

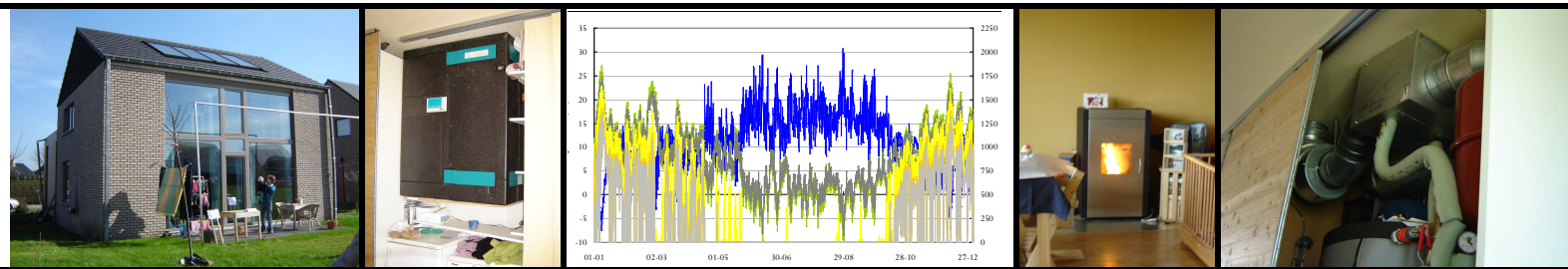
Universiteit Gent
Faculteit Ingenieurswetenschappen
Vakgroep Architectuur & Stedenbouw
Voorzitter: prof. dr. Bart Verschaffel

Academiejaar 2006-2007

Scriptie ingediend tot het behalen van de academische graad Burgerlijk Ingenieur-Architect

Dimensionering en simulatie van het ventilatiesysteem van een passiefhuis

Gertie De Pourcq



Promotor:

prof. dr. ir.-arch. Arnold Janssens

Begeleiders:

ir.-arch. Marijke Steeman

ir.-arch. Lieven Willems

Universiteit Gent
Faculteit Ingenieurswetenschappen
Vakgroep Architectuur & Stedenbouw
Voorzitter: prof. dr. Bart Verschaffel

Academiejaar 2006-2007

Scriptie ingediend tot het behalen van de academische graad Burgerlijk Ingenieur-Architect

Dimensionering en simulatie van het ventilatiesysteem van een passiefhuis

Gertie De Pourcq

Promotor:

prof. dr. ir.-arch. Arnold Janssens

Begeleiders:

ir.-arch. Marijke Steeman

ir.-arch. Lieven Willems

Voorwoord

Vanuit mijn interesse voor de energieproblematiek bezocht ik in oktober 2005 het passiefhuis te Zeveren (Deinze). Hoewel het om een extreme architectuurvorm gaat, spraken de filosofie en de technische hoogstand mij onmiddellijk aan. Geboeid door het onderwerp, bezocht ik tijdens de volgende openhuizedagen van de Bond Beter Leefmilieu nog enkele lage-energiewoningen/-kantoren en passiefhuizen.

Met deze eindwerkscriptie kreeg ik de kans mijn interesse voor energie-efficiëntie en hernieuwbare energie in te zetten bij het behalen van de academische graad Burgerlijk Ingenieur-Architect.

Dankwoord

In de eerste plaats wil ik prof. Arnold Janssens bedanken die het mogelijk maakte een thesis over dit onderwerp te schrijven alsook voor de technische ondersteuning.

Maar ook tijdens het onderzoek en het opstellen van dit werk kreeg ik hulp van verscheidene mensen. Hiervoor zou ik hen allen willen bedanken en in het bijzonder:

- Marijke Steeman en Lieven Willems maakten steeds tijd voor mij vrij indien ik problemen ondervond. Ze stonden mij bij met professionele begeleiding.
- Het gezin De Clippele - Blomme was zo vrij me in hun woning te ontvangen en mij een rondleiding te geven. Ook bij latere vragen bezorgden zij mij steeds spoedig een antwoord.
- Architect Christophe Debrabander stuurde via e-mail de digitale versie van het PHPP-bestand dat werd opgesteld ter berekening en certificatie van het Passiefhuis Blomme - De Clippele.
- Bij Denc!-studio kreeg ik in augustus reeds de kans uitgebreid met de passiefhuis filosofie en het ventilatie- en verwarmingssysteem van passiefhuizen kennis te maken.
- Wouter staat mij sinds de laatste 6 jaar steeds bij in alles wat ik doe. Ik wil hem niet alleen bedanken voor de hulp en het nalezen van dit werk, maar voor ALLES want dat is wat hij voor mij betekent.
- En -last but not least- wil ik mijn ouders bedanken voor de opvoeding en de kansen die ze mij in de afgelopen 24 jaar hebben gegeven.

Toelating tot bruikleen

De auteur geeft de toelating deze scriptie voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de scriptie te kopiëren voor persoonlijk gebruik.

Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukking te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze scriptie.

4 juni 2007

Gertie De Pourcq

Abstract

Dimensionering en simulatie van het ventilatiesysteem van een passiefhuis

Gertie De Pourcq

Universiteit Gent
Faculteit Ingenieurswetenschappen
Vakgroep Architectuur & Stedenbouw
Voorzitter: prof. dr. Bart Verschaffel

Academiejaar 2006-2007

Scriptie ingediend tot het behalen van de academische graad
Burgerlijk Ingenieur-Architect (optie Bouwtechnieken)

Promotor:

prof. dr. ir.-arch. Arnold Janssens

Begeleiders:

ir.-arch. Marijke Steenman
ir.-arch. Lieven Willems

In passiefhuizen is de actieve verwarmingsbehoefte minimaal. Hierdoor is de plaatsing van een conventioneel verwarmingssysteem overbodig en wordt het mogelijk het mechanische ventilatiesysteem in te zetten om de woning te verwarmen. Een degelijke kennis van de berekening van de warmtevraag en de dimensionering van het ventilatiesysteem is een absolute vereiste om een kwalitatief binnenklimaat te waarborgen. De manier waarop het ventilatiesysteem moet gedimensioneerd worden om een optimaal thermisch comfort te bieden, is echter onduidelijk.

In de Europese en Belgische normering voor de berekening van de ontwerpwarmtebelasting wordt een extreem koude dag aangenomen als ontwerpklimaat. Dankzij de toegepaste passieve strategieën zal in een passiefhuis de verwarmingsbehoefte misschien niet het grootst zijn op een koude, doorgaans zonnige dag, maar op een iets zachtere, bewolkte dag.

Het is ook van belang na te gaan of de luchtdebieten die aan de hand van hygiënische eisen bepaald worden, aan de warmtevraag voldoen. In deze thesis wordt nagegaan of er een goede warmteverdeling wordt behaald indien het principe van toevoer in droge ruimtes en afvoer in natte ruimtes gehanteerd wordt.

In hoofdstuk 5 komt deze paper even los van de warmtevraag en het verbruik door de studie van het zomercomfort.

Tenslotte worden de resultaten uit de verscheidene hoofdstukken benut om het verwarmingssysteem te optimaliseren door middel van kleine installatie-technische ingrepen.

Trefwoorden: dimensionering, simulatie, ventilatiesysteem, passiefhuis, verwarming

Inhoudstabel

Voorwoord	
Dankwoord	
Toelating tot bruikleen	
Abstract	
Inhoudstabel	
Afkortingen	

1.	Inleiding	2
1.1.	Passiefhuis	3
1.2.	Ventilatie	5
1.3.	Het passiefhuis Blomme - De Clippele te Ename	6
1.3.1.	De woning	6
1.3.2.	Ventilatiesysteem en warmteopwekking	7
2.	Stationaire berekeningen.....	11
2.1.	Warmtevraag aan de hand van EN 12831	11
2.1.1.	Algemeen	11
2.1.2.	Passiefhuis Blomme - De Clippele te Ename.....	16
2.2.	Warmtevraag met behulp van PHPP.....	25
2.2.1.	Algemeen	25
2.2.2.	Principes	25
2.3.	Ventilatie debieten.....	27
2.3.1.	Nominale debieten	27
2.3.2.	Luchtverwarming.....	27
2.3.3.	Luchtverdeling.....	28
2.4.	Besluit	29
3.	Simulaties warmtevraag en -recuperatie	31
3.1.	Algemene opmerkingen.....	31
3.1.1.	Het gebouwmodel.....	31
3.1.2.	De simulatiestudio	32
3.2.	Warmtevraag	33
3.2.1.	Parameters van EN 12831	33
3.2.2.	Invloed grondbuis	37
3.2.3.	Invloed zonnewinsten.....	38
3.2.4.	Invloed interne warmtewinsten.....	41
3.2.5.	Parameters van PHPP.....	41
3.2.6.	Besluit:	43
3.3.	Warmterecuperatie	44
3.3.1.	Algemene opmerkingen	44
3.3.2.	Warmterecuperatie volgens PHPP	46
3.3.3.	Werkelijke warmterecuperatie.....	48
3.3.4.	Besluit	50
4.	Temperatuursverloop winterperiode.....	53
4.1.	Algemene opmerkingen.....	53
4.2.	Temperatuursverloop doorheen de installatie	55
4.2.1.	Nominaal ventilatiedebiet.....	55
4.2.2.	Variabel debiet	56
4.3.	Temperatuursverloop per zone	57

4.3.1.	Zonder verwarmingsbatterij.....	57
4.3.2.	Met verwarmingsbatterij en nominaal ventilatiedebiet.....	58
4.3.3.	Variabel debiet.....	61
4.3.4.	Invloed pelletkachel.....	62
4.3.5.	Vergelijking met meetresultaten.....	62
4.4.	Besluit.....	64
5.	Temperatuursverloop zomerperiode.....	66
5.1.	Algemene opmerkingen.....	66
5.2.	Zonder voorzorgsmaatregelen tegen oververhitting.....	67
5.2.1.	Doorheen de installatie.....	67
5.2.2.	Temperaturen van de ruimtes.....	68
5.3.	Invloed bypass warmtewisselaar.....	69
5.3.1.	Nominale debieten.....	69
5.3.2.	Variabel debiet.....	70
5.3.3.	Nachtkoeling.....	71
5.4.	Invloed zonneluifel.....	72
5.5.	Besluit.....	73
6.	Optimalisatie ventilatiesysteem.....	75
6.1.	Grondbuis bypassen.....	75
6.1.1.	Algemene opmerkingen.....	75
6.1.2.	Simulatie van de warmtevraag.....	76
6.2.	Enkel in leefruimte actief verwarmen.....	79
6.3.	Besluit.....	81
7.	Algemeen besluit.....	83

Bijlage 1: Plannen en snedes

Bijlage 2: PassiefHuis ProjektPakket

Bibliografie

Grafieken en tabellen

Symbolenlijst

Symbool	Naam	Eenheid
θ	Temperatuur	$^{\circ}\text{C}$
Φ	Warmteverlies, vermogen	W
H	Warmteverliescoëfficiënt	W/K
Σ	Som	-
A	Oppervlakte	m^2
U	Warmtedoorgangscoefficiënt	W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
e_k	Correctiefactor m.b.t. blootstelling	-
b_u	Warmtereductiefactor	-
f_{g1}, f_{g2}	Correctiefactoren m.b.t. $\theta_{m,e}$	-
G_w	Correctiefactor m.b.t. grondwaterstand	-
f_{ij}	Temperatuurreductie m.b.t. $\Delta\theta_{\text{aangrenzende ruimtes}}$	-
$\dot{V}$	Debiet	m^3/h
V	Volume	m^3
ρ	Luchtdensiteit	kg/m^3
c_p	Specifieke thermische capaciteit van een materiaal	J/($\text{kg} \cdot \text{K}$)
n_{50}	Infiltratievoud bij een drukverschil van 50 Pa tussen binnen en buiten	h^{-1}
e_i	Afschermingsfactor	-
ϵ_i	Hoogtecorrectiefactor	-
λ	Warmtegeleidingscoëfficiënt	W/($\text{m} \cdot \text{K}$)
R	Warmteweerstand	($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)/W
Q	Warmtevraag, vermogen	W
Ψ	Lineaire warmtedoorgangscoefficiënt	W/($\text{m} \cdot \text{K}$)

Indices

e: buiten	m: jaarlijks gemiddelde	T: transmissie, totale
i,j: verwarmde ruimte	u: onverwarmde ruimte	g: grond
int: binnen	k: gebouwelement	equiv: equivalent
V: ventilatie		

Afkortingen

EPB	EnergiePrestatie en Binnenklimaat
PHI	PassiefHuis Instituut
PHP	PassiefHuis Platform
PHPP	PassiefHuis ProjektPakket
ppm	parts per million
ww	warmtewisselaar
WTW	WarmteTerugWinning

Hoofdstuk 1: Inleiding

1. Inleiding

Door de energiecrisis in de jaren '70 zagen de Westerse landen hun afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en de ontginnende landen in. Dit inzicht leidde, samen met de aanmoedigingen van de Club van Rome (zorg voor het milieu en uitputting van fossiele brandstoffen) tot belangstelling voor rationeel energiegebruik en alternatieve energie.

Vanaf het voorbije decennia stijgt ook de bezorgdheid omtrent de opwarming van de aarde. Volgens verscheidene wetenschappelijke centra is dit fenomeen te wijten aan de toenemende concentratie aan broeikasgassen in de atmosfeer. Deze gassen laten het zonlicht door, maar absorberen de warmte die de aarde terugstraalt.

Reeds in december 1997 leidde dit inzicht tot het meest vergaande milieuakkoord dat ooit op internationaal niveau werd ondertekend: het Kyoto-protocol. De vermindering van broeikasgassen in de atmosfeer wordt in dit verdrag prioritair behandeld: wereldwijd stelt tegen men 2008-2012 een daling van 5,2% voorop tegenover de gemeten referentiewaarden van 1990. Europa nam zich bij de ondertekening van het verdrag voor om de uitstoot van broeikasgassen met 8% terug te dringen. Een jaar later engageerde België zich in Europees verband tot een inspanning van 7,5%. Voor Vlaanderen is de streefwaarde 5,2%.

Van de zes broeikasgassen die zijn opgenomen in het Kyoto-protocol (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFK's, PFK's en SF_6) is in ons land CO_2 verantwoordelijk voor 83% van de totale uitstoot. Twee andere, distikstofoxide en methaan, zijn goed voor respectievelijk 8,8% en 7,2%. Het aandeel van de fluorgassen tenslotte is verwaarloosbaar klein. Om aan het Kyoto-protocol te voldoen zal België (en dus ook Vlaanderen) vooral inspanningen moeten leveren om de CO_2 -uitstoot in te perken.

Koolstofdioxide komt vooral vrij bij de verbranding van fossiele brandstoffen. De vier belangrijkste energieverbruikers in ons land zijn de industrie en de bouw (26%), de gezinnen en de bedrijven (22%), de elektriciteitsproductie (21%) en het verkeer (19%).

