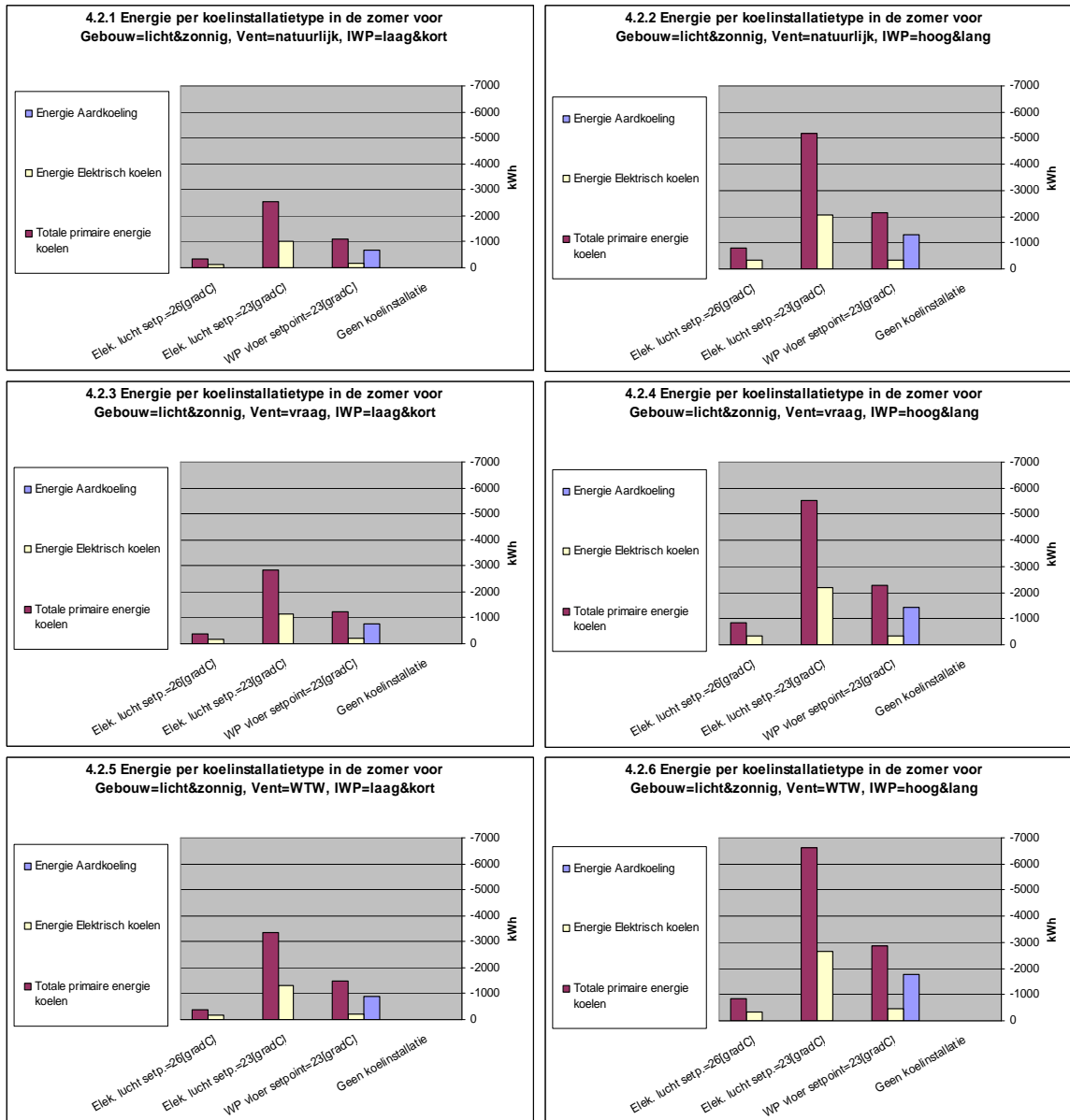
C



Figuur 27, grafiek 3.3.1 t/m 3.3.6. Energiegebruik van de installaties bij het lichte gebouw in de winter.

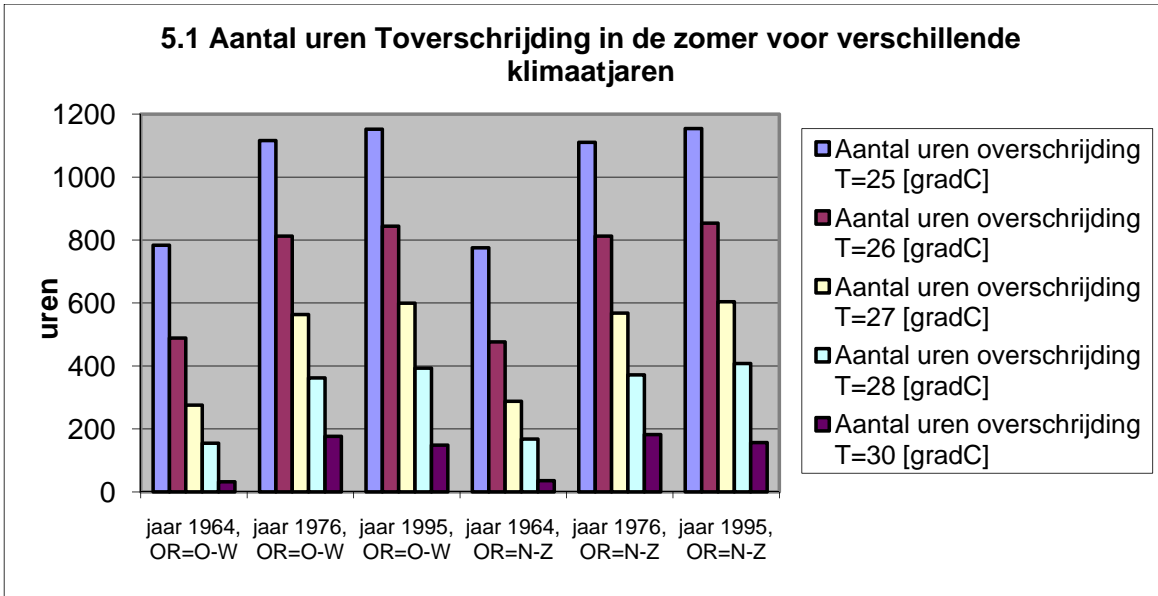


Figuur 28, grafiek 4.1.1 t/m 4.1.6. Aantal uren overschrijding bij installaties in de zomer bij het lichte gebouw.



**Figuur 29, grafiek 4.1.1 t/m 4.1.6. Energieverbruik van de installaties in de zomer bij het lichte gebouw.**

**Nota bene:** In deze figuur is bij WP een fout gemaakt. Aan de aarde afgegeven warmte is bij de totale primaire energie opgeteld.



Figuur 30, grafiek 5.1. Aantal uren overschrijding in de zomer bij het lichte gebouw voor verschillende klimaatjaren.

## C2 De verwerking van de 1<sup>e</sup> simulaties.

### C2.1 Verwarmingsinstallaties in de winter

Aan de hand van de meest extreme situatie voor de prestatie in de winter en dus de verwarmingsinstallatie, wordt de prestatie van de installaties geanalyseerd. Dus voor het zware gebouw, natuurlijke ventilatie en een lage warmtelast gebruikerspatroon.

Met behulp van de temperatuur van de belangrijkste knopen is verklaard, waarom de opwarming gemeten in uren temperatuur-onderschrijding, uit grafiek 1.1.1 tussen verschillende installatietypen zo verschillend is. Deze temperatuur is beschouwd voor de 5<sup>e</sup> week van het jaar, in dit geval van 29 januari tot en met 5 februari.

#### **Radiatoren**

In grafiek 1.1.1 blijkt dat radiatoren in totaal een aanzienlijk aantal uren niet voldoen aan de ondergrens van 21,5 graad, in verhouding tot het aantal uren waarin deze ondergrens nog steeds niet is behaald enige tijd nadat de verwarming is aangeslagen. Dit valt te verklaren uit het feit dat de afkoeling bij het gebruik van radiatoren redelijk groot is en de temperatuur daardoor als het ware 'van verder moet komen'. Zodoende zal in de winter altijd enige tijd niet aan de setpoint worden voldaan bij het aanslaan van de installatie. Toch geschiedt de opwarming over het algemeen relatief snel.

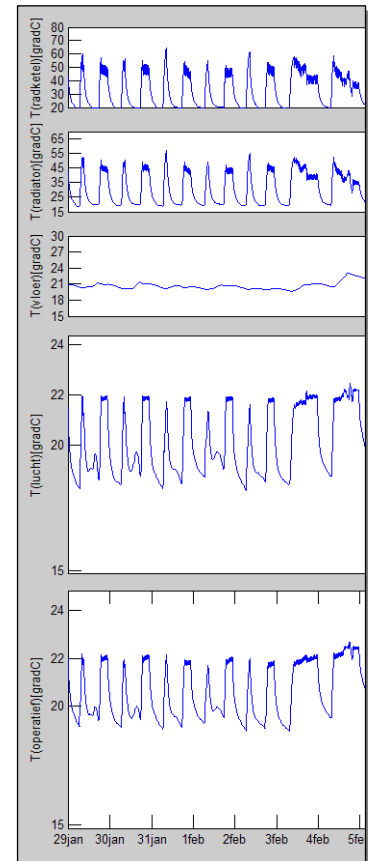
**Vloerverwarming verwarmt een buffer die de kamer warm houdt, wanneer de installatie uitstaat, waardoor het nauwelijks koud wordt. De opwarming is traag maar ook weinig nodig. Vloerverwarming kost meer energie en geeft hoge wisselende temperaturen.**

Opvallend is dat de vloerverwarming zo weinig uren onderschrijding kent. Terwijl dit systeem toch bekend staat als het meest trage systeem.