Naast onze industrie richt Vlaanderen zich ook tot het energieverbruik van de gezinnen. Ons gebouwenbestand scoort relatief minder goed dan de rest van Europa. Door een verouderd, slecht geïsoleerd woningenbestand gaat een groot deel van het energieverbruik naar verwarming. Heel wat energie kan nog bespaard worden door meer thermisch te isoleren, verwarmingsketels met hoger rendement te plaatsen, hoogrendementsglas te gebruiken en zonnepanelen nuttig aan te wenden.

De Vlaamse overheid wil deze problematiek aanpakken en heeft een wetgeving uitgevaardigd die ons moet behoeden tegen al te energieverwiltende en ongezonde gebouwen. Deze "EnergiePrestatie en Binnenklimaat-regelgeving" is een uitvoering van de Europese richtlijn betreffende de energieprestatie van gebouwen. De EPB-regelgeving is van toepassing voor alle nieuwbouw en vergunningsplichtige verbouwingen en heeft een tweedelige doelstelling. De thermische isolatie- en energieprestatie-eisen beperken het energieverbruik van gebouwen en hun installaties. De binnenklimaatseisen waarborgen een goede binnenluchtkwaliteit. Er wordt verwacht dat de toepassing van de nieuwe regelgeving het energieverbruik zal verminderen met 30% en het algemeen comfort in onze gebouwen zal bevorderen.

Het binnenklimaat wordt beoordeeld aan de hand van de kans op oververhitting en de binnenluchtkwaliteit. Oververhitting kan beperkt worden door een doordachte ontwerpkeuze van de hoeveelheid en de oriëntatie van de beglazing van een woning. In de zomer staat de zon in het zuiden hoog aan de hemel, in de winter veel lager. Dat verschil kan slim gebruikt worden (door bv. een oversteek) om de zon in de winter binnen te brengen en ze toch in de zomer buiten te houden. Let wel: bij een oostelijk of westelijk georiënteerd raam staat de zon altijd laag: deze ramen vragen dus een ander soort zonwering.

Aan de binnenluchtkwaliteit zijn specifieke eisen opgelegd die ontleend worden aan de norm NBN D 50-001. Deze norm werd reeds in 1991 opgesteld als richtlijn, maar werd pas met de invoering van de EPB verplicht.

1.1. Passiefhuis

De nieuwe generatie gebouwen zal moeten geconcipieerd worden in de gedachtegang van duurzaam bouwen. Dit wil zeggen met de nodige aandacht voor de huidige en toekomstige manier van wonen én met respect voor de draagkracht van het milieu. De volledige levenscyclus van het gebouw is hierbij van belang: opbouw, gebruik, renovatie en afbraak mogen slechts een minimale milieuverstoring veroorzaken. De bouwheer bouwt voor het leven en denkt nu reeds aan de voorwaarden waaraan zijn woning moet voldoen voor de volgende dertig, veertig of vijftig jaar. De architect houdt met deze eisen rekening en stelt een concept op met een doordachte visie. Het bouwproces eist een integrale aanpak: de activiteiten van alle actoren dienen kritisch bekeken te worden. Tijdens het gehele proces moet zowel het gebruik van milieu- en natuurbronnen (energie, grondstoffen, water, ruimte) als de productie van afvalstoffen geminimaliseerd worden. Onnodig verbruik van energie, water en bouwmaterialen moet worden afgeremd; het gebruik van duurzame stromen aangemoedigd en het gebruik van eindige bronnen geoptimaliseerd.

Een duurzame aanpak zoals hierboven geschetst resulteert veelal in lage-energiegebouwen en passiefhuizen. Lage-energiegebouwen kenmerken zich hoofdzakelijk door compactheid en een laag isolatiepeil (ca. K30): twee aandachtspunten die de transmissiewarmteverliezen aanzienlijk verminderen. Compact bouwen vermindert de transmissieoppervlakte aanzienlijk en een behoorlijke isolatiedikte optimaliseert de transmissieweerstand van de gebouwhuid. In een lage-energiewoning is een verwarmingsinstallatie nodig, maar de vereiste capaciteit daalt sterk onder deze van standaardwoningen.

Passiefhuizen worden daarentegen gezien als de hoogtechnologische mogelijkheid om zelfvoorzienend in warmtebehoefte te leven zonder aan comfort in te boeten. De verwarmingsinput bestaat hoofdzakelijk uit passieve energie die extern door de stralingswarmte van de zon geleverd wordt. Daarnaast geven ook de aanwezige personen en apparaten warmte af die een nuttige bijdrage levert aan de resterende warmtebehoefte. Dankzij de beperkte warmteverliezen, compenseren deze passieve warmtewinsten ongeveer 40% van de warmtebehoefte van de woning. Passiefhuizen zijn gebouwen waarvan de (resterende) jaarlijkse netto energiebehoefte voor verwarming zo klein is dat een afzonderlijk actief verwarmingssysteem niet hoeft: de benodigde warmte kan via de noodzakelijke ventilatielucht geleverd worden. Om dit principe haalbaar te maken, mag de feitelijke karakteristieke waarde voor de netto energiebehoefte voor verwarming $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{jaar})$ niet overschrijden. Het spreekt voor zich dat de realisatie van een dergelijke woning hoge eisen stelt.

- De transmissieverliezen worden nihil door de hoge graad van isolatie en de afwezigheid van koudebruggen in de gebouwschil:
 - voor vloeren, gevels en daken een U-waarde kleiner dan $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
 - beglazing met U-waarde beneden $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
 - vensters en deuren met totale U-waarden beneden $0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.
- Er wordt een extreme luchtdichtheid nagestreefd waardoor infiltratieverliezen vermeden worden en een goed gecontroleerde ventilatie mogelijk wordt:
 - de karakteristieke n_{50} -waarde mag $0,6 \text{ h}^{-1}$ niet overschrijden bij een onder- én overdruk van 50 Pa.
- Warmteterugwinning uit ventilatielucht met een zeer hoog rendement ($\eta_{\text{WTWeff}} \geq 75\%$ volgens PHI Certificaat of volgens DIBT¹-meetwaarden verminderd met 12 %) met een klein elektriciteitsverbruik.

¹ Deutsches Institut für Bautechnik of andere referentia

- De efficiëntie van de ramen (lage U-waarde en hoge zontoetredingsfactor) zorgt ervoor dat ze als passieve zonnecollectoren functioneren. De verhoogde transmissieverliezen (t.o.v. blinde wand) worden ruimschoots goedge maakt door de energiewinst door zontoetreding. Deze externe verwarmingsinput wordt geoptimaliseerd door de warmte van de zon op te vangen via evenwichtige naar oriëntatie en oppervlakte gekozen ramen.
- Daarenboven brengen doordacht geconcipeerde ramen overal daglicht binnen en vermindert het energieverbruik voor kunstlicht.
- Zeer kleine warmteverliezen bij sanitair warmwater bereiding en -verdeling.
- Hoogefficiënt gebruik van elektrische huishoudstroom.

De eenvoudige samenstelling van passiefhuiscomponenten is echter niet voldoende om van een gebouw een passiefhuis te maken: het geheel is meer dan de som van de delen. De wisselwerking tussen de componenten maakt een integraal ontwerp noodzakelijk. Tijdens het ontwerp kunnen de eigenschappen van de woning getoetst en bijgesteld worden a.d.h.v. het PassiefHuisProjectPakket waarover later meer.

Dit softwarepakket wordt ook gebruikt voor het nazicht van de eisen; bijvoorbeeld voor certificatie. Een passiefhuis moet aan drie voorwaarden voldoen om een kwaliteitsverklaring te kunnen verkrijgen:

1. de karakteristieke waarde voor het totale primair energieverbruik voor verwarming is kleiner of gelijk aan $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{jaar})$
2. de karakteristieke waarde voor het totale primair energiegebruik (verwarming, warm tapwater en huishoudstroom) is kleiner of gelijk aan $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{jaar})$
3. een luchtdichte gebouwschil met een karakteristieke n_{50} -waarde volgens de luchtdichtheidstest (uitgevoerd in over- én onderdruk) kleiner of gelijk aan $0,6 \text{ h}^{-1}$

Een bouwheer die beslist op deze manier te bouwen, zal in winter en zomer van een comfortabel binnenklimaat kunnen genieten. De afwezigheid van koudestraling en koudebruggen, de luchtdichtheid en de gecontroleerde toevoer van verse ventilatielucht hebben een positieve invloed op het algemeen comfort in de woning. Indien grote vensteroppervlakken naar het oosten of het westen gericht zijn, moet voor het zomercomfort gepaste zonwering voorzien worden. Voor zuid gerichte vlakken is dit voor een optimaal binnenklimaat aan te bevelen. Daarenboven moet er in de zomer voldoende ventilatie worden voorzien wat in het bijzonder 's nachts is aan te bevelen (nachtkoeling). Ook passieve koeltechnieken kunnen zorgen voor een aangenaam binnenklimaat.

De overgebleven energiebehoefte van een passieve woning is slechts 25% van deze van een conventionele woning. Op basis hiervan wordt het zinvol hernieuwbare energiebronnen in te schakelen, zonder de kosten gevoelig te verhogen of de beperkte mogelijkheden van deze energiebronnen te overschrijden. Thermische zonnecollectoren kunnen 40 tot 60% van de sanitair warmwater behoefte van een passieve woning dekken. Een deel van de elektriciteitsbehoefte kan gedekt worden door fotonvoltaïsche zonnepanelen of door te investeren in windenergie. In een normale woning is dat onbetaalbaar en naar kostenefficiëntie niet zinvol.

Over het algemeen wordt de komende decennia veel bouwactiviteit verwacht in Europa. Het oude huizenbestand is aan renovatie of, in vele gevallen, volledige vervanging door nieuwbouw toe. De bestaande woningen zijn verantwoordelijk voor een groot aandeel van de totale energieconsumptie. Een grote energiebesparing is mogelijk door deze aankomende vernieuwingsactiviteiten. Eerdere demonstratieprojecten (bijv. CEPHEUS) toonden reeds aan dat het gebruik van niet-hernieuwbare energiebronnen met een factor vier (vergeleken met de huidige nationale standaarden) gereduceerd kan worden. Het passiefhuis concept is een solide en relatief kostenefficiënte methode om deze energiebesparingen te verwezenlijken.

In 2007 hebben reeds zeven woningen, twee scholen (in Beernem en Nijvel) en één kantoorgebouw (Gents havenbedrijf) in België het certificaat 'passiefwoning'. In totaal zijn er echter zo'n honderdtal projecten volgens het passiefhuis concept. Sommige zitten in de ontwerpfase, andere zijn al gerealiseerd. De situatie in België verzinkt in het niets in vergelijking met bijvoorbeeld Duitsland. Bij onze oosterburen staan al meer dan 3.500 passiefhuizen. Ook in Oostenrijk, Zwitserland en Zweden zijn al honderden

dergelijke gebouwen opgetrokken. Verwacht wordt dat het passiefhuis concept ook bij ons steeds meer ingang zal vinden, door de stijgende aandacht in de media, de strengere isolatievoorschriften en de toekenning van subsidies.

1.2. Ventilatie

Een goede luchtkwaliteit en voldoende verse lucht zijn basiseisen voor een gezond en aangenaam binnenklimaat. Om de kwaliteit hoog te houden is het van belang voldoende en op de juiste manier te ventileren zodat verse buitenlucht in het gebouw wordt binnengebracht en emissiestoffen en vocht tijdig worden afgevoerd. De aanwezigheid van mensen in een woning zorgt er bijvoorbeeld voor dat het CO₂-niveau in de binnenlucht stijgt en het zuurstofgehalte daalt. Om gezondheidsklachten zoals hoofdpijn en concentratiestoornissen te vermijden is het aangewezen dat de CO₂-concentratie 1.400 ppm niet overstijgt. Een gemiddeld gezin produceert daarenboven tot elf liter vocht per dag tijdens het koken, wassen, douchen,... Ook de aanwezigheid van personen verhoogt -door ademhaling en transpiratie- het vochtgehalte van de lucht. Zonder ventilatie zou de relatieve vochtigheid binnenshuis sterk verhogen, met een hoger risico op condensatie en schimmelvorming tot gevolg.

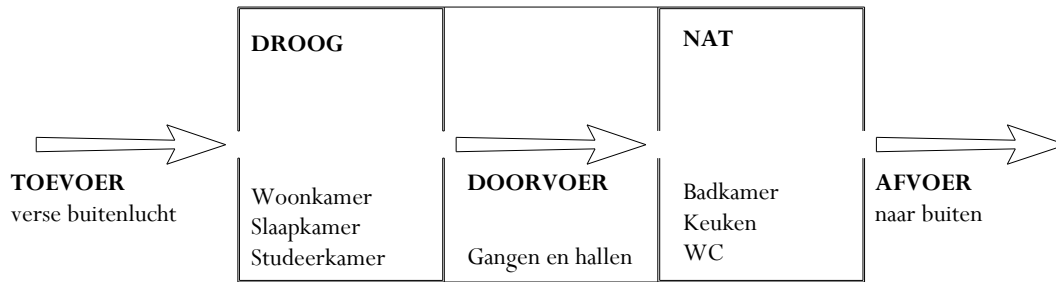
In een ruimte is het nodige debiet aan luchtverversing afhankelijk van de oppervlakte en van de functie van de kamer. De ventilatiedebieten die tenminste moeten kunnen gerealiseerd worden -de nominale debieten-, zijn in de norm NBN D 50-001 in een tabel opgenomen. Indien in deze tabel ook de vernieuwingen van de EPB (debieten in m³/h en beperking van 72 m³/h voor slaap-, studeer- en speelkamers) opgenomen worden, ziet deze er als volgt uit:

Ruimte	Basiseis m ³ /(h.m ²)	Minimum m ³ /h	Beperking m ³ /h
Woonkamer	3,6	75	150
Slaapkamer, studeerkamer, speelkamer	3,6	25	72
Keuken, badkamer, wasplaats, droogplaats	3,6	50	75
WC	-	25	-
Gangen, trapzalen, nacht- en daghal	3,6	-	-
Open keuken	3,6	75	-

Tabel 1: Algemene nominale ventilatiedebieten

Noot: in de kolom “beperking” worden debieten opgenomen die niet moeten overschreden worden ingeval de toepassing van de basiseis tot hogere waarden zou leiden.

Aan de algemeen gestelde debieteisen van tabel 1 kan slechts op een gecontroleerde wijze voldaan worden indien een mechanisch ventilatiesysteem in elke kamer voor zowel toevoer als afvoer zorgt. Dit meest volledige geval zal in de praktijk slechts uiterst zelden voorkomen. De ventilatievoorzieningen brengen verse lucht binnen in de ‘droge’ ruimtes van een woning: woonkamer, slaap-, studeer- en speelkamers. De vervuilde lucht wordt afgevoerd uit ‘natte’ ruimtes waar vocht en/of geuren worden geproduceerd (keuken, badkamer, wasplaats,...). Hierbij komt de lucht van de droge ruimten in de natte ruimten terecht via gangen, (trap)hallen,...; de zogenaamde doorstroomruimtes.



Figuur 1: Ventilatieprincipe

Er bestaan vier basissystemen om te ventileren die van elkaar verschillen door natuurlijke of mechanische aan- en/of afvoer. Systeem A staat voor een volledig natuurlijk systeem, met natuurlijke luchtaanvoer en afvoer via regelbare toe- en afvoeropeningen via muren of ramen. Bij systeem B gebeurt de toevoer mechanisch, in combinatie met natuurlijke afvoer. Systeem C werkt omgekeerd: hier wordt de lucht op natuurlijke wijze aangevoerd door regelbare toevoeropeningen, terwijl de vervuilde lucht mechanisch wordt weggezogen. Systeem D tot slot werkt volledig mechanisch.

Ventilatie gaat gepaard met een energieverbruik dat beperkt dient te worden. De verse buitenlucht die in de woning wordt binnengebracht, moet worden opgewarmd om een aangename binnentemperatuur te behouden. Hiervoor is het van belang gecontroleerd te ventileren: waar, wanneer en hoeveel we willen. De luchtdichtheid van een gebouw is hierbij van groot belang. Door infiltratie langs kieren en spleten gaat veel warmte verloren en kunnen zich tochtverschijnselen voordoen. Bovendien kan in luchtopen bouwdetails veelvuldig bouwschade voorkomen. Een tweede eis voor het beperken van het energieverbruik zijn regelbare ventilatievoorzieningen, een correcte dimensionering en een degelijk onderhoud van de installatie.

Hoewel de ventilatoren en de installatie van een mechanisch systeem energie verbruiken, kan een volledig mechanisch systeem dankzij warmterecuperatie tot omvangrijke energiebesparingen leiden. De warmte van de afgevoerde, vervuilde binnenlucht wordt in een lucht-lucht-warmtewisselaar uitgewisseld met de toegevoerde, verse buitenlucht, zonder dat beide luchtstromen fysisch in contact komen met elkaar. De elektrische energie die nodig is om de ventilatielucht te transporteren is slechts een fractie van het energieverbruik nodig voor de opwarming van de koude buitenlucht.

1.3. Het passiefhuis Blomme - De Clippele te Ename

1.3.1. De woning

In februari 2005 konden Mr. en Mevr. De Clippele - Blomme bouwgrond in het hartje van de Vlaamse Ardennen te bemachtigen. Ze wilden een vrijstaande, comfortabele woning die tijdens de bouw en het gebruik een minimale verstoring van het milieu teweeg brengt. Met de hulp van architect Christophe Debrabander slaagden ze in hun opzet.

Mr. Debrabander ontwierp - samen met zijn cliënten - een compact en flexibel volume van 8 bij 9 m. Het gelijkvloers bestaat uit een grote open ruimte. Het toilet en de technische ruimte worden op een handige manier in een ruime kastenwand weggestopt. Dankzij de 25 m² grote glaspartij leven de bewoners als het ware in en met hun tuin en de seizoenen. Dit grote raamoppervlak dat zuidwest georiënteerd is, laat bovendien de schaarse winterzon maximaal binnen.

Het eerste jaar na de bouw van de woning werd slechts de helft van de eerste verdieping benut. Enkel de ouderslaapkamer en de badkamer worden op het grondplan in bijlage 1 ingedeeld. Als circulatiezone werd

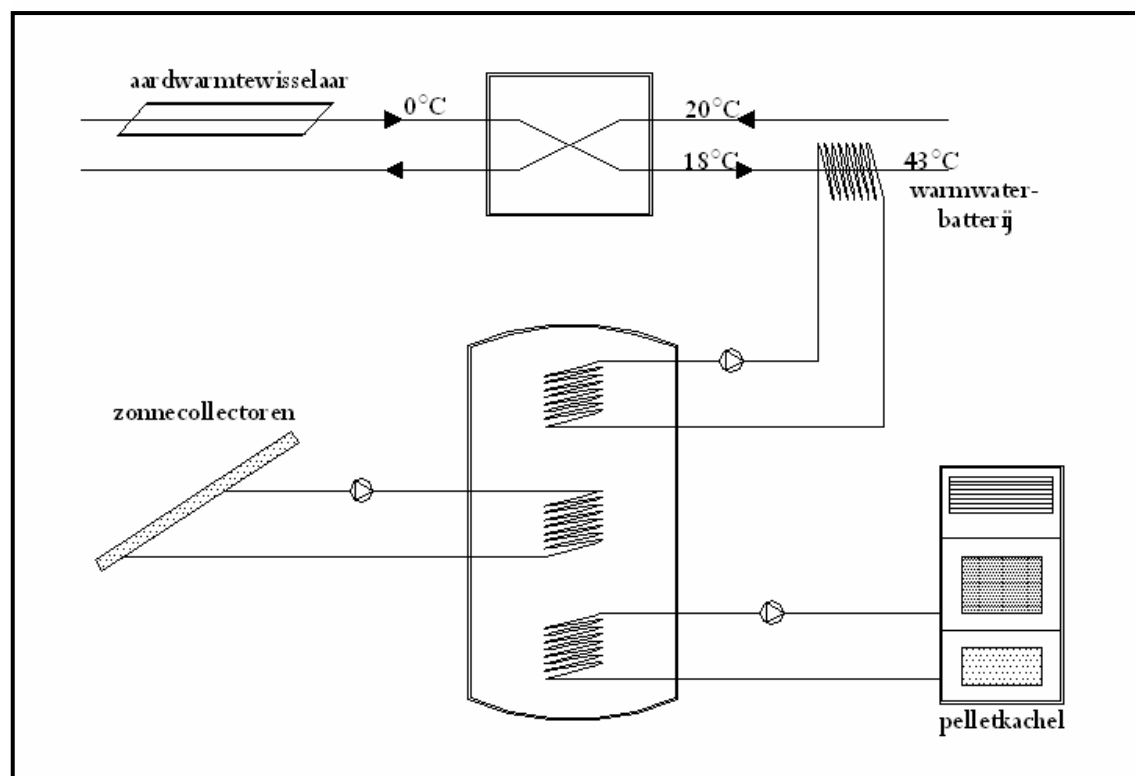
geopteerd voor een glazen overloop die pas in januari 2006 geplaatst werd. Over de functie en de precieze indeling van de overige ruimte wordt op het plan geen uitspraak gedaan: ze krijgt de algemene noemer *polyvalente ruimte*. Na een bezoek aan de woning werd duidelijk dat deze ruimte in drie gelijkaardige kamers is opgedeeld.

De bouwheer dacht ook bij de keuze van de bouwmaterialen aan de last op het milieu. Zo werd bijna uitsluitend met natuurlijke materialen gewerkt zoals fermacel, damprem op basis van papier, isolatie van papiervlokken en pluimen, houtvezel onderdak en gevelisolatie,... Het resultaat is een luchtdichte, maar dampopen, ecologische éénsgezinswoning.

De plannen en snedes van de woning zijn opgenomen in bijlage 1.

1.3.2. Ventilatiesysteem en warmteopwekking

Er werd reeds vermeld dat in passiefhuizen de verwarmingsbehoefte vaak door naverwarming van de ventilatielucht wordt opgevangen. Op deze manier wordt de investeringskost van een centrale verwarmingsinstallatie uitgespaard. Het volledige ventilatie- en verwarmingssysteem van het passiefhuis te Ename ziet er als volgt uit:



Figuur 2: Ventilatie en warmteopwekking

Via de **grondbuis** aan het einde van de tuin wordt verse ventilatielucht in de woning binnen gebracht. Een grondbuis of aardwarmtewisselaar maakt gebruik van de temperatuur van de ondergrond om de ventilatielucht gratis en op een natuurlijke wijze te klimatiseren. Dankzij de hoge thermische inertie van grond worden de temperatuursfluctuaties aan het aardoppervlak dieper in de ondergrond gedempt. Bovendien treedt in de bodem een vertraging van de jaarlijkse temperatuursfluctuaties op. Hierdoor zal de grond op een voldoende diepte warmer zijn dan de luchttemperatuur in de winter en kouder dan de

luchttemperatuur in de zomer. Hoe dieper de buis in de grond geplaatst wordt, des te constanter zal de temperatuur zijn. Op een voldoende diepte is de grond ongeveer constant 10°C.

De meest performante resultaten worden behaald bij piekwaarden van de buitentemperatuur. Hierdoor is het beschermen van andere warmteterugwincomponenten tegen vorst overbodig en is een optimale werking van het ventilatiesysteem gewaarborgd. Wanneer in de zomer piektemperaturen van 30°C of meer behaald worden, slaagt een goede bodem-lucht-warmtewisselaar erin de ventilatielucht af te koelen tot ongeveer 12°C. Traditionele airconditioning is een zeer energieverwendende techniek. Lucht passief koelen aan de hand van een grondbuis heeft dan ook een duidelijk voordeel qua elektriciteitsverbruik.

In de besproken eengezinswoning werd een 35 m lange PE-buis met hoge dichtheid in de tuin en gedeeltelijk onder de woning geplaatst. De buis heeft een diameter van 200 mm en werd op een gemiddelde diepte van 1,8 m geplaatst.

Tijdens de zomerperiode bestaat de kans dat er op de buiswand condens ontstaat. Dit vocht moet worden afgevoerd aangezien de aanwezigheid van vocht de effectiviteit van de buis verlaagd en er een broeihaard van bacteriën kan ontstaan die de ventilatielucht vervuult. Om deze reden wordt een bodem-lucht-warmtewisselaar steeds in helling gelegd en verwijderd een kleine pomp het vocht op het laagste punt uit de buis.

Na de grondbuis komt de verse lucht in de **warmteterugwinunit** (WTW) terecht. In de platen tegenstroomwarmtewisselaar wordt de toevoerlucht in de nabijheid gebracht van de warme afvoerlucht, zonder dat beide stromen gemengd worden. Door hun nabijheid wordt de warmte van de extractielucht overgebracht op de pulsielucht: de warmte wordt uit de woning gerecupereerd. Op deze manier kan veel energie voor verwarming bespaard worden. Er zijn echter een aantal strikte voorwaarden waaraan de woning en de installatie moeten voldoen om de warmte efficiënt te recupereren:

- De ventilatoren van de WTW verbruiken zo weinig mogelijk energie. Gelijktroomventilatoren zijn in dit opzicht een betere keuze dan wisselstroomventilatoren.
- De woning en het kanalennetwerk dienen zo luchtdicht mogelijk te zijn. Voor woningen geldt als richtwaarden $n_{50} < 1 \text{ h}^{-1}$. Voor passiehuizen is de eis echter $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$.
- Het ventilatiesysteem moet op een correcte manier worden gedimensioneerd en ingeregeld zodat in iedere kamer het juiste debiet behaald wordt. Bij het ontwerp moet ook rekening gehouden worden met de balans van het systeem; d.w.z. dat het pulsedebiet even groot is als het extractiedebiet. Bovendien is het aangewezen dat de installatie zichzelf kan bijsturen indien de omstandigheden wijzigen. Het oorspronkelijk ingesteld debiet moet gehandhaafd blijven.
- Naast luchtdicht, moet het gebouw ook voldoende geïsoleerd zijn. Dergelijke installatie is pas rendabel indien de transmissie- en infiltratieverliezen beperkt zijn.

In de winter zorgt recuperatie van warmte voor een lager energieverbruik. Als het binnen echter te warm wordt, is warmterecuperatie niet langer wenselijk. In deze omstandigheden moet de warmtewisselaar kortgesloten worden met een zogenaamde bypass. Dit is een zeer belangrijke klep in het toestel aangezien bij ontbreken van deze klep de kans groot is dat er een actieve airconditioning zal worden geplaatst met een veel groter energieverbruik dan wat in de winterperiode bespaard wordt.

Er kan met dit toestel ook aan kouderecuperatie gedaan worden. Voor de besproken woning is dit echter niet het geval aangezien de verse buitenlucht door de grondbuis wordt gekoeld. De lucht die in de warmtewisselaar toekomt zal dus nooit warmer zijn dan de binnentemperatuur.

Op zonnige dagen wordt dankzij de 8 m² zonnepanelen op het dak de **zonneboiler** van 500 liter opgewarmd. De inhoud van dit opslagvat wordt zowel gebruikt om aan de behoefte van sanitair

warmwater te voldoen als om de ventilatielucht na te verwarmen. Op de vertrekleiding van de balansventilatie is namelijk een **warmwaterbatterij** aangesloten die gevoed wordt met het water uit de boiler.

Aanvankelijk maakt de zonneboiler volledig gebruik van zonlicht. De warmteopwekking door middel van zonlicht is een doorlopend proces. Vanaf de eerste zonnestralen in de ochtend tot het vallen van de avond wordt de zonlichtwarmte opgevangen en opgeslagen. Wanneer er geen of te weinig zonlicht is om aan de warmtevraag te voldoen, moet het water op een andere manier op temperatuur worden gebracht.

Om deze reden werd een **pelletkachel** in de woning geïnstalleerd. Dit is een milieuvriendelijk verbrandingstoestel dat gevoed wordt met houtpellets: een biomassa-product dat uit houtafval wordt gerecycleerd. De kachel heeft een gesloten verbrandingskamer: luchtaan- en afvoer gebeurt rechtstreeks van/naar buitenaf. De hernieuwbare brandstof wordt in de kachel met een zeer hoog verbrandingsrendement omgezet in warmte. Een bijkomend milieuvoordeel is dat er geen netto CO₂-uitstoot ontstaat.

De pelletkachel die in de woning werd geplaatst, is modulerend van 3 tot 10 kW. Aangezien de woning een veel lagere warmtebehoefte heeft -en de kachel vooral geplaatst werd om het sanitair warmwater te bereiden-, wordt 80% van de geproduceerde warmte via een waterleiding naar de boiler gebracht. Met de overige 20% wordt de leefruimte bijverwarmd via straling en ventilatie van de kachelmantel.

Hoofdstuk 2: Stationaire berekeningen

2. Stationaire berekeningen

In passiefhuizen is de actieve verwarmingsbehoefte minimaal. Hierdoor is de plaatsing van een conventioneel verwarmingssysteem overbodig en wordt het mogelijk het mechanische ventilatiesysteem in te zetten om de woning te verwarmen. Een degelijke kennis van de berekening van de warmtevraag en de dimensionering van het ventilatiesysteem is een absolute vereiste om een kwalitatief binnenklimaat te waarborgen. De manier waarop het ventilatiesysteem moet gedimensioneerd worden om een optimaal thermisch comfort te bieden, is echter onduidelijk.

In de Europese en Belgische normering voor de berekening van de ontwerpwarmtebelasting wordt een extreem koude dag aangenomen als ontwerpklimaat. Dankzij de toegepaste passieve strategieën zal in een passiefhuis de verwarmingsbehoefte misschien niet het grootst zijn op een koude, doorgaans zonnige dag, maar op een iets zachtere, bewolkte dag.