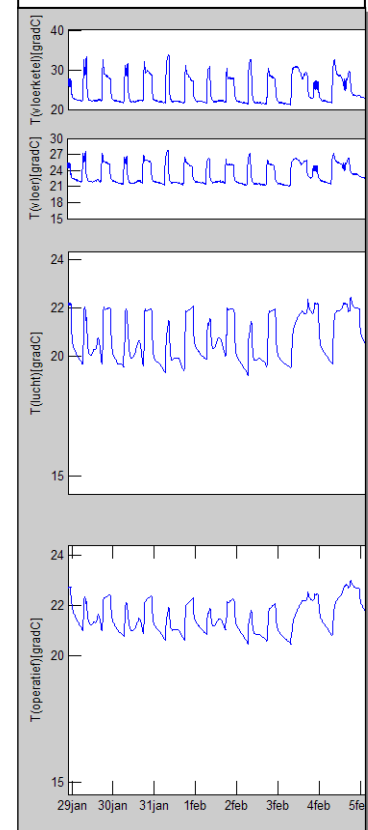
Dit valt goed te verklaren aan de hand van de nevenstaande figuur 32, waarin duidelijk wordt dat vooral de afkoeling eigenlijk veel minder plaatsvindt. Dit komt omdat de vloer ook iedere keer volledig opgewarmd en warm gehouden wordt. Bij afkoeling van de kamer, moet de vloer ook iedere keer afkoelen.

Zodoende blijkt dat tegen de tijd dat er alweer opgewarmd moet worden, bijvoorbeeld na de nachtverlaging, de operatieve temperatuur slechts 1 tot 1,5 graad is gedaald. Dit in tegenstelling tot de 3 graden operatieve temperatuurdaling bij het gebruik van de radiator. Bij het gebruik van de radiator blijkt de vloertemperatuur dan ook rond de 20 graden te schommelen, wanneer de verwarming niet aanstaat, terwijl de vloerverwarming nog een temperatuur van 22 graden heeft.

Er zijn nog wel momenten dat de afkoeling sterk is en de (operatieve) temperatuur sterk daalt. Dan wordt de setpoint dus niet gehaald en overschreden. Grafiek 1.1.1



**Figuur 31** Temperaturen bij toepassing van een radiator



**Figuur 32** Temperaturen bij toepassing van een CV-vloerverwarming

laat zien dat het aantal uren waarbij de temperatuur pas na 2 uur op 21.5 graad is, in verhouding hoog is ten opzichte van het aantal uren dat de vloerverwarming in zijn geheel niet aan de ondergrens van 21.5 graad voldoet wanneer de installatie aanstaat. Dit betekent dat iedere keer als de opwarming dus niet voldoet, dit meestal lang duurt. Vloerverwarming is dus een traag systeem.

Verder betekent het dat er meer energie in de kamer wordt gebracht, voornamelijk in de vloer, waardoor deze extra energie de kamer warm kan houden wanneer de verwarming afslaat. Grafiek 1.5.1 toont dat dit 10 tot 20 procent meer energie kost.

Die 'extra energie' zorgt er overigens voor dat het warmer kan worden dan is gevraagd. Immers wanneer de luchttemperatuur de gewenste setpoint bereikt, is de vloer nog veel warmer dan de temperatuur van de lucht. De operationele temperatuur is dus al hoger dan de setpoint, en zal nog enige tijd in stand gehouden worden of zelfs verder overschreden worden. Er zal namelijk warmte van de vloer naar de lucht gaan, om een evenwicht in temperatuur te bereiken.

#### Extra simulatie

Om het energieverbruik enigszins realistischer te kunnen vergelijken met het energieverbruik van een radiator, is nog onderzocht hoe de installatie scoort zonder dat er veel extra energie verloren gaat als gevolg van de wisselende temperaturen. Dit wordt getracht door de installatie te regelen op basis van de operationele temperatuur en de modulerende regeling enigszins aan te passen. Deze extra simulatie wordt behandeld in de volgende paragraaf.

#### Lage temperatuur vloerverwarming in combinatie met een warmtepomp krijgt een woonkamer in winterse situaties niet op de gewenste temperatuur.

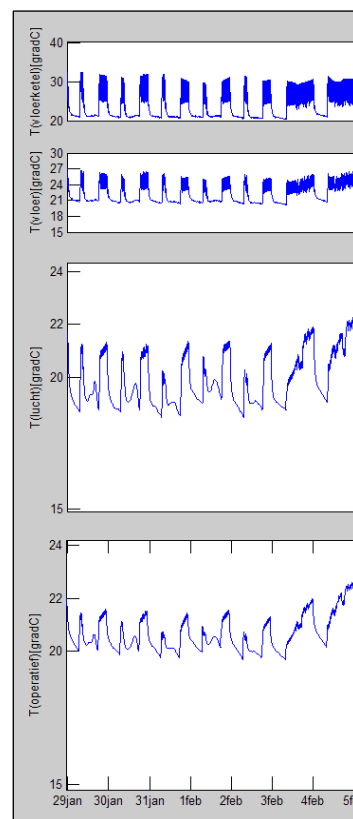
Dit is logisch verklaarbaar. Naast de trage opwarming, slaat de warmtepomp ook iedere keer als het water op temperatuur is minstens 20 minuten af. Hierdoor kan de vloer slechts gedurende een korte tijd op maximaal vermogen warmte af staan aan de kamer. Het gemiddelde vermogen ligt dus veel lager, is niet toereikend, en is niet zo groot als het warmteverlies, zoals in de warmteverlies-berekening berekend.

Als gevolg van het lage vermogen is het energieverbruik een stuk minder en bovendien is 80% van de energie verkregen uit aardwarmte. Het energieverbruik is hier dus niet representatief, omdat het comfort niet op dusdanige wijze wordt voldaan dat de installatie vergelijkbaar is met andere installaties.

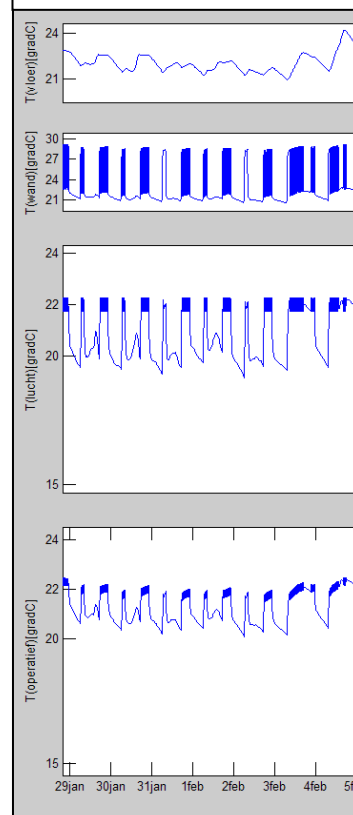
Ook de wisselende temperaturen zijn hier niet van toepassing of representatief, omdat de ontoereikende opwarming de operationele temperaturen dus ook niet in het grensgebied van de wisselende temperaturen doet komen.

#### Extra simulatie

Er is geen extra simulatie gemaakt voor het geval waarin een warmtepomp wel in het



**Figuur 33** Temperaturen bij toepassing van een WP-vloerverwarming



**Figuur 34** Temperaturen bij toepassing van een wandverwarming

gevraagde comfort kan voorzien.

Immers in het geval van een groter vermogen bij een warmtepomp, zal men hogere temperaturen moeten toepassen en dus een minder goed rendement behalen. Hoe de installatie dan in het nodige comfort voorziet, is dan vergelijkbaar met situaties, waarin het lage temperatuur systeem nu ook nog (net) voldoet, bijvoorbeeld in het geval van warmteterugwinning. De karakteristieke eigenschap van een warmtepomp met vloerverwarming om in comfort te voorzien, zal met de huidige technieken altijd worden bepaald door de benodigde schakeltijd (20 minuten uit, ivm. de levensduur van de warmtepomp). De orde-grootte van het energieverbruik voor het geval dat er wel in comfort wordt voorzien, wordt interpooleerbaar geacht.

#### **Wandverwarming verwarmt snel door lokale opwekking, weinig (massa-)vertraging en afgifte over grote oppervlakken.**

Door de lokale opwekking hoeft de warmte niet getransporteerd te worden, wat scheelt in de tijd. Daarnaast maakt de geringe massa tussen de verwarming en de kamer, een snelle afgifte aan de kamer mogelijk. De lucht warmt dus ook snel op, net als bij radiatoren. De grote oppervlakken zorgen net als bij vloerverwarming voor een relatief hoge stralingswarmte.

Doordat het systeem snel de lucht opwarmt, reageert de installatie ook snel op de (luchttemperatuur)thermostaat. Dit is ook goed zichtbaar aan de vele schakelingen in figuur 34. Wisselende temperaturen zijn nauwelijks aanwezig.

Door de snelle opwarming, wordt ook de massa in de kamer goed opgewarmd, ondanks dat de wandverwarming zelf weinig massa heeft. Het energieverbruik is daarom net zo hoog als bij vloerverwarming en 10 a 20% hoger als bij het gebruik van radiatoren.

#### **Luchtverwarming voldoet absoluut niet in het comfort, omdat ze verkeerd geregeld is aan de hand van de luchttemperatuur.**

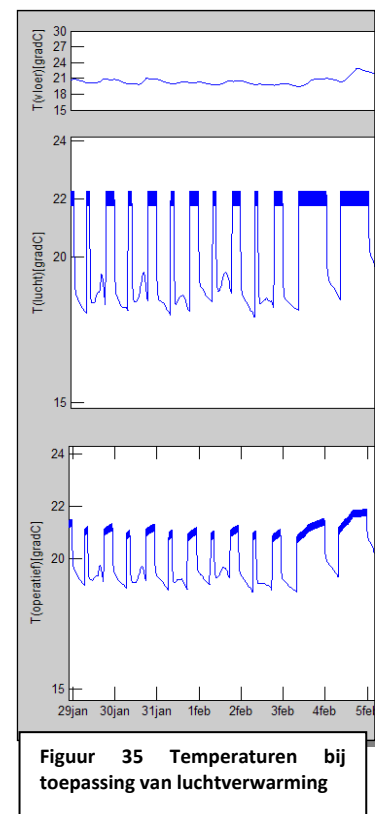
Zoals in figuur 35 is te zien, wordt de luchttemperatuur snel op de gewenste setpoint gebracht. Luchtverwarming reageert dus heel snel.