Het is ook van belang na te gaan of de luchtdebieten die doorgaans aan de hand van hygiënische eisen bepaald worden, aan de warmtevraag voldoen. De EPB-wetgeving verwijst voor de eisen omtrent ventilatie naar de NBN D 50-001. Volgens deze norm volstaat het luchttoevoer te voorzien in droge ruimtes en vervuilde lucht af te voeren langs vochtige ruimtes. Het is echter mogelijk dat het voor een goede warmteverdeling nodig is dat elke ruimte voorzien wordt van een toevoer- en afvoerpunt.

In de eerste paragrafen van dit hoofdstuk wordt de warmtevraag enerzijds bepaald aan de hand van de EN 12831 en anderzijds met behulp van het PassiefHuis ProjektPakket (PHPP). In de derde paragraaf wordt met een eenvoudige berekening aangetoond of het totale nominale ventilatiedebiet kan instaan voor de warmtevraag van de volledige woning.

2.1. Warmtevraag aan de hand van EN 12831

2.1.1. Algemeen

Momenteel loopt in België een overgangsperiode wat normalisatie betreft. Voorlopig is de oude NBN B 62-003 (warmteverliezen van gebouwen) nog van toepassing. De corresponderende EN-norm (EN 12831) is wel reeds officieel als NBN-norm uitgegeven door het Belgisch Instituut voor Normalisatie (BIN). Deze uitgave legt reeds een verplichting op, maar de norm is nog niet toepasbaar aangezien de “nationale bijlage D” nog niet is opgesteld.

Beide normen reiken een berekeningsmethode aan om de capaciteit van verwarmingssystemen te bepalen. Ze zorgen ervoor dat de vooropgestelde, gewenste binnentemperatuur voor enkele standaard ontwerpcondities behaald wordt.

Bij wijze van kennismaking met de nieuwe norm, wordt in wat volgt de EN 12831 gehanteerd voor een “room by room approach” van het passiefhuis te Ename. De ontwerpwarmtebelasting wordt per kamer bepaald, rekening houdend met de warmteverliezen wegens transmissie en infiltratie en met de transmissiewinsten. Voor de ontbrekende parameters (door gebrek aan een nationale bijlage D) worden richtwaarden ontleend aan de NBN B 62-003 (warmteverliezen van gebouwen).

Stap a: Basisgegevens

In de eerste stap van de berekening worden de klimatologische omstandigheden van de site bepaald. De ontwerp buitentemperatuur en de jaarlijkse gemiddelde temperatuur op het scheidingsvlak tussen de vloerplaat en de ondergrond worden bepaald aan de hand van de NBN B 62-003 (θ_{eb} en θ_c).

Stap b: Definitie van elke ruimte van het gebouw

Er worden logische ontwerpbinrentemperaturen aan de verwarmde ruimtes gegeven.

Stap c: Gebouwgegevens

Voor de berekening van de transmissieverliezen moeten de dimensies en de warmtedoorgangscoëfficiënten van de transmissieverliezende oppervlaktes berekend worden. Aangezien men bij het ontwerp van passiehuizen zeer veel aandacht hecht aan detaillering, wordt in onderstaande berekening geen rekening gehouden met koudebruggen.

De U-waarden van de verschillende bouwdelen worden berekend aan de hand van het Transmissie Referentiedocument². Voor de vensters van de woning, die allen uit eenzelfde beglazing en raamprofiel zijn opgebouwd, wordt een gemiddelde $U_{w,T}$ -waarde berekend aan de hand van de vereenvoudigde formule:

$$U_{w,T} = 0,7 * U_g + 0,3 * U_f + 3 * \Psi_g \quad [W/(m^2.K)]$$

met:

- U_g : warmtedoorgangscoëfficiënt van de beglazing $[W/(m^2.K)]$
- U_f : warmtedoorgangscoëfficiënt van het raamprofiel $[W/(m^2.K)]$
- Ψ_g : lineaire warmtedoorgangscoëfficiënt glasrand $[W/(m.K)]$

Aangezien de wanden en vloeren van de woning heterogeen zijn opgebouwd, wordt de totale warmteweerstand R_T per bouwelement bepaald als het rekenkundig gemiddelde van de boven- en onderwaarde.

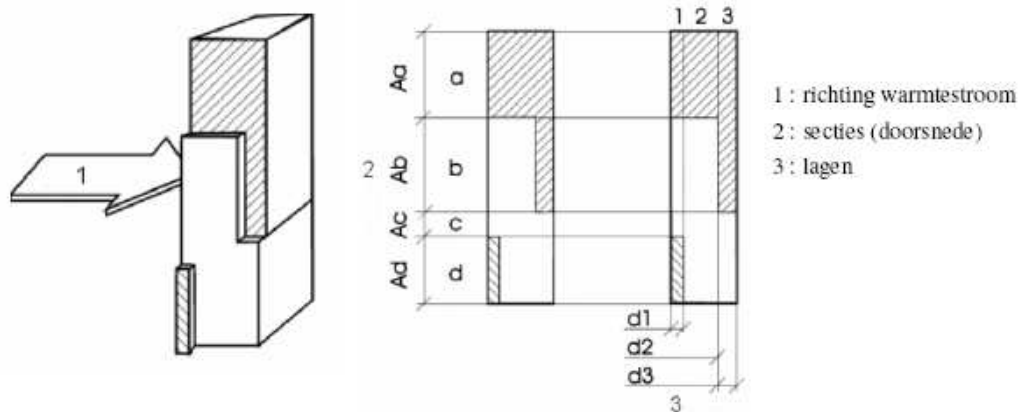
$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2}$$

De bovenwaarde R'_T en de onderwaarde R''_T worden in het Transmissie Referentiedocument gedefinieerd:

«De berekening van de boven- en onderwaarde wordt uitgevoerd door het bouwelement op te splitsen in secties en lagen, zodanig dat het bouwelement enkel nog bestaat uit delen die op zichzelf thermisch homogeen zijn (zie figuur):

- het bouwelement wordt opgedeeld in secties (a,b,c en d) met respectievelijke oppervlaktes (A_a , A_b , A_c en A_d) en in lagen (1,2 en 3), met respectievelijke diktes (d_1 , d_2 en d_3);
- de secties (a, b, c, d), die loodrecht staan op de oppervlakken van het bouwelement, vertegenwoordigen elk afzonderlijk een deeloppervlakte (f_a , f_b , f_c , f_d) t.o.v. de totale oppervlakte;
- de lagen (1, 2 en 3), die parallel zijn met de oppervlakken van het bouwelement, hebben een dikte d_1 , d_2 en d_3 ;
- alle thermisch homogene delen ($a_1 \dots d_3$) hebben een welbepaalde warmtegeleidbaarheid ($\lambda_{a1}, \dots \lambda_{d3}$), een bepaalde dikte ($d_1, \dots d_3$), een deeloppervlakte ($f_a, \dots f_d$) en een warmteweerstand ($R_{a1}, \dots R_{d3}$);
- de deeloppervlakte van een sectie is een proportioneel deel van de totale oppervlakte, zodat $f_a + f_b + \dots + f_d = 1$

² Dit document is gebaseerd op het rapport dat in opdracht van ATIC opgesteld is. Het beschrijft expliciet de regels m.b.t. de transmissieberekeningen zoals die gelden voor de energieprestatieregeling.



Figuur 3: Doorsneden en lagen van een thermisch niet homogeen bouwelement

De **bovenwaarde** van de warmteweerstand wordt bepaald door aan te nemen dat de ééndimensionale warmtestroom loodrecht staat op de oppervlakken van het bouwelement. De bovenwaarde wordt gegeven door:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \frac{f_c}{R_{Tc}} + \frac{f_d}{R_{Td}} \quad [W/(m^2.K)]$$

met:

- $R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Td}$ (m^2K/W): de totale warmteweerstanden (van omgeving tot omgeving) van elke sectie
- $f_a, f_b, \dots, f_d$ (-): de deelopervlaktes (fracties) van elke sectie

De **onderwaarde** van de warmteweerstand wordt bepaald door aan te nemen dat alle vlakken die parallel zijn met de oppervlakken van het bouwelement isothermische vlakken zijn.

Voor elke thermisch niet-homogene bouwlaag wordt een equivalente warmteweerstand R_j als volgt bepaald:

$$\frac{1}{R_i} = \frac{f_a}{R_{ai}} + \frac{f_b}{R_{bi}} + \frac{f_c}{R_{ci}} + \frac{f_d}{R_{di}} \quad [W/(m^2.K)]$$

De onderwaarde van de warmteweerstand wordt dan bepaald volgens:

$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{so} \quad [(m^2.K)/W] \dots \gg^3$$

Stap d: Transmissieverliezen berekenen

Het globale transmissieverlies van een verwarmde ruimte wordt als volgt berekend:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iuc} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) * (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W]$$

met:

$H_{T,ie}$: de transmissiecoëfficiënt van de verwarmde ruimte naar de buitenomgeving via de gebouwschil [W/K]

³ Uit Transmissie Referentiedocument

- $H_{T,iue}$: de transmissiecoëfficiënt van de verwarmde ruimte naar de buitenomgeving via een onverwarmde ruimte [W/K]
 $H_{T,ig}$: de statisch bepaalde transmissiecoëfficiënt van de verwarmde ruimte naar de grond [W/K]
 $H_{T,ij}$: de transmissiecoëfficiënt van de verwarmde ruimte naar een binnenruimte op een andere temperatuur [W/K]
 $\theta_{int,i}$: de ontwerp binnentemperatuur [°C]
 θ_e : de ontwerp buitentemperatuur [°C]

a) Warmteverliezen naar de buitenomgeving $H_{T,ie}$

Aangezien er in passiefhuizen (bijna) geen sprake is van koudebruggen door de nauwkeurige detaillering, wordt de formule uit EN 12831 vereenvoudigd tot:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k * U_k * e_k \quad [W/K]$$

met:

- e_k : correctiefactor die rekening houdt met de blootstelling van de materialen aan de buitenomgeving. Er wordt echter verondersteld dat hiermee reeds rekening werd gehouden bij de berekening van de U-waarden van de wanden waardoor $e_k = 1$.
 A_k : oppervlakte van het bouwelement
 U_k : warmtedoorgangcoëfficiënt van het bouwelement

b) Warmteverliezen naar een onverwarmde ruimte $H_{T,iue}$

Opnieuw rekening houdend met de afwezigheid van koudebruggen in passiefgebouwen is:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k * U_k * b_u \quad [W/K]$$

met:

- b_u : warmtereductiefactor die het temperatuursverschil tussen de onverwarmde ruimte en de buitenomgeving in rekening brengt. Deze factor kan op drie manieren worden verkregen waarvoor verwezen wordt naar EN 12831.

c) Warmteverliezen naar de grond $H_{T,ig}$

$$H_{T,ig} = f_{g1} * f_{g2} * (\sum_k A_k * U_{equiv,k}) * G_w \quad [W/K]$$

met:

- f_{g1} : correctiefactor op de jaarlijkse variatie van de buitentemperatuur. De waarde van f_{g1} die in de bijlage van de norm als richtwaarde wordt opgegeven bedraagt 1,45.
 f_{g2} : reductiefactor die het verschil tussen de jaarlijkse gemiddelde temperatuur op het scheidingsvlak tussen de vloerplaat en de ondergrond en de ontwerp buitentemperatuur in rekening brengt:

$$\frac{(\theta_{int,i} - \theta_{m,e})}{(\theta_{int,i} - \theta_e)}$$

 $U_{equiv,k}$: de equivalente U-waarde van de vloerplaat brengt de afwezigheid van convectie in rekening. Deze verminderde U-waarde kan voor passiefvloeren ($U_{floor} = 0,11 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$) niet bepaald worden aan de hand van EN 12831 aangezien de opgegeven tabellen en grafieken te beperkt zijn.
 In onderstaande berekening wordt de afwezigheid van convectie in rekening gebracht door:

$$U_{\text{equiv},k} = \frac{U_{\text{floor}}}{1 + U_{\text{floor}}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$$

G_w : correctiefactor die rekening houdt met de grondwaterstand (enkel van toepassing indien het niveauverschil tussen de vloerplaat en het grondwater kleiner is dan één meter).

d) Warmteverliezen en -winsten naar ruimtes op een andere temperatuur

Voor standaardgebouwen is het gebruikelijk enkel de warmteverliezen tussen nabijgelegen ruimtes te bepalen. Door het weglaten van de transmissiewinsten van naburige ruimtes beschikt de installatie over een zekere reserve. Bij passiehuizen is het te installeren vermogen echter zo beperkt dat dit een overschatting zou betekenen. De warmteverliezen van de 'warme' ruimtes worden in rekening gebracht als warmtewinsten voor de 'koude' ruimtes zodat het warmteverlies niet in rekening wordt gebracht ten opzichte van het volledige gebouw.

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} * A_k * U_k \quad [\text{W}/\text{K}]$$

met:

f_{ij} : reductiefactor die het verschil tussen de temperatuur van de aangrenzende ruimte en de ontwerp buitentemperatuur in rekening brengt:

$$\frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{naburigeruimte}}}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e}$$

Stap e: Ventilatieverliezen berekenen

Het globale ventilatieverlies van een verwarmde ruimte wordt als volgt berekend:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} * (\theta_{\text{int},i} - \theta_e) \quad [\text{W}]$$

met:

$H_{V,i}$: de warmteverliescoëfficiënt omwille van ventilatie $[\text{W}/\text{K}]$
 $= 0,34 * \dot{V}_i$ (indien p en c_p constant worden verondersteld)

Aangezien er in passiehuizen meestal gebruik gemaakt wordt van luchtverwarming, zijn er geen (gecontroleerde) ventilatieverliezen op kamerniveau. In de berekening worden dan ook enkel infiltratieverliezen in beschouwing genomen.

$$\dot{V}_{\text{inf},i} = 2 * V_i * n_{50} * e_i * \epsilon_i \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

met:

V_i : het luchtvolume $[\text{m}^3]$
 n_{50} : het ventilatievoud bij een drukverschil van 50 Pa tussen binnen en buitenomgeving $[\text{h}^{-1}]$
 e_i : de afschermingfactor
 Tabel D.8 in de bijlage van EN 12831 verschaft waarden voor e_i in functie van de afscherming van het gebouw en het aantal buitenvlakken van de ruimte.
 ϵ_i : correctiefactor op de hoogte (enkel voor gebouwen hoger dan 10 m; voor lagere gebouwen is $\epsilon_i = 1$)

Stap f: Totale warmteverlies berekenen

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad [\text{W}]$$

Stap g: De opwarmcapaciteit berekenen

Hoewel in EN 12831 benadrukt wordt dat de vereenvoudigde berekening voor de opwarmcapaciteit niet geldig is voor lichte gebouwen zoals houtskeletbouw. Toch wordt de opwarmcapaciteit hieronder louter informatief berekend met behulp van deze methode. De norm biedt geen alternatief om de opwarmcapaciteit van lichte gebouwen op een statische wijze te bepalen: ze verwijst naar dynamische berekeningen.

De opwarmcapaciteit wordt in de norm berekend als volgt:

$$\Phi_{RH,i} = A_i * f_{RH} \quad [W]$$

met:

A_i : het netto-vloeroppervlak [m²]
 f_{RH} : correctiefactor i.f.v. de temperatuursval en de opwarmtijd

Stap h: Totale ontwerpwarmtebelasting berekenen

EN 12831 berekent de ontwerpwarmtebelasting als de som van de verliezen en de opwarmcapaciteit:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad [W]$$

2.1.2. Passiefhuis Blomme - De Clippele te Ename**Stap a:** Basisgegevens

$$\theta_e = -8^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_{m,e} = 10^{\circ}\text{C}$$

Stap b: Definitie van elke ruimte van het gebouw

Gelijkvloers: $\theta_{int} = 20^{\circ}\text{C}$

Slaapkamer: $\theta_{int} = 18^{\circ}\text{C}$

Badkamer: $\theta_{int} = 24^{\circ}\text{C}$

Overloop: $\theta_{int} = 18^{\circ}\text{C}$

Polyvalente ruimte: $\theta_{int} = 18^{\circ}\text{C}$

Stap c: Gebouwgegevens

Om de eigenschappen van de gebruikte materialen voor vloeren en wanden te bepalen, werd beroep gedaan op de aanvraag tot certificatie (PHPP-file)⁴ en de projectfiche⁵ van het Passiefhuis-Platform (PHP). Deze documenten verschaffen informatie over de warmtegeleidingcoëfficiënt en de dikte van de geplaatste materialen. Aan de hand van deze gegevens is het mogelijk de U-waarden te berekenen met behulp van het Transmissie Referentiedocument.

Om de opbouw van de binnenwanden te achterhalen, werden de plannen gebruikt en werd -bij gebrek aan bepaalde gegevens- beroep gedaan op veronderstellingen.

De **ramen** zijn opgebouwd uit een drievoudige beglazing die met behulp van thermische afstandshouders in een geïsoleerd houten kader wordt bevestigd. Het profiel heeft een U_f -waarde van 0,80 W/(m².K); de

⁴ File aangemaakt aan de hand van het PassiefhuisProjectPakket.

⁵ Bron: www.passiefhuisplatform.be > databank > projecten > Oost-Vlaanderen

beglazing een U_g -waarde van $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$; de afstandshouders hebben een Ψ -waarde van $0,4 \text{ W}/(\text{m}.\text{K})$.

Met deze gegevens wordt de gemiddelde U-waarde voor de **vensters** berekend:

$$\begin{aligned} U_{w,T} &= 0,7 * U_g + 0,3 * U_f + 3 * \Psi_g \\ &= 0,7 * 0,60 + 0,3 * 0,80 + 3 * 0,04 \\ &= 0,78 \end{aligned} \quad [\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})]$$

De **vloerplaat op volle grond** is opgebouwd uit een houten roostering waartussen de isolatie (papiervlokken) geplaatst is. In de veronderstelling dat de houten roostering 15% van het oppervlak inneemt, wordt met behulp van het Transmissie Referentiedocument de gemiddelde U-waarde bekomen.

Bouwdeel	Materiaal	Dikte	λ	R	R_{Ta}	U-waarde
		m	W/mK	$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$	$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
Bodem	R_{si}	-	-	0,17	9,86	0,10
	Parket	0,020	1,400	0,01		
	OSB	0,018	0,140	0,13		
	85% Papiervlokken	0,190	0,040	4,75		
	ISOMO/EPS	0,150	0,032	4,69		
	Gewapend beton	0,120	1,700	0,07		
	R_{se}	-	-	0,04		

Tabel 2: Vloer op volle grond (85%)

Bouwdeel	Materiaal	Dikte	λ	R	R_{Tb}	U-waarde
		m	W/mK	$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$	$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
Bodem	R_{si}	-	-	0,17	6,47	0,15
	Parket	0,020	1,400	0,01		
	OSB	0,018	0,140	0,13		
	15% Houten liggers	0,190	0,140	1,36		
	ISOMO/EPS	0,150	0,032	4,69		
	Gewapend beton	0,120	1,700	0,07		
	R_{se}	-	-	0,04		

Tabel 3: Vloer op volle grond (15%)

- Berekening bovenwaarde R'_T :

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} = \frac{0,85}{9,86} + \frac{0,15}{6,47}$$

$$\text{waaruit: } R'_T = 9,14 (\text{m}^2.\text{K}) / \text{W}$$

- Berekening onderwaarde R''_T :

De equivalente warmteweerstand R_j wordt voor de niet-homogene bouwlaag als volgt berekend:

$$\frac{1}{R_3} = \frac{f_a}{R_{a3}} + \frac{f_b}{R_{b3}} = \frac{0,85}{4,75} + \frac{0,15}{1,36}$$

$$\text{waaruit: } R_3 = 3,46 (\text{m}^2.\text{K}) / \text{W}$$

$$\begin{aligned} R''_T &= R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \\ &= 0,17 + 0,01 + 0,13 + 3,46 + 4,69 + 0,07 + 0,04 \\ &= 8,57 (\text{m}^2.\text{K}) / \text{W} \end{aligned}$$

- Berekening gemiddelde warmteweerstand R_T :

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} = \frac{9,14 + 8,57}{2} = 8,86 (\text{m}^2.\text{K}) / \text{W}$$

$$\text{waaruit: } U = \frac{1}{R_T} = 0,11 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Bij de **buitenwanden** moet met drie heterogene lagen rekening gehouden worden. De leidingenspouw is voor 85% gevuld met pluimen. Om de afwerkingsplaten te monteren, werden houten liggers (15%) gebruikt. De wanden, waarvan de structuur uit houtskeletbouw (15%) bestaat, worden geïsoleerd met papiervlokken (85%).

Bouwdeel	Materiaal	Dikte	λ	R	R_{Ta}	U-waarde
		m	W/mK	m ² K/W	m ² K/W	W/m ² K
Wand	R_{si}	-	-	0,13	7,94	0,13
	Fermacel	0,013	0,350	0,04		
	Leidingenspouw					
	85% isolatie pluimen	0,040	0,033	1,21		
	OSB	0,015	0,140	0,11		
	85% Papiervlokken	0,190	0,040	4,75		
	85% Papiervlokken	0,044	0,040	1,10		
	Houtvezel	0,022	0,052	0,42		
	Luchtpouw	0,020	0,370	0,05		
	Gevelsteen	0,088	1,000	0,09		
	R_{se}	-	-	0,04		

Tabel 4: Buitenwand (85%)

Bouwdeel	Materiaal	Dikte	λ	R	R_{Tb}	U-waarde
		m	W/mK	m ² K/W	m ² K/W	W/m ² K
Wand	R_{si}	-	-	0,13	3,50	0,29
	Fermacel	0,013	0,350	0,04		
	15% Houten liggers	0,040	0,140	0,29		
	OSB	0,015	0,140	0,11		
	15% Houten liggers	0,190	0,140	1,36		
	15% Houtvezel isolatieplaat	0,044	0,045	0,98		
	Houtvezel	0,022	0,052	0,42		
	Luchtpouw	0,020	0,370	0,05		
	Gevelsteen	0,088	1,000	0,09		
	R_{se}	-	-	0,04		

Tabel 5: Buitenwand (15%)

- Berekening bovenwaarde R'_T :

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} = \frac{0,85}{7,94} + \frac{0,15}{3,50}$$

$$\text{waaruit: } R'_T = 6,67 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

- Berekening van de onderwaarde R''_T :

De equivalente warmteweerstanden R_i (in de volgorde zoals opgegeven in de tabel) worden voor de niet-homogene bouwlagen als volgt berekend:

$$\frac{1}{R_2} = \frac{f_a}{R_{a2}} + \frac{f_b}{R_{b2}} = \frac{0,85}{1,21} + \frac{0,15}{0,29}$$

$$\text{waaruit: } R_2 = 0,82 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

$$\frac{1}{R_4} = \frac{f_a}{R_{a4}} + \frac{f_b}{R_{b4}} = \frac{0,85}{4,75} + \frac{0,15}{1,36}$$

$$\text{waaruit: } R_4 = 3,46 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

$$\frac{1}{R_5} = \frac{f_a}{R_{a5}} + \frac{f_b}{R_{b5}} = \frac{0,85}{1,10} + \frac{0,15}{0,98}$$

$$\text{waaruit: } R_5 = 1,08 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

$$= 0,13 + 0,04 + 0,82 + 0,11 + 3,46 + 1,08 + 0,42 + 0,05 + 0,09 + 0,04$$

$$= 6,24 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$$

- Berekening van de gemiddelde warmteweerstand R_T :

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} = \frac{6,67 + 6,24}{2} = 6,46 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$$

waaruit: $U = \frac{1}{R_T} = 0,15 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$

In de **dakopbouw** komen vier heterogene lagen voor. Langs de binnenzijde en langs de buitenzijde is er sprake van respectievelijk een leidingen- en een ventilatiespouw. De hoofdisolatie van het dak (88%) wordt doorbroken door de houten structuur (12%).

Bouwdeel	Materiaal	Dikte	λ	R	R_{Ta}	U-waarde
		m	W / mK	m ² K / W	m ² K / W	W / m ² K
Dak	R_{si}	-	-	0,10	12,77	0,08
	Afwerking in hout	0,013	0,140	0,09		
	88% Leidingenspouw	0,040	0,040	1,00		
	Luchtdichting	0,001	0,200	0,01		
	88% Papiervlokken	0,400	0,040	10,00		
	88% Papiervlokken	0,022	0,040	0,55		
	Houtvezel	0,022	0,052	0,42		
	88% Luchtsponw	0,020	0,037	0,54		
	Pannen	0,020	1,000	0,02		
	R_{se}	-	-	0,04		

Tabel 6: Dak (88%)

Bouwdeel	Materiaal	Dikte	λ	R	R_{Tb}	U-waarde
		m	W / mK	m ² K / W	m ² K / W	W / m ² K
Dak	R_{si}	-	-	0,10	4,45	0,22
	Afwerking in hout	0,013	0,140	0,09		
	12% Houten liggers	0,040	0,140	0,29		
	Luchtdichting	0,001	0,200	0,01		
	12% Houten liggers	0,400	0,140	2,86		
	12% Houtvezel isolatieplaat	0,022	0,045	0,49		
	Houtvezel	0,022	0,052	0,42		
	12% Pannelatten	0,020	0,140	0,14		
	Pannen	0,020	1,000	0,02		
	R_{se}	-	-	0,04		

Tabel 7: Dak (88%)

- Berekening bovenwaarde R'_T :

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} = \frac{0,88}{12,77} + \frac{0,12}{4,45}$$

waaruit: $R'_T = 10,43 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$

- Berekening van de onderwaarde R''_T :

De equivalente warmteweerstanden R_j (in de volgorde zoals opgegeven in de tabel) worden voor de niet-homogene bouwlagen als volgt berekend:

$$\frac{1}{R_2} = \frac{f_a}{R_{a2}} + \frac{f_b}{R_{b2}} = \frac{0,88}{1,00} + \frac{0,12}{4,45}$$

waaruit: $R_2 = 0,77 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$

$$\frac{1}{R_4} = \frac{f_a}{R_{a4}} + \frac{f_b}{R_{b4}} = \frac{0,88}{10,00} + \frac{0,12}{2,86}$$

waaruit: $R_4 = 7,69 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$

$$\frac{1}{R_5} = \frac{f_a}{R_{a5}} + \frac{f_b}{R_{b5}} = \frac{0,88}{0,55} + \frac{0,12}{0,49}$$

$$\text{waaruit: } R_5 = 0,54 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

$$\frac{1}{R_7} = \frac{f_a}{R_{a7}} + \frac{f_b}{R_{b7}} = \frac{0,88}{0,54} + \frac{0,12}{0,14}$$

$$\text{waaruit: } R_7 = 0,40 \text{ (m}^2\text{.K) / W}$$

$$\begin{aligned} R''_T &= R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \\ &= 0,10 + 0,09 + 0,77 + 0,01 + 7,69 + 0,54 + 0,42 + 0,40 + 0,02 + 0,04 \\ &= 10,08 \text{ (m}^2\text{.K) / W} \end{aligned}$$

- Berekening van de gemiddelde warmteweerstand R_T :

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} = \frac{10,43 + 10,08}{2} = 10,26 \text{ (m}^2\text{.K) / W} \quad \text{waaruit: } \underline{\underline{U = \frac{1}{R_T} = 0,10 \text{ W / (m}^2\text{.K)}}}$$

De **binnenvloer en -wanden** werden op gelijkaardige manier berekend. De opbouw wordt weergegeven in tabel 8 en 9.