Het probleem is alleen dat de luchtverwarming voortijdig afslaat. Als de lucht dusdanig snel op temperatuur is gebracht, is er nauwelijks warmte van de lucht overgedragen aan de massa van de constructies. In de tijd die volgt nadat de installatie is afgeslagen, zal de warmte alsnog worden overgedragen en de luchttemperatuur weer dalen, waardoor al snel weer de noodzaak ontstaat om de installatie weer in te schakelen. Al de intervallen vertragen de operationele temperatuur enorm om op het gewenste setpoint te komen.

Het energieverbruik en de wisselende temperaturen zijn dus niet meer opportuun om hier te behandelen, omdat het setpoint sterk wordt onderschreden.

#### **Extra simulatie**

Om in het comfort te voorzien en om de installatie goed te kunnen vergelijken met andere installaties, moet de installatie zo worden geregeld dat deze wel in comfort voorziet. Dit kan door een regeling op basis van de operationele temperatuur. De extra simulatie is behandeld in de volgende paragraaf.



**Figuur 35 Temperaturen bij toepassing van luchtverwarming**

Combinaties van installaties vertonen over het algemeen gedrag dat kan worden geïnterpoleerd uit het gedrag van de installaties, wanneer deze afzonderlijk zijn toegepast.

#### Radiatoren in combinatie met vloerverwarming

De installatie van radiatoren in combinatie met vloerverwarming reageert sneller dan deze installaties afzonderlijk. Ze reageert even snel als wandverwarming.

Dit valt te verklaren uit het feit dat radiatoren de lucht snel verwarmen. Daarbij zorgt de vloerverwarming ervoor dat de vloer nauwelijks afkoelt en sneller warm is. Zowel de stralingstemperatuur als de luchttemperatuur worden direct naar hogere waarden gebracht.

Er wordt echter nog meer warmte in de kamer gebracht, en de vloertemperatuur stijgt daarbij nog meer dan bij toepassing van een enkele vloerverwarming. Er wordt dus wel meer energie verbruikt en de wisselende temperaturen zijn bijgevolg ook groter.

#### Extra simulatie

Net als bij gewone vloerverwarming is het interessant om te zien of een regeling op basis van de operationele temperatuur beter in comfort voorziet en het energieverbruik terugdringt. Een aanvullende simulatie is dan ook uitgevoerd en deze wordt behandeld in de volgende paragraaf.

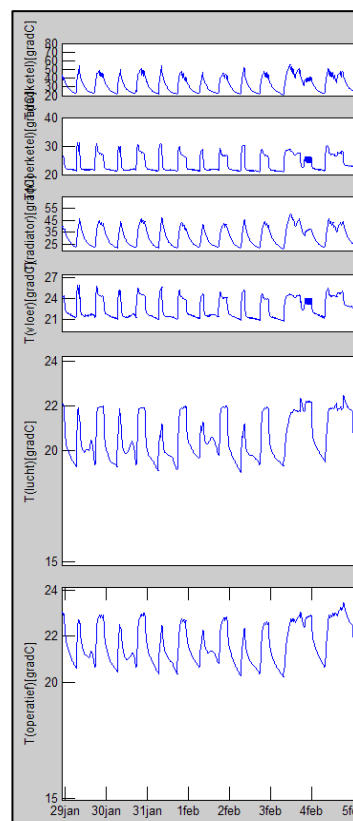
#### Wand- of luchtverwarming in combinatie met vloerverwarming of radiatoren

Deze installatietypen verwarmen niet snel. Dit komt voornamelijk door de lagere setpoint van deze secundaire installaties. Deze installaties reageren snel en stoppen dan ook acuut met verwarmen als de setpoint van deze secundaire installatie is bereikt, welke een graad verwijderd is van de setpoint voor de primaire installatie. Op dat moment moet deze installatie het dus alleen doen met minder vermogen. De wand- of luchtverwarming in combinatie met de warmtepomp doet het wel beter, omdat de secundaire installatie er hier voor zorgt dat het totale vermogen in koude situaties tenminste nog wordt afgegeven.

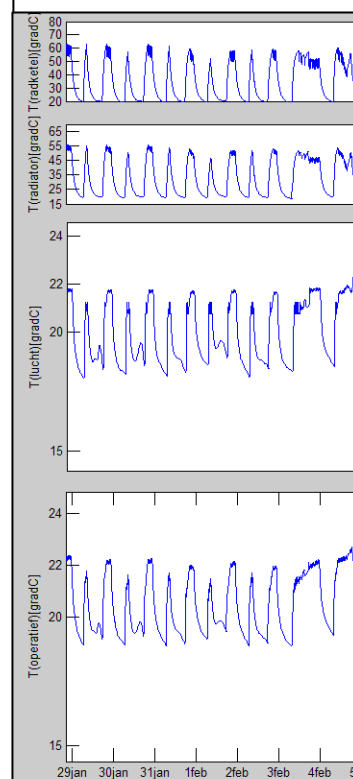
Wel zorgen de combinaties met luchtverwarming er dus voor dat er nu ook stralingswarmte wordt afgegeven en er wel in comfort kan worden voorzien. De operationele temperatuur komt beter mee met de luchttemperatuur. Zodoende scoren deze combinaties hier beter dan luchtverwarming alleen.

Door de geringe opwarmnelheden, zijn de combinaties vergelijkbaar met situaties waarin de primaire installaties afzonderlijk worden toegepast. De afkoeling, het totale ingebrachte vermogen en het energieverbruik is dus ook min of meer gelijk.

De verhouding van het energieverbruik van de primaire installatie en het energieverbruik van de secundaire installatie (elektriciteit) is wel lager dan de



**Figuur 36** Temperaturen van radiatoren en vloerverwarming



**Figuur 37** Temperaturen van radiatoren en luchverwarming



verhouding tussen de vermogens van beide installaties.

### ***Extra simulatie***

Het gedrag van de combinaties met lucht- en vloerverwarming is niet erg representatief gebleken, omdat de lagere setpoint van de secundaire installatie er voor zorgt dat er minder vermogen wordt gebruikt om de kamer te verwarmen. Deze lagere setpoint heeft tot doel om het elektriciteitsgebruik te beperken, maar zorgt er tegelijk voor dat het beoogde doel van de secundaire installatie om te voorzien in snellere opwarming juist niet wordt bereikt.

Daarom is er ook nog een aanvullende simulatie uitgevoerd, waarbij de setpoint van de secundaire installatie dichterbij de setpoint van de primaire installatie moet worden gebracht, bijvoorbeeld op 21.5 graad. Dit is namelijk ook de ondergrens van de temperatuur aan de hand waarvan de opwarmsnelheid vergeleken wordt. Dit wordt beschreven in de volgende paragraaf.

## **C2.2 Ventilatie-systemen in de winter.**

In de vorige paragraaf hebben we al uitgebreid gekeken naar de grafieken 1.1.1, 1.2.1 en 1.3.1 met natuurlijke ventilatie, om de verschillende installaties te vergelijken. De grafieken 1.1.3, 1.2.3, 1.3.3 en 1.1.5, 1.2.5 en 1.3.5 laten dezelfde situatie zien, maar dan met respectievelijk vraaggestuurde ventilatie en warmteterugwinning.

Het is handig om hier nog eens te verklaren dat de vraagsturing nog slechts 10% van de lucht ventileert op het moment dat niemand aanwezig is. Warmteterugwinning wint continu warmte terug met een rendement van 70%.

De grafieken 1.1.3 en 1.1.5 tonen duidelijk aan dat beide ventilatiesystemen bijdragen aan een veel snellere opwarming dan natuurlijke ventilatie. Echter vraagsturing nog weer meer dan warmteterugwinning. Dit is misschien wat onverwacht, omdat vraagsturing over het algemeen wel meer energie kost, zoals blijkt uit de grafieken 1.3.3 en 1.3.5. Dit komt namelijk omdat vraagsturing bij aanwezigheid net zoveel energie verloren laat gaan, als bij natuurlijke ventilatie. Het kost dus veel meer energie om de kamer op temperatuur te houden.

Toch is het logisch dat de kamer sneller opwarmt bij vraaggestuurde ventilatie dan bij warmteterugwinning, omdat er bij afwezigheid minder warmte verloren gaat. De temperatuur daalt dus ook minder bij afwezigheid.

De wisselende temperaturen nemen wel toe bij de verschillende ventilatiesystemen. Nu de opwarming snel gaat en de temperatuur zich dus sneller in het interval van de wisselende temperaturen bevindt, is de totale duur waarop wisselende temperaturen worden gemeten ook langer. Daar komt bij dat de trage systemen en de systemen met een groot stralingsaandeel een grote overshoot genereren, waardoor de wisselende temperaturen nog eens groter worden. Dit is dus ook al naar voren gekomen bij de behandeling van de verwarmingsinstallaties in paragraaf 2.4.1. Om te zien of hier verbetering in kan worden gevonden, wordt een extra simulatie uitgevoerd, waarbij er een regeling op basis van de operationele temperatuur wordt toegepast.

## **C2.3 Warmtelasten en gebruikerspatronen in de winter.**

In deze paragraaf zijn de grafieken 1.1.2, 1.2.2, 1.3.2 en 1.1.4, 1.2.4, 1.3.4 en 1.1.6, 1.2.6 en 1.3.6 vergeleken met de figuren uit de vorige paragrafen. Immers de figuren die in de vorige paragrafen zijn te zien, behandelen een situatie met een lage en een kortstondige warmtelast van 1 persoon die doordeweeks enkel 's ochtends en 's avonds aanwezig is. De figuren die in deze paragraaf worden behandeld, zijn van een hoge en meer langdurige warmtelast, waarbij eigenlijk alleen nog nachtverlaging wordt toegepast en 6 mensen in het huis wonen.

De grafieken laten duidelijk zien dat het aantal keren dat er nog verwarmd moet worden aanzienlijk daalt bij langdurige aanwezigheid. Het aantal uren dat het nog niet warm is op het moment dat de setpoint voor de verwarming omhoog gaat, daalt aanzienlijk. Dit komt op zich ook de opwarming ten goede want de weinig keren dat er nog opgewarmd moet worden, is het over het algemeen veel sneller warm.