Bouwdeel	Materiaal	Dikte	λ	R	R_{Ta}	U-waarde
		m	W / mK	m ² K / W	m ² K / W	W / m ² K
Vloer (opwaarts)	R_{si}	-	-	0,10	1,72	0,58
	Vloerafwerking	0,015	0,190	0,08		
	Isolerende chape	0,050	0,100	0,50		
	Geluidsisolatie	0,020	0,050	0,40		
	OSB-plaat	0,018	0,130	0,14		
	87% Spouw	0,215	-	0,16		
	Gipsplaat	0,012	0,050	0,24		
	R_{se}	-	-	0,10		
Vloer (neerwaarts)	R_{si}	-	-	0,17	1,86	0,54
	Vloerafwerking	0,015	0,190	0,08		
	Isolerende chape	0,050	0,100	0,50		
	Geluidsisolatie	0,020	0,050	0,40		
	OSB-plaat	0,018	0,130	0,14		
	87% Spouw	0,215	-	0,16		
	Gipsplaat	0,012	0,050	0,24		
	R_{se}	-	-	0,17		
Binnenwand A	R_{si}	-	-	0,10	2,08	0,48
	Gipskartonplaat	0,013	0,520	0,03		
	85% Minerale wol	0,075	0,041	1,83		
	Gipskartonplaat	0,013	0,520	0,03		
	R_{se}	-	-	0,10		
Binnenwand B	R_{si}	-	-	0,10	3,54	0,28
	Gipskartonplaat	0,013	0,520	0,03		
	85% Minerale wol	0,135	0,041	3,29		
	Gipskartonplaat	0,013	0,520	0,03		
	R_{se}	-	-	0,10		

Tabel 8: Binnenvloer en -wanden (deel I)

Bouwdeel	Materiaal	Dikte	λ	R	R_{Tb}	U-waarde
		m	W/mK	m ² K/W	m ² K/W	W/m ² K
Vloer (opwaarts)	R_{si}	-	-	0,10	3,09	0,32
	Vloerafwerking	0,015	0,190	0,08		
	Isolerende chape	0,050	0,100	0,50		
	Geluidsisolatie	0,020	0,050	0,40		
	OSB-plaat	0,018	0,130	0,14		
	13% Houten liggers	0,215	0,140	1,54		
	Gipsplaat	0,012	0,050	0,24		
	R_{si}	-	-	0,10		
Vloer (neerwaarts)	R_{si}	-	-	0,17	3,23	0,31
	Vloerafwerking	0,015	0,190	0,08		
	Isolerende chape	0,050	0,100	0,50		
	Geluidsisolatie	0,020	0,050	0,40		
	OSB-plaat	0,018	0,130	0,14		
	13% Houten liggers	0,215	0,140	1,54		
	Gipsplaat	0,012	0,050	0,24		
	R_{si}	-	-	0,17		
Binnenwand A	R_{si}	-	-	0,10	0,79	1,27
	Gipskartonplaat	0,013	0,520	0,03		
	15% Houten liggers	0,075	0,140	0,54		
	Gipskartonplaat	0,013	0,520	0,03		
	R_{si}	-	-	0,10		
Binnenwand B	R_{si}	-	-	0,10	1,21	0,82
	Gipskartonplaat	0,013	0,520	0,03		
	15% Houten liggers	0,135	0,140	0,96		
	Gipskartonplaat	0,013	0,520	0,03		
	R_{si}	-	-	0,10		

Tabel 9: Binnenvloer en –wanden (deel II)

Overzicht van de berekende U-waarden:

Bouwdeel	U-Waarde
	W/m ² .K
Vloer op volle grond	0,11
Buitenwand	0,15
Dak	0,10
Raam	0,78
Vloer (opwaarts)	0,56
Vloer (neerwaarts)	0,52
Binnenwand A	0,61
Binnenwand B	0,37

Tabel 10: U-waarden

Stap d: Transmissieverliezen berekenen

1) Gelijkvloers: $\theta_{int,i} = 20^\circ\text{C}$

Gebruikte waarden voor de correctiefactoren:

$$\begin{aligned}
 f_{g1} &= 1,45 \\
 f_{g2} &= \frac{(\theta_{int,i} - \theta_{m,e})}{(\theta_{int,i} - \theta_e)} = \frac{20 - 10}{20 + 8} = 0,36 \\
 U_{equiv} &= \frac{U_{floor}}{1 + U_{floor}} = \frac{0,11}{1 + 0,11} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K} \\
 G_w &= 1,15
 \end{aligned}$$

$$f_{ij} = \frac{(\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{nr}})}{(\theta_{\text{int},i} - \theta_e)} = \frac{20 - 18}{20 + 8} = 0,07 \text{ (verdieping)}$$

$$f_{ij} = \frac{(\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{nr}})}{(\theta_{\text{int},i} - \theta_e)} = \frac{20 - 24}{20 + 8} = -0,14 \text{ (badkamer)}$$

Omgeving	Wand	Onderdeel	A	U	A.U	H _T
			m ²	W/m ² K	W/K	W/K
Buiten	NO	Ramen	2,14	0,78	1,67	27,00
		Buitenwand	24,41	0,15	3,66	
	ZO	Buitenwand	23,60	0,15	3,54	
		Ramen	14,40	0,78	11,23	
	ZW	Buitenwand	12,15	0,15	1,82	
		Ramen	2,43	0,78	1,90	
		Buitenwand	21,17	0,15	3,18	
		Buitenwand	21,17	0,15	3,18	
Bodem	Grond	Naar Bodem	72,00	0,10	7,20	4,32
Ruimtes met andere θ_i	Slaapkamer	Vloer (opwaarts)	9,11	0,56	5,10	1,77
	Overloop	Vloer (opwaarts)	10,87	0,56	6,09	
	Polyval. Ruimte	Vloer (opwaarts)	24,15	0,56	13,52	
	Polyval. Ruimte	Vloer (opwaarts)	24,15	0,56	13,52	
Warmtewinst	Badkamer	Vloer (neerwaarts)	10,39	0,52	5,40	-0,77

Tabel 11: Transmissieverliezen gelijkvloers

Totaal warmteverlies: $\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) * (\theta_{\text{int},i} - \theta_e) = 905 \text{ W}$

2) Slaapkamer: $\theta_{\text{int},i} = 18^\circ\text{C}$

Gebruikte waarden voor de correctiefactoren:

$$f_{ij} = \frac{(\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{nr}})}{(\theta_{\text{int},i} - \theta_e)} = \frac{18 - 20}{18 + 8} = -0,08 \text{ (gelijkvloers)}$$

$$f_{ij} = \frac{(\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{nr}})}{(\theta_{\text{int},i} - \theta_e)} = \frac{18 - 24}{18 + 8} = -0,23 \text{ (badkamer)}$$

Omgeving	Wand	Onderdeel	A	U	A.U	H _T
			m ²	W/m ² K	W/K	W/K
Buiten	NO	Buitenwand	9,63	0,15	1,44	5,65
		Ramen	1,07	0,78	0,83	
	ZO	Buitenwand	10,28	0,15	1,54	
		Dak	18,33	0,10	1,83	
Warmtewinst	Gelijkvloers	Vloer (opwaarts)	9,11	0,56	5,10	-1,10
	Badkamer	Binnenwand B	8,33	0,37	3,08	

Tabel 12: Transmissieverliezen slaapkamer

Totaal warmteverlies: $\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ij}) * (\theta_{\text{int},i} - \theta_e) = 118 \text{ W}$

3) Badkamer: $\theta_{\text{int},i} = 24^\circ\text{C}$

Gebruikte waarden voor de correctiefactoren:

$$f_{ij} = \frac{(\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{nr}})}{(\theta_{\text{int},i} - \theta_e)} = \frac{24 - 20}{24 + 8} = 0,13 \text{ (gelijkvloers)}$$

$$f_{ij} = \frac{(\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{nr}})}{(\theta_{\text{int},i} - \theta_e)} = \frac{24 - 18}{24 + 8} = 0,19 \text{ (verdieping)}$$

Omgeving	Wand	Onderdeel	A	U	A.U	H _T
			m ²	W/m ² K	W/K	W/K
Buiten	ZO	Buitenwand	17,81	0,15	2,67	6,40
	ZW	Ramen	1,92	0,78	1,50	
		Buitenwand	5,49	0,15	0,82	
	Dak	Dakpakket	14,10	0,10	1,41	
Ruimtes met andere θ_i	Gelijkvloers	Vloer (neerwaarts)	10,39	0,52	5,40	2,36
	Slaapkamer	Binnenwand B	8,33	0,37	3,08	
	Overloop	Binnenwand A	5,50	0,61	3,36	
		Binnenwand B	6,85	0,37	2,53	

Tabel 13: Transmissieverliezen badkamer

Totaal warmteverlies: $\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ij}) * (\theta_{int,i} - \theta_e) = 280 \text{ W}$

4) Overloop: $\theta_{int,i} = 18^\circ\text{C}$

Gebruikte waarden voor de correctiefactoren:

$$f_{ij} = \frac{(\theta_{int,i} - \theta_{nr})}{(\theta_{int,i} - \theta_e)} = \frac{18 - 20}{18 + 8} = -0,08 \text{ (gelijkvloers)}$$

$$f_{ij} = \frac{(\theta_{int,i} - \theta_{nr})}{(\theta_{int,i} - \theta_e)} = \frac{18 - 24}{18 + 8} = -0,23 \text{ (badkamer)}$$

Totaal warmteverlies: $\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ij}) * (\theta_{int,i} - \theta_e) = 75 \text{ W}$

Omgeving	Wand	Onderdeel	A	U	A.U	H _T
			m ²	W/m ² K	W/K	W/K
Buiten	NO	Buitenwand	2,72	0,15	0,41	4,71
	ZW	Ramen	3,34	0,78	2,61	
		Buitenwand	1,60	0,15	0,24	
	Dak	Dakpakket	14,57	0,10	1,46	
Warmtewinst	Gelijkvloers	Vloer (opwaarts)	10,87	0,56	6,09	-1,83
	Badkamer	Binnenwand A	5,50	0,61	3,36	
		Binnenwand B	6,85	0,37	2,53	

Tabel 14: Transmissieverliezen overloop

5) Polyvalente Ruimte: $\theta_{int,i} = 18^\circ\text{C}$

Gebruikte waarden voor de correctiefactoren:

$$f_{ij} = \frac{(\theta_{int,i} - \theta_{nr})}{(\theta_{int,i} - \theta_e)} = \frac{18 - 20}{18 + 8} = -0,08 \text{ (gelijkvloers)}$$

Omgeving	Wand	Onderdeel	A	U	A.U	H _T
			m ²	W/m ² K	W/K	W/K
Buiten	NO	Buitenwand	9,88	0,15	1,48	15,00
	ZW	Ramen	3,51	0,78	2,74	
		Buitenwand	6,37	0,15	0,96	
	NW	Ramen	2,35	0,78	1,83	
		Buitenwand	28,21	0,15	4,23	
	Dak	Dakpakket	37,60	0,10	3,76	
Warmtewinst	Gelijkvloers	Vloer (opwaarts)	24,15	0,56	13,52	-1,04

Tabel 15: Transmissieverliezen polyvalente ruimte

$$\text{Totaal warmteverlies: } \Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ij}) * (\theta_{int,i} - \theta_e) = 363 \text{ W}$$

Stap e: Infiltratieverliezen berekenen

De 'blowerdoor'-test wees uit dat de n_{50} -waarde $0,47 \text{ h}^{-1}$ bedraagt⁶.

Gebruikte waarden voor de correctiefactoren:

$$e_i = 0,03 \text{ (voor alle ruimtes)}$$

$$\varepsilon_i = 1$$

Ruimte	V	$\dot{V}_{inf,i}$	$H_{V,i}$	θ_i	$\Phi_{V,i}$
	m^3	m^3/h	W/K	$^{\circ}\text{C}$	W
Gelijkvloers	145,60	4,11	1,40	20,00	39,09
Slaapkamer	22,21	0,63	0,21	18,00	5,54
Badkamer	30,78	0,87	0,30	24,00	9,44
Overloop	31,41	0,89	0,30	18,00	7,83
Polyval. Ruimte	67,62	1,91	0,65	18,00	16,86

Tabel 16: Infiltratieverliezen

Stap f: Totale warmteverlies berekenen

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}$$

Ruimte	$\theta_{int,i}$	$\Phi_{T,i}$	$\Phi_{inf,i}$	Φ_i
	$^{\circ}\text{C}$	W	W	W
Gelijkvloers	20,00	904,73	39,09	944
Slaapkamer	18,00	118,31	5,54	124
Badkamer	24,00	280,32	9,44	290
Overloop	18,00	74,95	7,83	83
Polyval. Ruimte	18,00	362,95	16,86	380
Totaal				1820

Tabel 17: Totale warmteverliezen

Om het totale warmteverlies van het volledige gebouw te berekenen, moet ook rekening gehouden worden met het ventilatieverlies. Het nominale luchtdebiet voor luchtverversing dat door de ventilatie-unit moeten worden geleverd bedraagt $233 \text{ m}^3/\text{h}$ ⁷. Voor de binnentemperatuur wordt een gemiddelde waarde van 20°C aangenomen. Wanneer de tegenstroom warmtewisselaar een constant rendement van 90% heeft, is het **totale ventilatieverlies van de woning** gelijk aan:

$$\begin{aligned} \Phi_{V,i,\text{ventilatiesysteem}} &= 0,10 * 0,34 * nV * (\theta_{int,i} - \theta_e) \\ &= 0,10 * 0,34 * 233 * (20 + 8) \\ &= 222 \text{ W} \end{aligned} \quad [\text{W}]$$

Het volledige **warmteverlies van de woning** bedraagt:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{Totaal}} &= \Phi_{i,\text{totaal}} + \Phi_{V,i,\text{ventilatiesysteem}} \\ &= 1.820 \text{ W} + 222 \text{ W} \\ &= 2.043 \text{ W} \end{aligned}$$

⁶ Bron: Technische fiche PassiefHuis Platform

⁷ Zie 2.3. voor de berekening van dit debiet

Stap g: De opwarmcapaciteit berekenen (volgens de vereenvoudigde methode)

Ruimte	A [m ²]	f_{RH}	$\Phi_{RH,i}$ [W]
	m ²	W / m ²	W
Gelijkvloers	56,00	22	1232,00
Slaapkamer	8,71	22	191,62
Badkamer	10,39	22	228,58
Overloop	10,82	22	238,04
Polyvalent ruimte	24,15	22	531,30

Tabel 18: Opwarmcapaciteit

De Europese Norm vermeldt echter uitdrukkelijk dat deze vereenvoudigde methode om de opwarmcapaciteit te bepalen niet geldt voor houtskeletbouw. In de passiefhuis filosofie past het daarenboven niet een snelle opwarming te eisen na een langere periode van afwezigheid. Er wordt dan ook niet langer rekening gehouden met de opwarmcapaciteit in deze scriptie.

De totale ontwerpwarmtebelasting is dus gelijk aan het totale warmteverlies van de woning: 2.043 W

2.2. Warmtevraag met behulp van PHPP

2.2.1. Algemeen

Om het passiefhuisconcept sneller te verspreiden in de verschillende landen, ontwierp het Passiefhuis Instituut een ontwerppakket dat de conceptie van passiefhuizen sterk kan vereenvoudigen. Het Duitstalige Passivhaus Projektierungs Paket (PHPP) heeft zich als rekenprocedure in honderden passieve gebouwen in Duitsland, Oostenrijk en Zwitserland bewezen als doeltreffend ontwerpmiddel. PHPP is een Excel-rekenblad dat werd gebaseerd op stationaire energiebalansen die op voorhand aan dynamische ijsimulaties gevalideerd werden. Aan de hand van metingen in diverse passiefhuis-projecten werd de validiteit van PHPP kritisch onderzocht. Dit leidde tot een herwerkte versie en het gebruik van het programma voor de certificatie van passiefhuizen.

2.2.2. Principes

De bouwfysische karakteristieken van de besproken woning werden aan de hand van het *PassiefHuis-ProjektPakket 2003 Benelux* bepaald. In bijlage 2 is een afgedrukte exemplaar van de ingevulde werkbladen terug te vinden. Aangezien een volledige analyse van PHPP geen onderwerp uitmaakt van deze scriptie, worden in deze paragraaf slechts enkele aandachtspunten besproken.