Dat het aantal keren dat er nog verwarmd moet worden minder is, is logisch, omdat er nu niet meer doordeweeks 's avonds hoeft te worden opgewarmd. Toch scheelt dit slechts 5 van de 14 keren dat er opgewarmd moet worden, terwijl het aantal uren onderschrijding veel minder is dan deze verhouding van 5:14. Dat er verder minder opwarming nodig is, is te verklaren uit het feit dat er veel minder afkoeling is van de gehele kamer. Er blijft namelijk nog veel warmte achter in de massa van de vloer.

Enkel bij de luchtverwarming is dit niet zo. Daar wordt de massa toch veel minder opgewarmd, met als gevolg dat de er ook meer moet worden opgewarmd, wat vervolgens weer slecht gebeurt.

De grafieken 1.1.3 en 1.1.4, 1.1.5 en 1.1.6 laten dezelfde patronen zien.

Qua energieverbruik kan er worden gesteld dat er ondanks de meer langdurige inschakeling van de installatie, toch minder energie wordt gebruikt. Dit komt doordat de interne warmtelast hoger is.

Wat wel moet worden gesteld is dat de wisselende temperaturen tot 2 keer zo hoog zijn als bij de lage IWP. Dit is verklaarbaar doordat er meer overshoot is als gevolg van de hogere warmtelast. Zo wordt er bijvoorbeeld 's ochtends opgewarmd om snel op temperatuur te komen. Eenmaal op temperatuur levert de interne warmtelast al teveel energie om de temperatuur constant te houden en dus stijgt de temperatuur. Vooral als het zonnetje erbij gaat schijnen.

## **C2.4 Verschillende gebouwtypen in de winter.**

### **Middelzwaar**

De verschillen tussen een zwaar en middelzwaar gebouw zijn niet groot, zoals ook blijkt bij het vergelijken van de grafieken 1.1.1 t/m 1.3.6 en 2.1.1 t/m 2.3.6. Slechts bij de tragere installaties duurt de opwarming iets langer. Dit komt waarschijnlijk omdat er iets meer afkoeling is geweest, omdat de massa iets minder warmte heeft kunnen vasthouden, maar over het algemeen blijkt de mindere massa van het middelzware gebouw dus net zo goed energie op te slaan als de grotere massa van het zware gebouw.

De massa van het middelzware gebouw lijkt dus nog steeds relatief zwaar. Een naberekening van de Specifiek Werkende Massa in de kamer levert dan ook op dat deze slechts 1,5 keer lichter is dan de zware variant.

### **Licht**

Het lichte gebouw verschilt wel in alles van de andere gebouwtypen, zoals ook te zien is in de grafieken 3.1.1 t/m 3.3.6. Naberekening van de SWM levert op dat het lichte gebouw wel 6 keer lichter is dan de zware variant.

Doordat er minder warmte wordt vastgehouden, daalt de temperatuur veel verder dan bij de zware gebouwen. Eigenlijk is het haast iedere keer dat er temperatuuronderschrijding plaats vindt als de hoge setpoint wordt gevraagd, terwijl een groot aantal keren dat de setpoint wordt gevraagd bij massieve gebouwen de kamer nog warm genoeg is.

Daarnaast is het weliswaar zo dat er niet meer warmte in de kamer hoeft te worden gebracht om de kamer op te warmen. De benodigde opwarmingsenergie is in totaal hetzelfde, maar de ondergrens wordt wel pas bereikt op het moment dat zowat alle opwarmingsenergie in de kamer is gestopt. Dit terwijl bij een massief gebouw een veel groter aandeel van de opwarmingsenergie wordt gebruikt om de kamertemperatuur van een halve graad onder de setpoint, naar de setpoint te brengen. Daarom is het bij massieve gebouwen ook eerder warm.

Verder is het energieverbruik ongeveer hetzelfde aangezien de weggeëbde energie ook niet meer of minder is geworden. Met betrekking tot de wisselende temperaturen scoort het lichte gebouw slechter bij een hogere warmtelast. Een teveel aan energie kan niet gebufferd worden en er is al snel een teveel aan energie aanwezig.

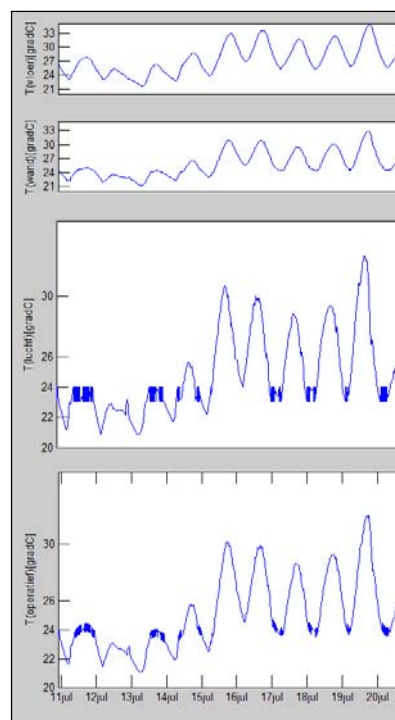
## C2.5 Verschillende koelinstallaties in de zomer

**Vloerkoeling is traag maar kan hoge temperaturen goed verhinderen, als de setpoint laag staat ingesteld. Ze verbruikt weinig energie.**

Een warmtepomp in combinatie met afgifte in de vloer om te koelen, is net als bij vloerverwarming een traag systeem. En omdat hoge temperaturen vaak kortstondig zijn, op het midden van de dag bij veel zonne-inval, of wanneer de buitenlucht warmer is dan de binnentemperatuur, kan vloerkoeling er niet goed in voorzien om het aantal temperatuuroverschrijdingen van haar setpoint te verminderen. Dit is goed zichtbaar in grafiek 4.1.1. Bij afwezigheid overdag staat de setpoint op 25 graden en het aantal uren overschrijding hiervan is nagenoeg hetzelfde als wanneer geen koelinstallatie wordt toegepast.

Wel voorziet de vloerkoeling erin dat er geen al te hoge temperaturen optreden, zoals te zien is in figuur 39. Tegen de tijd dat de kamer dusdanig zou zijn opgewarmd dat deze hoge temperaturen optreden, is de vloerkoeling wel actief.

De vloerkoeling is dus meer een vorm van topkoeling.



**Figuur 38** Temperaturen zonder koelinstallatie

Ondanks de kortstondige werking van de vloerkoeling, gebruikt deze nog wel veel energie, die voornamelijk wordt gebruikt om de vloermassa te koelen. Deze massa neemt de warmte in de kamer pas op nadat de ergste warmte alweer voorbij is. Dit uit zich ook in korte continue vloertemperaturen, die iedere keer volgen op pieken in de vloertemperaturen, in figuur 34. In tegenstelling tot vloerverwarming blijkt de bufferende werking hier dus te kortstondig om goed te fungeren.

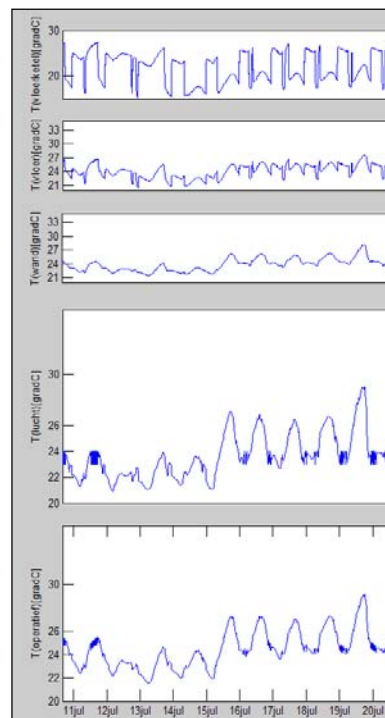
**Luchtkoeling reageert snel en zorgt ervoor dat het totale aantal uren temperatuuroverschrijding aanzienlijk vermindert.**

Luchtkoeling werkt sneller dan vloerkoeling, zorgt dat de temperaturen veel minder boven de setpoint uitkomt, en voorziet dus in meer koeling dan alleen topkoeling. Deze snelle reactie van de luchtkoeling is ook zichtbaar aan de schakelingen in de luchttemperatuur van 25 graden. Zie figuur 40.

Toch kan luchtkoeling niet veel beter verhinderen dat er nog hoge temperaturen optreden. Op dergelijke momenten is het vermogen van de koeling kennelijk niet in staat om op te werken tegen de energie die de warmere buitenlucht, de interne warmtelast en de zon met zich meebrengen.

**Luchtkoeling met een hoger setpoint heeft minder effect dan vloerkoeling met een laag setpoint, maar kost wel minder energie.**

Ondanks de snelle reactie kan luchtkoeling met een hoog setpoint de hoge temperaturen niet drukken. Dit komt voornamelijk door de late inschakeling, op het moment dat de hoge setpoint pas is bereikt. Om dan met het beperkte vermogen de kamer nog koel te houden op deze hoge setpoint, is nagenoeg onmogelijk omdat de warmtelast gewoonweg te groot is. Het 'preventief' koelen zoals dit bij vloerkoeling optreedt, blijkt dan ook een groot gemis en erg noodzakelijk bij koeling met een dergelijk (beperkt) vermogen.



**Figuur 39** Temperaturen bij toepassing van vloerkoeling

## C2.6 Ventilatie-systemen in de zomer.

Net als bij de verwarmingsinstallaties zorgen vraaggestuurde ventilatiesystemen ervoor dat er minder warmte verloren gaat uit het gebouw in de zomer. Dit draagt dus bij aan grotere energiehoeveelheden en hogere temperaturen in de zomer, wat ook zichtbaar wordt in de figuren. De installaties moeten hier dus meer koelen en kosten meer energie.

Van warmteterugnende ventilatiesystemen verwacht men dat deze beter scoren op temperatuuroverschrijding dan wanneer deze niet worden toegepast, omdat deze installaties ook 'koude' kunnen terugwinnen. Dus in geval van warmere buitenlucht, kunnen ze zorgen dat deze warmte niet binnenkomt door het ventileren.

Een vergelijking van de grafieken 4.1.1 en 4.1.5 laat daarentegen duidelijk zien dat de temperatuur meer overschreden wordt bij warmteterugnning dan wanneer natuurlijke ventilatie wordt toegepast. Dit is ook logisch wanneer men bedenkt dat hoge temperaturen meestal worden veroorzaakt door hogere interne warmtelasten en zonne-inval. De 'koude'-terugnning zal niet veel effect hebben.

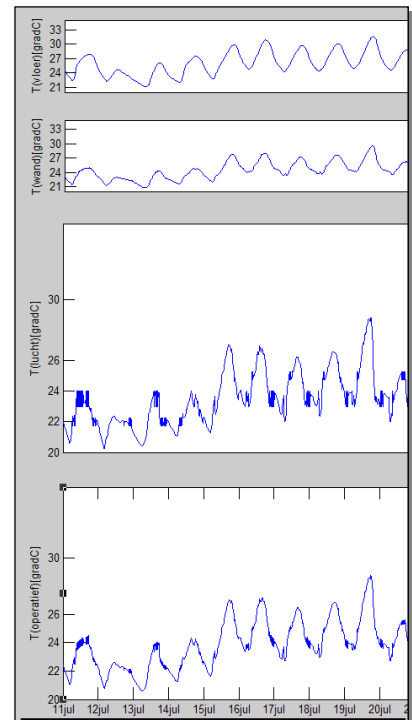
Daarnaast is de WTW dusdanig afgesteld dat er altijd warmte wordt terugnwonnen, wanneer de luchttemperatuur onder de setpoint komt, omdat dit in de winter zo vereist is. In de zomer zorgt dit er voor dat er niet altijd een even goede nachtkoeling kan plaatsvinden, wanneer er ongewenste bijwerkingen optreden in het grensgebied rond de temperatuursetpoint. Wanneer de luchttemperatuur namelijk onder deze setpoint komt, begint de installatie al warmte terug te winnen, terwijl de operationele temperatuur nog boven deze setpoint ligt. Deze ongewenste bijwerkingen komen niet overheersend voor, maar verklaren wel waarom de temperatuuroverschrijdingen juist weer frequenter zijn dan wanneer er geen WTW wordt toegepast.

## C2.7 Warmtelasten en -duren in de zomer.

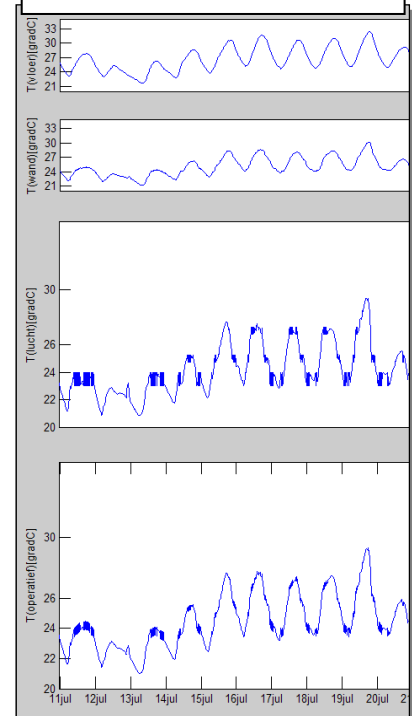
Het spreekt voor zich dat hogere en meer frequente interne warmtelasten meer warmte en hogere temperaturen veroorzaken, dus ook in de zomer.

De installaties moeten dus vaker gaan koelen, wat ook te zien is aan het twee keer zo hoge energieverbruik in grafieken 4.2.2, 4.2.4 en 4.2.6. Daarnaast slagen de installaties er goed in om in de koeling te voorzien, want het aantal uren temperatuuroverschrijding is ongeveer hetzelfde of zelfs iets lager dan bij de lage warmtelast.

Dit kan worden verklaard doordat het aantal keren dat de koelinstallaties moet inschakelen minder is. De koelinstallatie staat nu de hele dag aan, ingesteld op een lagere setpoint. Zodoende kan zij bij het geringste temperatuurverschil op de dag al inschakelen. Ook hoeft er niet te worden gewacht met koelen tot 's avonds als er weer mensen zijn, waardoor er niet meer ineens een behoorlijke hoeveelheid warmte moet worden (weg) gekoeld. Het maakt dus veel minder uit of de systemen traag zijn en zodoende reageert de vloerkoeling ook veel beter.



**Figuur 40** Temperaturen bij toepassing van luchtkoeling, laag.



**Figuur 41** Temperaturen bij toepassing van luchtkoeling, hoog.

### C2.8 Verschillende klimaatjaren in de zomer.

Er kan duidelijk een verschil in invloed bij de verschillende klimaatjaren worden vastgesteld.

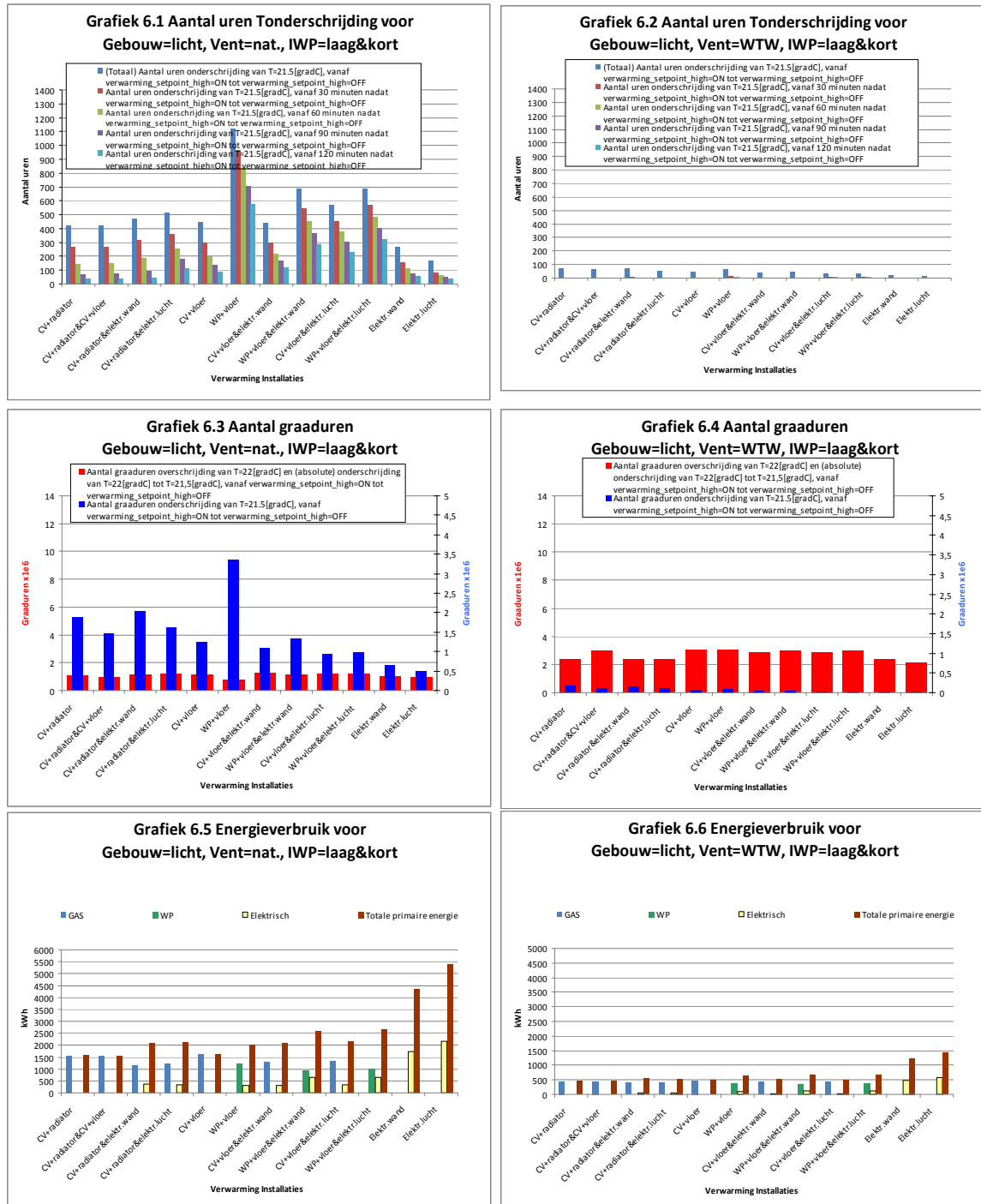
Daarnaast maken de oriëntaties in dit model niet uit, maar dat komt waarschijnlijk omdat de opwarming van de kamer door verwarming van het glas niet goed in het model is geïmplementeerd.

Duidelijk is zichtbaar dat het jaar '76 hogere piekbelastingen kent, doordat het totale aantal uren dat de 30 graden overschreden wordt het hoogst is, terwijl de het aantal uren dat de 25 graden overschreden wordt lager is. Dit aantal uren is namelijk hoger bij het jaar 95, dat ook daadwerkelijk langere aangesloten warme periodes had boven de 25 graden, maar ook weer niet heel tropisch.