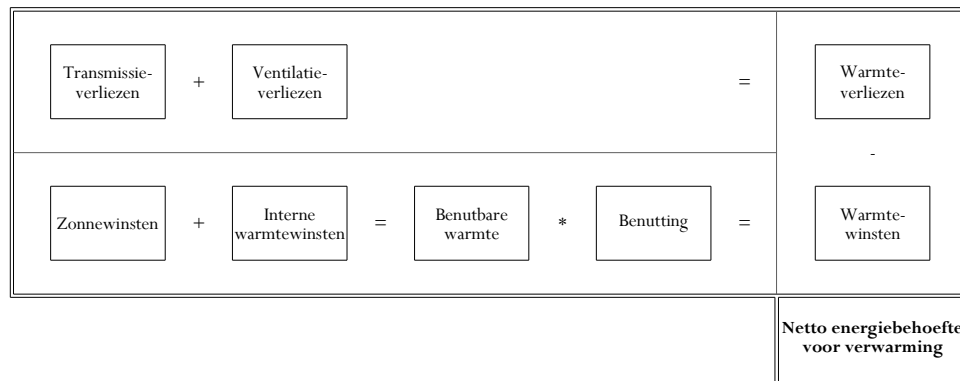
Voor passiefhuizen gebouwd in België (en ingevoerd in *PHPP 2003 Benelux*) wordt standaard met de klimaatgegevens van Ukkel gewerkt. Alle aspecten van het buitenklimaat zoals temperaturen en zonnestraling zijn hierin opgenomen. Dankzij vaste verwijzingen worden de weerdata in de overige werkbladen overgenomen.

Binnen het passieve volume wordt geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende ruimtes. Het volledige volume wordt beschouwd als één zone met een ontwerpbinnetemperatuur van 20°C.

Het belang van passieve warmtewinsten werd reeds verscheidene malen aangehaald. Bij de berekening van de verwarmingsbehoefte worden naast de warmteverliezen, ook de warmtewinsten in rekening gebracht.

Zowel de zonnewinsten, de interne winsten, als de warmtewinsten door de bodem-lucht en de lucht-lucht warmtewisselaar worden in de tabbladen *Energiekengetal Verwarming* en *Behoeft Verwarming* in rekening gebracht.

Doordat de zonnewinsten een invloed uitoefenen op de warmtevraag, ontstaat een warmtebalans zoals in figuur 4 weergegeven. Om de verschillende uiterste gevallen in beschouwing te nemen, onderscheidt het pakket twee weerstoestanden. In het eerste geval, een zeer koude maar zonnige winterdag, zullen de warmteverliezen het grootst zijn. Op een gematigd koude dag zonder noemenswaardige bezonning zullen de zonnewinsten echter het kleinst zijn. De zonnewinsten worden voor beide situaties automatisch in rekening gebracht naargelang de bezonning, de afmetingen van de vensters, oriëntatie en beschaduwing.



Figuur 4: Warmtebalans voor verwarming

Voor het zomercomfort wordt nagegaan hoeveel uren de woningtemperatuur de maximale temperatuur van 25°C overschrijdt. Hoe kleiner de frequentie van temperatuuroverschrijdingen, des te beter het zomercomfort. Wanneer deze waarde groter wordt dan 10%, zijn bijkomende maatregelen tegen oververhitting vereist.

In het werkblad *Resultaat* worden een aantal belangrijke eigenschappen van de woning samengevat. Aan de rechterkant wordt getoetst of er aan de eisen voor certificatie voldaan wordt.

Kengetallen met betrekking tot de gebruiksoppervlakte				
Geconditioneerde nuttige oppervlakte:	112,0	m ²		
	Gebruikt: <u>Jaarprocedure</u>		PH-Certificaat:	Voldaan?
Energiekengetal verwarming:	15	kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	✓
Resultaat blower-door test:	0,47	h ⁻¹	0,6 h ⁻¹	✓
Primair energie-kengetal (WW, verwarming en elektr.):	83	kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a)	✓
Primair energie-kengetal (WW, verwarming en ventilatie):	23	kWh/(m ² a)		
Behoeft verwarming:	12,4	W/m ²		
Temperatuuroverschrijdingen:	3%	meer dan	25	°C

Figuur 5: Resultaten PHPP

Het te installeren vermogen kan worden afgelezen op het werkblad *Behoeft Verwarming*. Voor het passiefhuis Blomme - de Clippele bedraagt deze waarde 1.385 W.

2.3. Ventilatie debieten

Deze paragraaf gaat na of het ventilatiesysteem van de woning kan worden gedimensioneerd volgens de hygiënische ventilatie-eisen in woongebouwen. In dit geval kan de temperatuur enkel geregeld worden in de ruimtes waar zich inblaasmonden bevinden. De temperatuur van de doorstroomruimtes en extractieruimtes is afhankelijk van de lucht die er naartoe stroomt. De badkamertemperatuur kan dus onmogelijk hoger worden dan deze van de aangrenzende ruimtes: overloop en slaapkamer. Om toch de gewenste temperatuur van 24°C te verkrijgen tijdens de korte periodes dat de badkamer gebruikt wordt, kan geopteerd worden voor een elektrische bijverwarming.

Hieronder wordt geverifieerd hoe de ventilatie debieten zich verhouden ten opzichte van de vereiste verwarmingsdebieten.

2.3.1. Nominale debieten

In paragraaf 1.2. werden de eisen omtrent hygiënische ventilatie reeds besproken. De installatie wordt zo ontworpen dat in elke ruimte het nominaal debiet kan geleverd worden. De basiseis hierbij is 3,6 m³/(h.m²), maar op deze regel zijn uitzonderingen naargelang de functie van de ruimte. Voor het passiefhuis te Ename leidt de berekening tot onderstaande tabel:

Ruimte	A	Basiseis	Minimum	Beperking	Pulsie	Extractie
	m ²	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
Technieken	3,99	14,36	25			40
Open Keuken	9,66	34,78	75			110
Leefruimte	31,50	113,40	75	150	114	
Slaapkamer	8,71	31,36	25	72	32	
Badkamer	10,39	37,40	50	75		83
Polyv. ruimte	24,15	86,94	3 x 25	3 x 72	87	
Totaal					233	233

Tabel 19: Nominale debieten

Het totale debiet dat de ventilatie-unit moet kunnen leveren, bedraagt **233 m³/h**.

2.3.2. Luchtverwarming

Nu het nominaal debiet van de volledige woning gekend is, wordt nagegaan of het mogelijk is de woning hiermee te verwarmen.

In de veronderstelling dat de badkamer tot 18°C kan worden opgewarmd door de ventilatielucht, wordt de warmtevraag van de badkamer opnieuw berekend met deze ontwerptemperatuur. De aangepaste parameter reduceert het nodige vermogen van 290 W tot 164 W. Het **totale vermogen** dat de lucht-unit moet kunnen leveren bedraagt dan **1.917 W**; voor de overige 126 W zal de bijverwarming in de badkamer instaan.

Met de formule voor luchtverwarming wordt gecontroleerd of er voldoende warmte kan worden aangebracht met het nominale debiet. Als randvoorwaarde wordt maximale pulsiestemperatuur van 45°C voorop gesteld. Dit wordt zowel voor de warmtevraag en ontwerpbinnetemperatuur volgens de EN 12831 als voor deze volgens PHPP geverifieerd. Bij de berekening met het resultaat van de EN 12831

wordt een gemiddelde temperatuur van 19°C aangenomen; in PHPP is de ontwerpinnentemperatuur 20°C.

$$\Phi = 0,34 * nV * (\theta_{\text{pulsie}} - \theta_{\text{int,i}}) \quad [\text{W}]$$

met:

Φ : het vermogen (W)
 nV : het luchtdebiet (m³/h)
 θ_{pulsie} : pulsietemperatuur (°C)
 $\theta_{\text{int,i}}$: ontwerpinnentemperatuur (°C)

waaruit:
$$\theta_{\text{pulsie}} = \frac{\Phi}{0,34 * nV} + \theta_{\text{int,i}}$$

1) Volgens EN 12831:

$\Phi = 1.917 \text{ W}$
 $nV = 233 \text{ m}^3/\text{h}$
 $\theta_{\text{int,i,gem}} = 19^\circ\text{C}$

waaruit:
$$\theta_{\text{pulsie}} = \frac{1917}{0,34 * 233} + 19 = 43^\circ\text{C}$$

2) Uit PHPP:

$\Phi = 1.385 \text{ W}$
 $nV = 233 \text{ m}^3/\text{h}$
 $\theta_{\text{int,i,gem}} = 20^\circ\text{C}$

waaruit
$$\theta_{\text{pulsie}} = \frac{1.385}{0,34 * 233} + 20 = 37^\circ\text{C}$$

Uit beide rekenmodellen blijkt dus dat de ventilatie-unit kan gekozen worden op basis van het vereiste nominale debiet.

2.3.3. Luchtverdeling

Op stationaire wijze kan de invloed van de luchtverdeling op de binnentemperaturen niet exact worden nagegaan. Om deze op een afdoende manier in te schatten, moet worden overgestapt naar dynamische simulaties. In hoofdstuk 4 zal deze probleemstelling dan ook worden hernomen.

Onderstaande tabel schetst reeds de idee van de probleemstelling.

Ruimte	Φ	Debiet	$\Delta\theta$	$\theta_{\text{int,i}}$	θ_{pulsie}
	W	m ³ /h	°C	°C	°C
Gelijkvloers	944	114	24	20	44
Slaapkamer	124	32	11	18	29
Polyval. ruimte	380	87	13	18	31

Tabel 20: Pulsietemperaturen

Aangezien er in de woning van het koppel Blomme - de Clippele één naverwarmingsbatterij op het hoofdventilatiekanaal werd aangesloten, zal de pulsieelucht in iedere ruimte met eenzelfde temperatuur worden ingeblazen. De hoeveelheid lucht die in een kamer ingeblazen wordt, is echter afhankelijk van de gewenste, hygiënische ventilatie en dus niet van de warmtevraag. De invloed van een hogere pulsietemperatuur in de slaapkamer en de polyvalente ruimte en de doorstroom van deze lucht naar de badkamer toe worden in een volgend hoofdstuk nagegaan aan de hand van dynamische simulaties met het programma TRNSYS.

2.4. Besluit

De NBN B 62-003 en de EN 12831 zijn opgesteld om de ontwerpwarmtebelasting van standaardgebouwen te berekenen. In deze normen wordt echter geen rekening gehouden met passieve strategieën om de warmtevraag te beperken. Daarom ontwikkelde het Passiefhuis Instituut een rekeninstrument dat de berekening en de kwaliteitsbewaking van passiefhuizen nauwgezet bestudeerd. De bepaling van het ontwerpvermogen voor ruimteverwarming van lage energiegebouwen en passiefhuizen volgens PHPP onderscheidt zich van de Belgische en Europese normering door:

- het in rekening brengen van de passieve strategieën om de ventilatielucht voor te verwarmen; het effectieve rendement van aard-lucht warmtewisselaar en lucht-lucht warmtewisselaar worden hiervoor opgegeven.
- het in beschouwing nemen van zonnewinsten en interne warmtewinsten van personen en elektrische apparaten.
- het uitwerken van een bilan voor warmteverliezen en -winsten op twee verschillende referentiedagen; één met maximale warmteverliezen en één met minimale warmtewinsten.
- een correctie op de buitentemperatuur die de grote tijdsconstante van passiefhuizen in rekening brengt.

Zoals de naam reeds meegeeft, draait de hele conceptie van passiefhuizen rond het benutten van passieve warmtewinsten. Indien de berekening van het vermogen voor verwarming geen rekening houdt met deze winsten, doet ze afbreuk aan de filosofie en negeert ze het concept. In de praktijk is reeds meermaals aangetoond dat de behaalde resultaten uit het PHPP-rekenpakket veel dichter aansluiten bij de werkelijkheid dan deze uit de NBN B 62-003. In het volgende hoofdstuk wordt de warmtevraag nogmaals bepaald aan de hand van dynamische simulaties.

Het totale hygiënische ventilatiedebiet is voldoende groot om aan de warmtevraag van de woning te voldoen d.m.v. luchtverwarming. Door hetzelfde kanalennetwerk te gebruiken, is het echter onmogelijk de temperatuur van de doorstroom- en extractieruimtes te regelen. Deze ruimtes moeten van een extra verwarmingselement voorzien worden indien bijverwarming nodig is (vb. badkamer).

Maar ook de temperatuur van de ruimtes waar lucht wordt ingeblazen is moeilijk te regelen. Doorgaans worden de debieten het hele jaar lang door hygiënische ventilatie-eisen bepaald. Luchtverwarming eist echter een andere verdeling van de debieten. In theorie is een aparte thermostaat en naverwarmingsbatterij per kamer noodzakelijk. Dit zou echter een hoge meerkost van de installatie betekenen en is bijgevolg niet de meest economische oplossing.

Hoofdstuk 3: Simulaties warmtevraag en -recuperatie

3. Simulaties warmtevraag en -recuperatie

Aansluitend op het vorige hoofdstuk wordt in eerste instantie een simulatie van de warmtevraag samengesteld. Hierbij gaat de aandacht vooral naar de invloed van de verschillende passieve strategieën. Het laatste gedeelte bestudeert de behaalde resultaten van de warmtewisselaar. In PHPP wordt het binnenklimaat - omsloten door de gebouwschil – vereenvoudigd tot dat van één zone. Er wordt nagegaan of hiermee een fout gemaakt wordt wat warmterecuperatie betreft.

3.1. Algemene opmerkingen

Alle simulaties die in dit hoofdstuk zijn opgenomen, werden gegenereerd met behulp van het software-programma TRNSYS. De gegevens die nodig zijn voor een correcte simulatie, worden opgesplitst in twee belangrijke delen. In de simulatiestudio worden alle afzonderlijke elementen van de installatie samengebracht onder de vorm van iconen. Het belangrijkste icoon is het gebouwmodel dat bepaald wordt door de verwijzing naar een bui-file die afzonderlijk in het deelprogramma TRNBuild wordt aangemaakt.

Noot: In de software worden temperaturen weergegeven door het symbool 'T'. In navolging hiervan, maar afwijkend van de vorige hoofdstukken, worden in de verder tekst temperaturen aangeduid met dit teken.

3.1.1. Het gebouwmodel

In tegenstelling tot de stationaire berekening in paragraaf 2.1.2., wordt de woning slechts in vier zones verdeeld: gelijkvloers, slaapkamer, badkamer en polyvalente ruimte. Aangezien het gelijkvloers en de overloop fysisch in contact staan met elkaar via het trapgat, worden deze twee ruimtes in de simulaties als één zone behandeld. Bij de simulaties zijn de ontwerpbinnetemperaturen steeds de beginwaarden voor de zonetemperatuur:

- $T_{\text{gelijkvloers}} = 20^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{slaapkamer}} = 18^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{badkamer}} = 24^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{polyvalente ruimte}} = 18^{\circ}\text{C}$

Aangezien TRNBuild bij de wandopbouw gebruik maakt van bibliotheekmaterialen, zijn de U-waarden van de verschillende bouwelementen slechts in beperkte mate beïnvloedbaar. De verkregen U-waarden zijn tot en met twee cijfers na de komma gelijk aan deze uit de berekeningen in paragraaf 2.1.2. Met de eerste 'stationaire simulatie' van paragraaf 3.2.1. wordt dan ook nagegaan op welke manier het woningmodel voldoet aan de werkelijkheid.