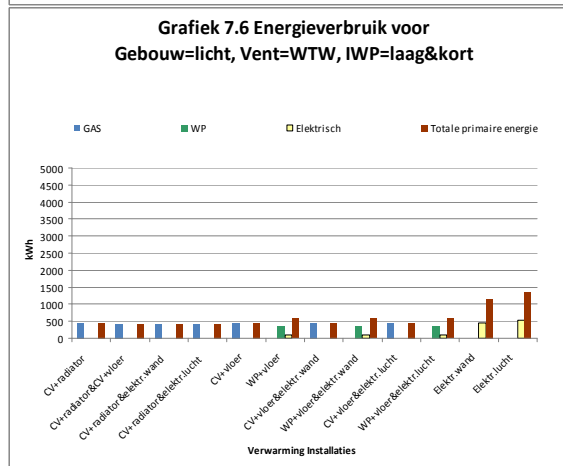
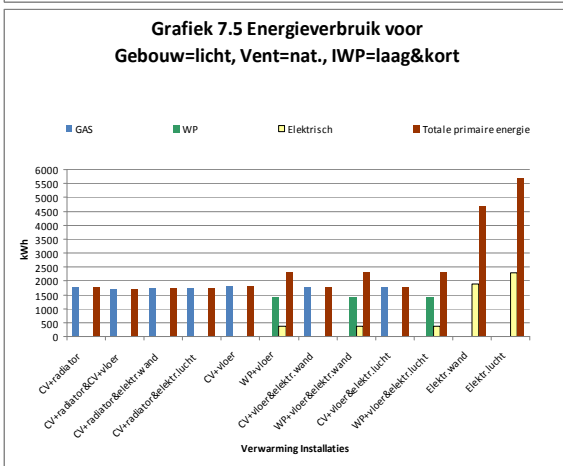
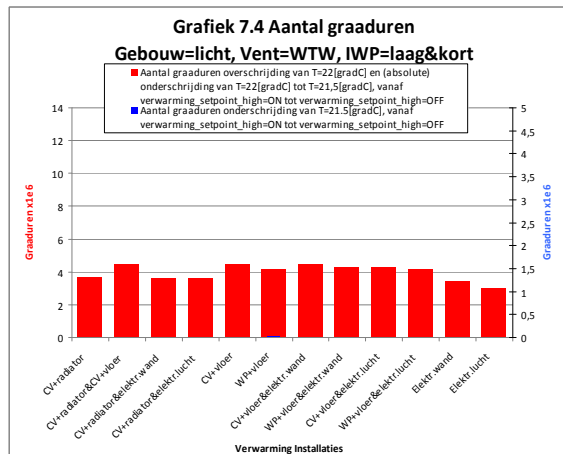
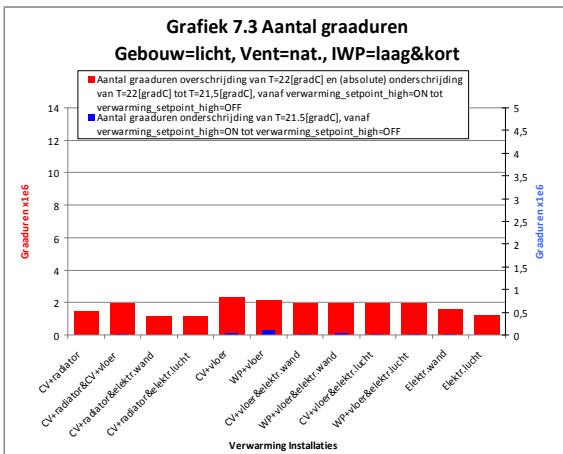
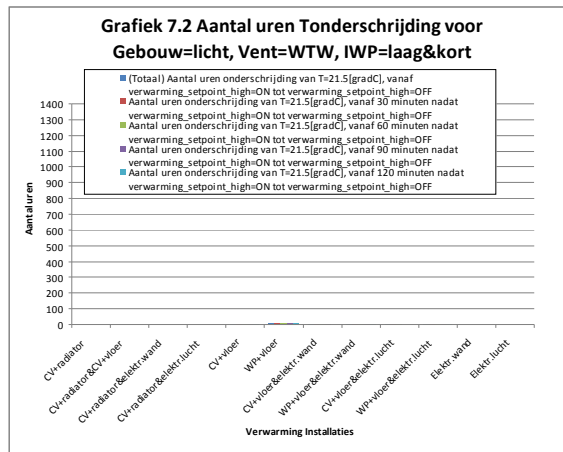
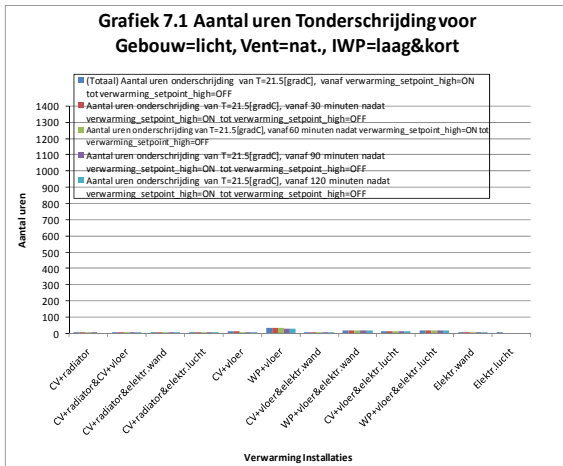
Hieruit kan worden vastgesteld dat warme maar niet extreem hete zomers, ook meer uren temperatuuroverschrijding hebben, met minder hoge piekbelasting. De zomers met veel pieken hebben ook daadwerkelijk tot gevolg dat in de kamer meer extreme temperatuurpieken voorkomen, terwijl het totaal aantal uren wel minder is.

De precieze navolging van het buitenklimaat kan worden verklaard door de sterke invloed van de zomerventilatie in dit model.

### C3 De resultaten van de 2<sup>e</sup> simulaties.

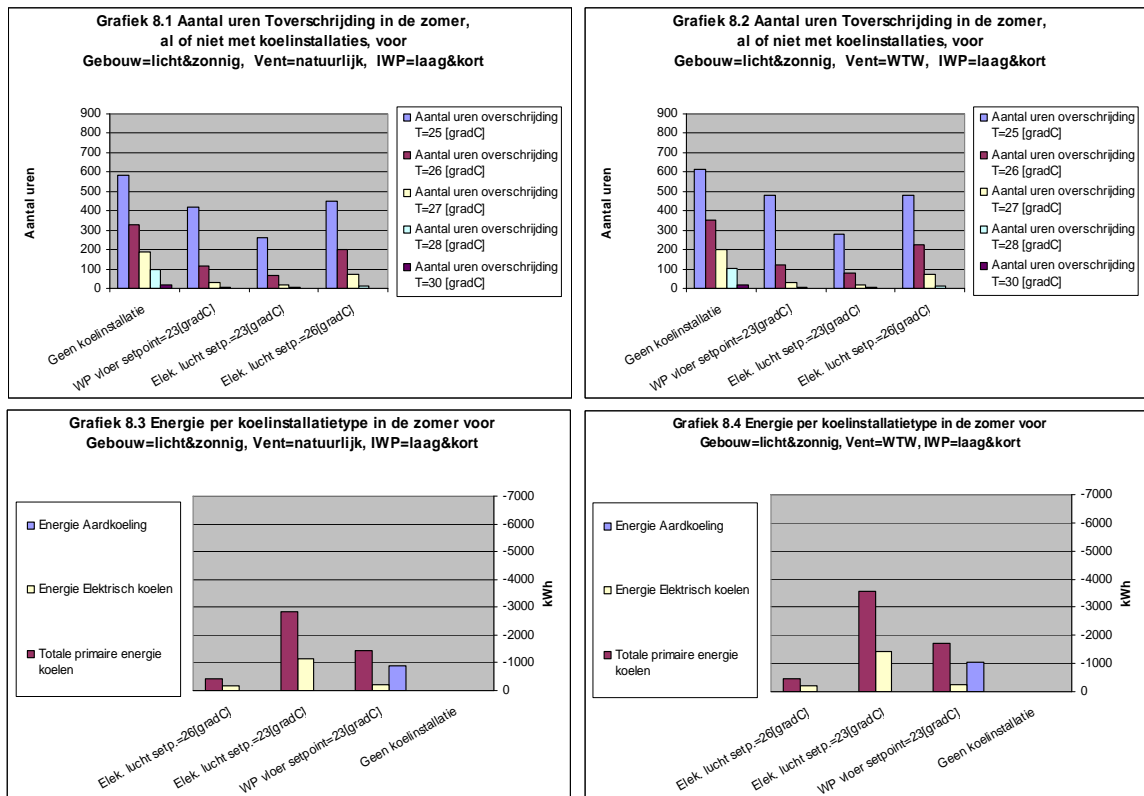


Figuur 42, grafiek 6.1 t/m 6.6. Aantal uren en graad uren overschrijding, aantal graaduren wisselende temperaturen en het energieverbruik van de installaties in de winter, bij een regeling op basis van de operationele temperatuur en het verhogen van de setpoints van de additionele installaties.



Figuur 43, grafiek 7.1 t/m 7.6. Aantal uren en graad uren overschrijding, aantal graaduren wisselende temperaturen en het energieverbruik van de installaties in de winter. Nu met een regeling op basis van de operationele temperatuur, het verhogen van de setpoints van de additionele installaties en een continue inschakeling van de installaties dus zonder nachtverlaging en verlaging bij afwezigheid.

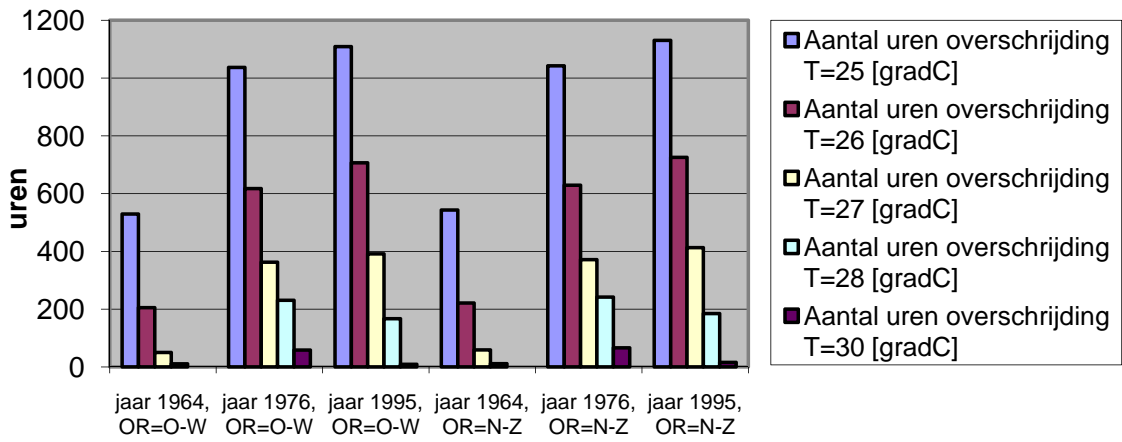




Figuur 44, grafiek 8.1 t/m 8.4. Aantal uren overschrijding en het energieverbruik van de installaties in de zomer, bij een regeling op basis van de operationele temperatuur.

Nota bene: In deze figuur is bij WP een fout gemaakt. Aan de aarde afgegeven warmte is bij de totale primaire energie opgeteld.

**Grafiek 9.1 Aantal uren Toverschrijding in de zomer voor verschillende klimaatjaren**



Figuur 45, grafiek 9.1. Aantal uren overschrijding in de zomer voor verschillende klimaatjaren, nu voor het zware gebouw.

## **C4 De verwerking van de 2<sup>e</sup> simulaties.**

### **C4.1 Verbeterde verwarmings simulaties, nu met beter vergelijkbare omstandigheden.**

Het verschil van deze 2<sup>e</sup> simulaties zit vooral in de setpoint van de additionele installaties en de regeling op basis van de operationele temperatuur.

#### ***Wisselende temperaturen***

Door de regeling op basis van de operationele temperatuur, presteren alle installaties beter op het gebied van wisselende temperaturen. Vooral de trage vloerverwarmingssystemen reageren nu veel beter en zijn meer vergelijkbaar met die van de andere installatiesystemen.

De lichte en snelle installaties, zoals wand- en luchtverwarming scoren nog wel het best, en bij combinaties moet opgemerkt worden dat de trage installaties maatgevend zijn voor het optreden van wisselende temperaturen.

#### ***Energie***

Het energieverbruik is nu ook meer vergelijkbaar, aangezien de wisselende temperaturen ook meer in de buurt zitten en de gemiddelde temperatuur over het algemeen ook meer gelijk is in grafiek 6.1.3. Hier geldt immers dat bij gelijke temperaturen dezelfde hoeveelheid ingaande energie wordt vereist, omdat de uitgaande energie ook gelijk is voor alle beproefde situaties en de energiebalans altijd in evenwicht moet zijn. Door de geringere wisselende temperaturen valt het energieverbruik bij alle installaties over het algemeen ook wat lichter uit.

Bij luchtverwarming wordt er nu wel meer energie verbruikt, omdat het energieverbruik bij de 1<sup>e</sup> simulatie niet representatief was. De luchtverwarming blijkt het hoogste energieverbruik te hebben. Dit is verklaarbaar uit het feit dat deze warmte het snelst vervliegt uit de kamer door ventilatie. Bij de andere verwarmingsvormen, blijft de warmte immers achter in de massa en blijft ze (mede door stralingsoverdracht) veel langer behouden.

Het energieverbruik bij de combinaties van installaties is interpoleerbaar uit het gedrag van de beide installaties wanneer deze afzonderlijk worden gebruikt.

#### ***Opwarmingssnelheid.***

De score van de opwarmingssnelheid bij het toepassen van een regeling op basis van de operationele temperatuur, geeft de meest verschillende resultaten. Zo blijkt de luchtverwarming nu dus het snelst te verwarmen en ook de andere snelle installaties blijken sneller te verwarmen. In tegenstelling tot de trage installaties die nu nog trager worden. Dit is logisch verklaarbaar uit het feit dat de afwezigheid van hoge wisselende temperaturen er nu ook voor zorgt dat er minder energie wordt gebufferd in de kamer. Ook bij trage installaties, wordt de kamer nu veel vaker te koud, eer er weer verwarmd wordt en dit heeft dan een trage opwarming tot gevolg.

### **C4.2 Verwarmings simulaties aangevuld met een incontinue verwarmingspatroon.**

Bij deze simulaties zijn de verbeterde verwarmingssimulaties aangevuld met een andere gebruikerspatroon van de verwarminginstallaties. Deze worden namelijk continue aangelaten, op het moment dat de temperatuur onder de setpoint is.

#### ***Wisselende temperaturen***

De wisselende temperaturen worden iets hoger als gevolg van de langere duur waarover dit gemeten wordt doordat de opwarmingssnelheid nu niet meer wordt afgetrokken van deze duur. Waar bij de 1<sup>e</sup> reeks van simulaties nog een verschil in opwarmingssnelheid zat en de duur van de wisselende temperaturen dus ook verschillend was, is deze duur nu in de 2<sup>e</sup> reeks overall gelijk. De wisselende temperaturen zijn in deze 2<sup>e</sup> reeks dus veel meer representatief om te zien hoe goed en precies een bepaalde installatie een bepaalde temperatuur kan regelen.

De massieve systemen blijken hogere wisselende temperaturen te hebben en de radiatoren en luchtverwarming weer minder. De combinatie van installaties zijn hier echter niet echt representatief, omdat de setpoint van de additionele installatie nog steeds lager staat afgesteld om elektrisch energieverbruik zoveel mogelijk te voorkomen. Het op peil houden van de setpoint geschiedt hier dus met een lager vermogen en de radiator blijkt hierdoor beter te scoren, waarschijnlijk doordat zij minder overshoot heeft. De vloerverwarming echter moet langer actief zijn, eer de temperatuur wordt bereikt en zodoende is de overshoot juist groter.

Interessant is het om op te merken dat bij de combinatie van installaties de temperatuur toch goed op peil wordt gehouden, ondanks het lagere vermogen van de primaire installatie.

### ***Energieverbruik***

Deze simulaties zijn voornamelijk gemaakt om te zien, hoe het energieverbruik is ten opzichte van de eerdere simulaties, waarbij de installaties een incontinue tijdsschema volgen. Over het algemeen kan worden gesteld dat het energieverbruik zo'n 10 tot 15% hoger is dan bij het volgen van het incontinue tijdsschema en bij natuurlijke ventilatie. Bij het toepassen van WTW is het energieverbruik nog nauwelijks hoger.

Dit geldt overigens niet voor de combinatie van installaties. Door de verlaagde setpoint bij de additionele installaties, komen deze hier namelijk niet of nauwelijks in werking en is de verhouding in het energieverbruik tussen de installaties dus ook anders.

### ***Opwarmingsnelheid***

Het spreekt verder voor zich dat de opwarming niet meer van toepassing is, omdat er ook geen afkoeling meer plaats vindt.

## **C4.3 Verbeterde koelings simulaties.**

Bij deze simulaties zijn de installaties geregeld op basis van de operationele temperatuur en ook de WTW is geregeld op basis van de operationele temperatuur, zodat deze niet voortijdig warmte begint terug te winnen als de kamer nog niet is afgekoeld. De resultaten zijn te vinden in grafieken 8.1 t/m 8.4

### ***Temperatuuroverschrijdingen***

Vergelijking van de grafieken 4.1.1 en 8.1 toont aan dat de temperatuuroverschrijdingen aanzienlijk worden verminderd bij een regeling op operationele temperatuur. Dit valt te verklaren doordat de meeste 'overtollige' warmte toch vooral via straling wordt binnengebracht in het vertrek en aan het vertrek wordt afgegeven. Te denken valt bijvoorbeeld aan zonnestraling. Door de regeling op basis van de operationele temperatuur kan de installatie eerder gaan koelen.

In de grafieken 4.1.5 en 8.2 is te zien dat de regeling van WTW op basis van de operationele temperatuur ook minder temperatuuroverschrijding oplevert. Dit zoals verwacht, omdat de nachtkoeling nu beter kan plaatsvinden, zoals ook is beschreven in paragraaf 2.4.6 van deze bijlage.

### ***Energieverbruik***

Vergelijking van de grafieken 4.2.1 en 8.3 levert op dat het energieverbruik enigszins is toegenomen bij een regeling op basis van de operationele temperatuur. Dit is logisch omdat de installatie nu eerder inschakelt en langer aanstaat.

In de grafieken 4.2.5 en 8.4 is te zien dat het energieverbruik van installaties in combinatie met WTW, beide geregeld op basis van de operationele temperatuur, nu een veel lager energieverbruik heeft, voornamelijk omdat de WTW nu veel beter werkt.

## **C4.4 Aanvullende klimaatsimulaties.**

Bij deze simulaties zijn dezelfde simulaties uitgevoerd als in de eerste reeks, maar nu in het zware gebouw.

De grafieken 5.1 en 9.1 laten duidelijk zien, dat in het zware gebouw normaal gesproken minder temperatuuroverschrijding is in het jaar 1964. Echter in de jaren '76 en '95 wordt de 25 graden nog evenveel overschreden en zorgt de massa er enkel voor dat hogere temperaturen minder vaak overschreden worden. In deze gevallen verzorgt de massa een soort van topkoeling.

Kennelijk is de temperatuur over langere tijd zo hoog dat de massa 's nachts niet genoeg afkoelt, om te zorgen dat overdag deze 25 graden niet wordt overschreden.

## Bijlage D BRONVERMELDING

1. Noortje Alders, S.K., Hans Cauberg, *Comfort Delivery on demand: an adaptive approach on comfort systems in dwellings*. 2009.
2. NRC, *Je ouders in huis als traditie. Turkse en Marokkaanse (schoon)dochters gebukt onder zorgplicht.*, in NRC. 2009.
3. ISSO. *Het gebruiken van klimaatfiles voor simulatieberekeningen*. 2010 [cited; Available from:  
[http://www.isso.nl/fileadmin/user\\_upload/Tijdelijke\\_referentiejaar/Het\\_gebruik\\_van\\_klimaatfiles\\_voor\\_simulatieberekeningen.pdf](http://www.isso.nl/fileadmin/user_upload/Tijdelijke_referentiejaar/Het_gebruik_van_klimaatfiles_voor_simulatieberekeningen.pdf)
4. KNMI, *Zomergegevens*. 2010.
5. Danfoss, *The Heating Book*
6. Handleidingen, *Handleidingen, technische documenten en folders met productinformatie die van belang is voor de modelering*.  
*Installatie- en servicehandleiding Remeha Avanta*  
*Thermia warmtepomp EKO Classic installatiehandleiding*  
*Gebruikershandleiding Climate-Plus-Aetra van Zen Renewables*  
*Klushulp Radiatoren van Plieger*  
*Technisch document 2009 van Brugman Radiatoren*. 2009.
7. Commtech, *Achieving the desired indoor climate, the commtech group*, 2003. 2003.
8. Cool, S.e.V., *Regeltechniek*. 1969.
9. Bruggema, H., *Betonkernactivering, klimaatplafonds, wand- en vloerverwarming.*, in *TVVL-magazine*. 2007.
10. Ondersteuning, *Telefonische en mondelinge begeleiding over de werking en de regelalgoritmes van installaties en regelapparatuur*:  
*John van der Vliet, JFE, Gouda*  
*Adrian Wynn, van Danfoss Randall England*  
*Bert van Zeumeren, van Remeha Sales Support*  
*Emile Bruere, van Honeywell Infolijn Amsterdam*  
*Robbert Doornebos, van Redenko B.V. Breda*  
*Willem Neeleman, Activewarmth, Bergschenhoek*. 2009.
11. Lijst van bronnen over werking van thermisch-comfort installaties:

- 11.1 Aa, A.v.d., *Integrating environmentally responsive elements in buildings*, in *Bouwfysica*. 2008.
- 11.2 Absorptiekoeling. *Beschrijving van absorptiekoeling*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: [http://www.senternovem.nl/mmfiles2MJAF0735%20-%20Factsheet%20absorptiekoeling%20-%20aug%2007\\_tcm24-242101.pdf](http://www.senternovem.nl/mmfiles2MJAF0735%20-%20Factsheet%20absorptiekoeling%20-%20aug%2007_tcm24-242101.pdf)
- 11.3 <http://nl.wikipedia.org/wiki/Absorptiekoeling>
- 11.4 Activewarmth. *Elektrische wandverwarming*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.activewarmth.nl/>.
- 11.5 Airconditioning. *Airconditioning*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Airconditioning>
- 11.6 Airconditioning. *De werking van een airco*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.airco-dealers.nl/werking-airco.html>.
- 11.7 Airconditioning. *De werking van de airconditioning*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.mitsubishi-airco.nl/index.php?pageID=1610&n=257>
- 11.8 BCIA, *Controls for end users, a guide for good design and implementation*. By Building Controls Industry Association. 2007.
- 11.9 Bruggema, H., *Betonkernactivering, klimaatplafonds, wand- en vloerverwarming.*, in *TVVL-magazine*. 2007.
- 11.10 Climarad. *Climarad*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.climarad.nl>
- 11.11 Cursor, *Help, de koelmachine bevriest!*, in *Cursor*. 2007.
- 11.12 CV-ketel. *De werking van de CV-ketel*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://nl.wikipedia.org/wiki/CV-ketel>
- 11.13 [http://nl.wikipedia.org/wiki/Centrale\\_verwarming](http://nl.wikipedia.org/wiki/Centrale_verwarming)
- 11.14 CV-rendementen. *Rendement van een hoogrendementsketel*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Hoogrendementsketel>.
- 11.15 Diktaat, *Diktaat Klimaatinstallaties*. 2008.
- 11.16 Fancoils. *Fancoils*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.archiexpo.com/architecture-design-manufacturer/fan-coil-1134.html>
- 11.17 Gaskachels. *Voorbeeld van een gaskachel*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.hugodecuypere.be/productimages/gaskachel4.jpg>
- 11.18 Handleidingen, *Handleidingen, technische documenten en folders met productinformatie die van belang is voor de modelering*. *Installatie- en servicehandleiding Remeha Avanta*
- 11.19 *Thermia warmtepomp EKO Classic installatiehandleiding*
- 11.20 *Gebbruikershandleiding Climate-Plus-Aetra van Zen Renewables*
- 11.21 *Klushulp Radiatoren van Plieger*
- 11.22 *Technisch document 2009 van Brugman Radiatoren*. 2009.
- 11.23 Hasselaar, B. *De Klimaat Adaptieve Gevel*. in *IBPSA-NVL*. 2008.
- 11.24 HRe-ketel. *De werking van de HRe-ketel*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.remeha.nl/hre/index.php?id=215>
- 11.25 HR-ketel. *De werking van de HR-ketel*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Hr-ketel>
- 11.26 Inverterairco. *Werkking van de inverterairco*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.antartico.be/inverter.html>
- 11.27 Kachelrendementen. *Rendementen van haarden en kachels*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.hugodecuypere.be/productimages/gaskachel4.jpg>
- 11.28 kachels, H.e. *Voorbeelden van open haarden en hout-, olie-, en kolenkachels*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.hugodecuypere.be/productimages/kolenkachels5.jpg>  
<http://www.hugodecuypere.be/productimages/oliekachels1.jpg>  
<http://mediaprovider.kennisnet.nl/MediaProvider/img/13100672.jpg>  
<http://www.zonnepanelennet.be/images/houtkachel.jpg>.

- 11.29 kachels, H.e. *Algemene informatie over open haarden en kachels*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Kachel>  
[http://nl.wikipedia.org/wiki/Open haard](http://nl.wikipedia.org/wiki/Open_haard)
- 11.30 Klimaatplafond. *Klimaatplafond* 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.klimaatplafond.nl/>
- 11.31 Koeltoren. *Schema van een koeltoren*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: [http://images.google.nl/imgres?imgurl=http://web.bk.tudelft.nl/bt/installaties/onderwijs/installatietekeningen/koeltoren%2520principe.jpg&imgrefurl=http://web.bk.tudelft.nl/bt/installaties/onderwijs/installatietekeningen/bk\\_inst\\_tek\\_tekst.htm&usq=ORnmXRhL2YmAHAWy1MKwDrMIHJc=&h=59/0&w=800&sz=568&hl=nl&start=10&um=1&tbid=6z6D2jK-](http://images.google.nl/imgres?imgurl=http://web.bk.tudelft.nl/bt/installaties/onderwijs/installatietekeningen/koeltoren%2520principe.jpg&imgrefurl=http://web.bk.tudelft.nl/bt/installaties/onderwijs/installatietekeningen/bk_inst_tek_tekst.htm&usq=ORnmXRhL2YmAHAWy1MKwDrMIHJc=&h=59/0&w=800&sz=568&hl=nl&start=10&um=1&tbid=6z6D2jK-)
- 11.32 Koeltoren. *De werking van de koeltoren*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.flier.nl/airco.html>  
<http://www.energietech.info/koelmachine/theorie/koeltoren.htm>
- 11.33 Linden, A.C.v.d., *Bouwfysica*. 2006.
- 11.34 Matverwarming. *Elektrische matverwarming*. 2010 [cited Augustus 2009]; Available from: <http://www.bouwproducten.nl>
- 11.35 Mobilairco. *Mobiele Airco*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.aircokeuze.nl/images/mobiele-airco.png>
- 11.36 PCM. *De werking en toepassing van PCM*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: [http://www.hli.nl/NB1\\_PCM%20materiaal.htm](http://www.hli.nl/NB1_PCM%20materiaal.htm)
- 11.37 PCM. *Phase Change Material*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.toolbase.org/Technology-Inventory/HVAC/phase-change-materials>
- 11.38 Raam, A. *Ademend raam* 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.breathingwindow.org/>
- 11.39 Radiator. *Radiator*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Radiator>
- 11.40 ramen, T.o. *Voorbeeld van automatisch te openen raam*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.tuinadvies.be/shop/product.php?id=353>
- 11.41 Splitunit. *Splitunit airco*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: [www.aircoshop.nl/extra/Split-unit airco.jpg](http://www.aircoshop.nl/extra/Split-unit_airco.jpg)
- 11.42 Stadsverwarming. *Beschrijving van Stadsverwarming*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Stadsverwarming>
- 11.43 Stirlingmotor. *De werking van de Stirlingmotor*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Stirlingmotor>  
<http://www.globalcooling.com/howitworks.html>  
[http://www.stirlingcooler.com/e/home\\_en.html](http://www.stirlingcooler.com/e/home_en.html)
- 11.44 Straalkachel. *Elektrische Straalkachel*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: [http://www.zonnepanelen.wouterlood.com/solar\\_images/straalkachel.gif](http://www.zonnepanelen.wouterlood.com/solar_images/straalkachel.gif)
- 11.45 Ventilatie. *Ventilatie* 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Ventilatie>  
<http://www.martinglas.nl/martin/images/stories/martin/ventilatioerooster.jpg>  
<http://www.livios.be/images/web500/vl/6173.jpg>
- 11.46 Ventilator. *Beschrijving van ventilatoren*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Ventilator>  
[http://www.lumiflex.nl/img/project/2\\_centrifugaal\\_ventilator\\_4\\_groot.jpg](http://www.lumiflex.nl/img/project/2_centrifugaal_ventilator_4_groot.jpg)
- 11.47 Ventilator. *Elektrische ventilator*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.tuinadvies.be/shop/data/1222417552a.jpg>
- 11.48 Vloerverwarming. *Beschrijving van vloerverwarming*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Vloerverwarming>
- 11.49 Vraagsturing. *Vraagsturing*. 2010 [cited; Available from: <http://www.alusta.com/productdetail.asp?pageID=107&productID=45765>



- 11.50 Warmtewisselaars. *Warmtewisselaars*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.senternovem.nl/epn/maatregelen/verwarming/warmteterugwinning.asp>  
<http://www.fiwihex.nl>  
<http://www.installatietechnicus.nl>
- 11.51 WKK-koppeling. *Algemene informatie over Warmtekracht-koppeling*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.senternovem.nl/epn/maatregelen/verwarming/warmtekrachtinstallatie.asp>
- 11.52 WP. *De werking van de warmtepomp*. 2010 [cited Januari 2010]; Available from: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Warmtepomp>
- 11.53 WP-koeling. *Principe van WP-koeling*. 2009 [cited Augustus 2009]; Available from: [http://web.bk.tudelft.nl/.../bk\\_inst\\_tek\\_tekst.htm](http://web.bk.tudelft.nl/.../bk_inst_tek_tekst.htm)
- 11.54 Zonneschoorsteen. *Zonneschoorsteen*. 2009 [cited Januari 2010]; Available from: <http://www.energiegids.nl/details.tiles?doc=/content/energie/nieuws/2009/12/21/EO---zanneschoorsteen.xml>  
<http://www.nieuwbouw.roc-on.nl/.../zanneschoorsteen.gif>