Het infiltratievoud, dat voor iedere zone identiek is, wordt gedefinieerd aan de hand van dezelfde formule als in paragraaf 2.1.1:

$$\dot{V}_{\text{inf},i} = 2 * V_i * n_{50} * e_i * \epsilon_i$$

waaruit: $n = 2 * n_{50} * e_i = 2 * 0,47 * 0,03 = 0,028 \text{ h}^{-1}$

Voor de ventilatiedebieten wordt in dit hoofdstuk uitgegaan van de nominale debieten die in 2.3.1. werden berekend.

3.1.2. De simulatiestudio

Specifieke weerdata worden ingegeven door een weerfile toe te voegen in het weersicoon. Deze gegevens kunnen dan gekoppeld worden met de andere iconen. Voor de simulaties in dit werk werd gebruik gemaakt van een weerfile *TRY Ukkel* genaamd. Deze file werd aangemaakt naar aanleiding van een Europees project dat ernaar streefde testreferentiejaar op te stellen voor een aantal gebieden in Europa. Dit opzet leidde tot weerdatasets die bij computersimulaties omtrent zonne-energiesystemen en energieverbruik in gebouwen kunnen worden ingezet. Voor meer informatie zie [11].

De warmtewisselaar wordt gesimuleerd met een constante effectiviteit gelijk aan 90%. Om voor iedere simulatiestap de temperatuur van de verse lucht in rekening te brengen, wordt dit icoon gekoppeld met de weerdata of met de grondbuis.

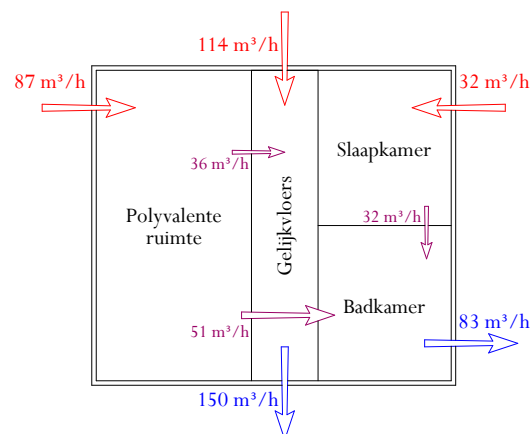
Om het effect van de grondbuis op de temperatuur van de aanzuiglucht te simuleren, wordt de vereenvoudigde formule uit de wetenschappelijke studie van De Paepe en Janssens ⁸ gebruikt:

$$\varepsilon = \frac{T_{\text{air,out}} - T_{\text{air,in}}}{T_{\text{wall}} - T_{\text{air,in}}}$$

De temperatuur van de ondergrond wordt constant verondersteld (10°C) en de overgangscoëfficiënten worden verwaarloosd. De effectiviteit van de grondbuis wordt onafhankelijk van het doorstroomdebiet aangenomen als zijnde 90%. Bovenstaande formule wordt dan omgevormd tot:

$$T_{\text{air,out}} = 0,90 \times (10 - T_e) + T_e$$

De temperatuur van de extractielucht wordt bepaald vanuit een vereenvoudigde luchtstroming die in onderstaand schema geschetst wordt.



Figuur 6: Luchtdoorstroming

⁸ Bron: M. De Paepe, A. Janssens, "Thermo-hydraulic design of earth-air heat exchangers", Energy and Buildings, nr. 35, 2003, pag: 389-397

In de simulaties wordt de overloop op een hogere temperatuur verondersteld dan in werkelijkheid het geval is (zie 3.1.1.). Om deze reden wordt de doorstroamlucht die de badkamer binnenkomt rechtstreeks uit de slaapkamer en polyvalente ruimte verondersteld. Er wordt rekening gehouden met een balansventilatie.

Rekening houdend met nominale debieten, volgt uit figuur 6 dat, de extractielucht die doorheen de warmtewisselaar zal stromen, bestaat uit 83 m³/h afkomstig van de badkamer en 150 m³/h van het gelijkvloers. De temperatuur zal dus gelijk zijn aan de procentuele verhouding tussen de temperatuur van de badkamer en het gelijkvloers:

$$T_{\text{extractie}} = 0,64 \times T_{\text{gelijkvloers}} + 0,36 \times T_{\text{badkamer}}$$

De temperatuur van de lucht die in de badkamer binnenkomt, wordt op dezelfde wijze bepaald:

$$T_{\text{ven, badkamer}} = 0,385 \times T_{\text{slaapkamer}} + 0,615 \times T_{\text{polyvalente}}$$

Door middel van het icoon *Zonnwinsten* worden de stralingseigenschappen (uit de outputgegevens van de weerfile) bruikbaar als inputgegevens voor het *Gebouwmodel*. De instraling van de zon is afhankelijk van de oriëntatie, de helling en de ligging van de muur- en dakvlakken.

Wanneer de warmtevraag met behulp van een aantal simulaties bepaald is, wordt de naverwarmingsbatterij aan het model toegevoegd aan de hand van een vergelijking. De precieze formule, samen met het gebruik van sensoren, wordt in 3.3. nader verklaard.

3.2. Warmtevraag

Om de warmtevraag te bepalen, wordt in iedere zone van het gebouw een verwarmingselement met een oneindig vermogen ingevoerd. Dit element zorgt ervoor dat de minimale, ingestelde kamertemperatuur steeds behouden blijft. Het geleverde vermogen wordt voor de verschillende randvoorwaarden gesimuleerd.

3.2.1. Parameters van EN 12831

Wanneer de berekening van de ontwerpwarmtebelasting volgens de EN 12831 wordt ontleed, worden de volgende parameters onderscheiden:

1. Als ontwerpbuitentemperatuur wordt een extreem koude waarde vooropgesteld: $T_e = -8^\circ\text{C}$
2. De ontwerpbinnentemperaturen van de verschillende ruimtes worden bepaald naargelang de functie van de ruimte:
 - $T_{\text{int, i, gelijkvloers}} = 20^\circ\text{C}$
 - $T_{\text{int, i, slaapkamer}} = 18^\circ\text{C}$
 - $T_{\text{int, i, badkamer}} = 24^\circ\text{C}$
 - $T_{\text{int, i, overloop}} = 18^\circ\text{C}$
 - $T_{\text{int, i, polyvalente ruimte}} = 18^\circ\text{C}$
3. Voor de ventilatieverliezen wordt in eerste instantie enkel rekening gehouden met de infiltratieverliezen per ruimte. Om het verlies van de warmterecuperatie in rekening te brengen, wordt op gebouwniveau 10% van de ventilatieverliezen toegevoegd.
4. Deze methode houdt geen rekening met passieve warmtewinsten (grondbuis, zonnwinsten en interne warmtewinsten).

Om een idee te krijgen van de correctheid van het gebouwmodel, wordt in de eerste simulatie enkel rekening gehouden met de transmissie- en infiltratieverliezen van de verschillende zones bij een buitentemperatuur van -8°C . Om de invloed van de instelwaarden weg te werken, loopt de simulatie totdat constante waarden verkregen worden. Deze verkregen warmteverliezen worden vergeleken met de warmteverliezen ($\Phi_{i, \text{totaal}}$) berekend in paragraaf 2.1.2.

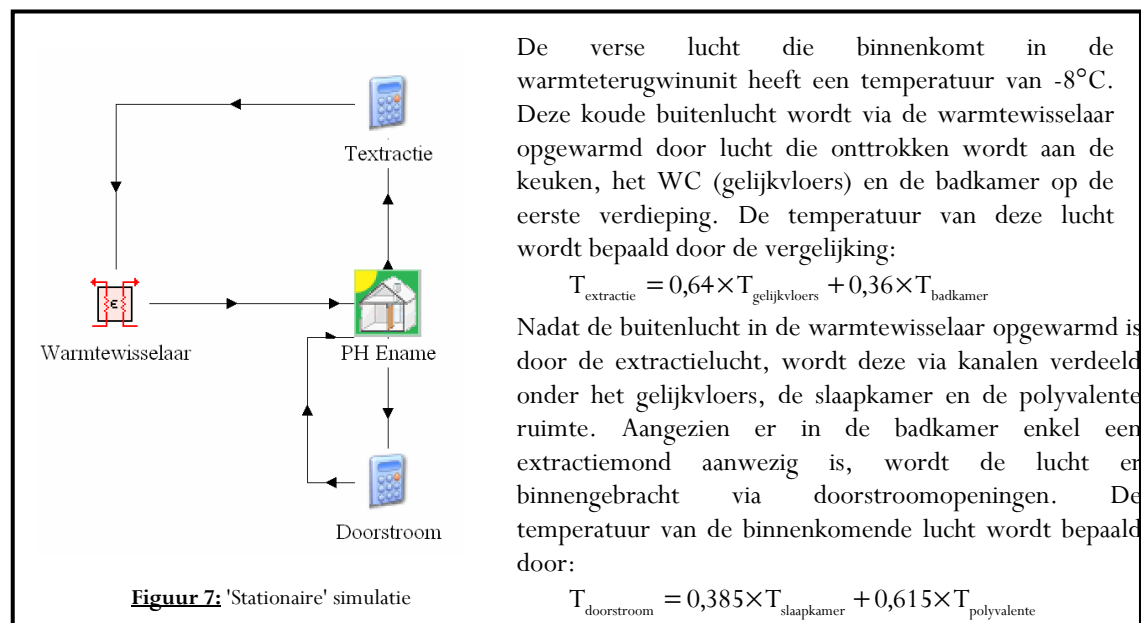
Stationair - EN 12831	$Q_{\text{gelijkvloers}}$	$Q_{\text{slaapkamer}}$	Q_{badkamer}	$Q_{T, i, \text{polyv. ruimte}}$	$\Phi_{T, i, \text{totaal}}$
	W	W	W	W	W
Simulatie TRNSYS	999	151	194	401	1.746
Berekening (2.1.2.)	1.027	124	290	380	1.821

Tabel 21: Transmissie- en infiltratieverliezen

In bovenstaande tabel valt vooral op dat de warmteverliezen van de badkamer onderschat worden in de simulatie. Dit is waarschijnlijk te wijten aan de omvang van de transmissieverliezen naar aangrenzende ruimtes en naar buiten in combinatie met de kleine afwijking van de U-waarden. Op het totale warmteverlies is de gemaakte fout echter zeer beperkt: circa 4%.

Invloed ventilatie

Na het toevoegen van de warmtewisselaar ontstaat volgend simulatiemodel:



In tabel 22 zijn de gesimuleerde waarden weergegeven. Deze worden vergeleken met de totaal berekende warmteverliezen uit 2.1.2. (Φ_{Totaal}).

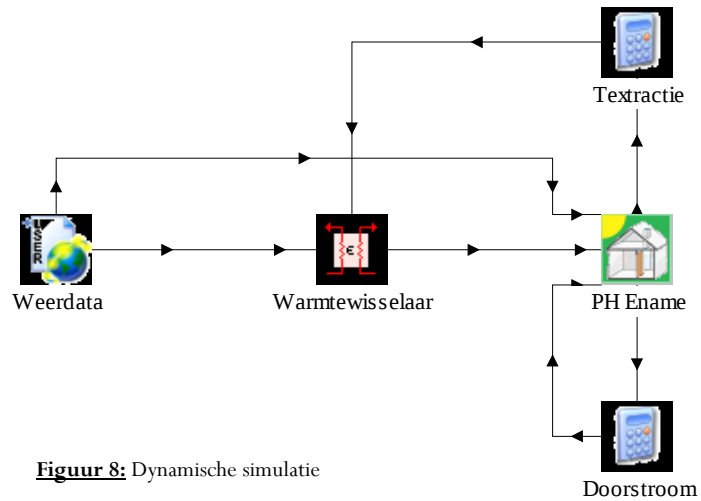
Stationair - met ventilatie	$Q_{\text{gelijkvloers}}$	$Q_{\text{slaapkamer}}$	Q_{badkamer}	$Q_{\text{polyvalente ruimte}}$	Q_{totaal}
	W	W	W	W	W
Simulatie TRNSYS	1.108	182	194	484	1.968
Berekening (2.1.2.)	-	-	-	-	2.043

Tabel 22: Totale warmteverlies (stationair)

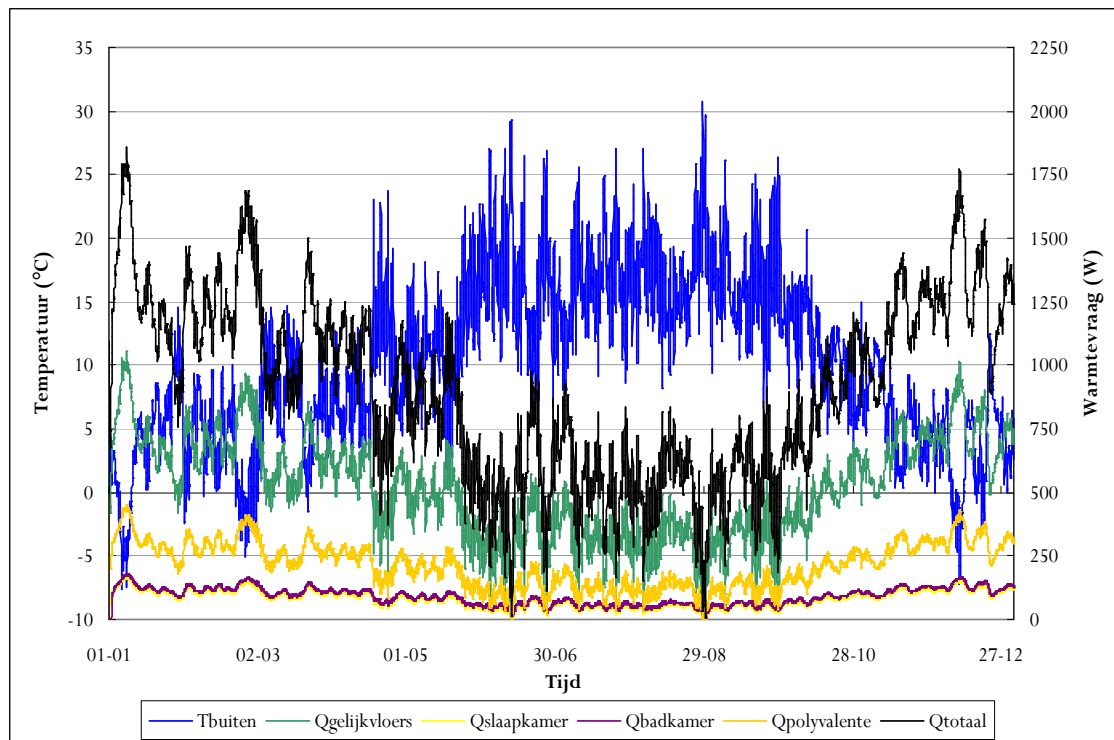
Ook hier bedraagt het verschil van de warmtevraag voor de volledige woning tussen de simulatieresultaten en de berekening ongeveer 4%; het gehanteerde gebouwmodel is dus vrij betrouwbaar.

Dynamische simulatie

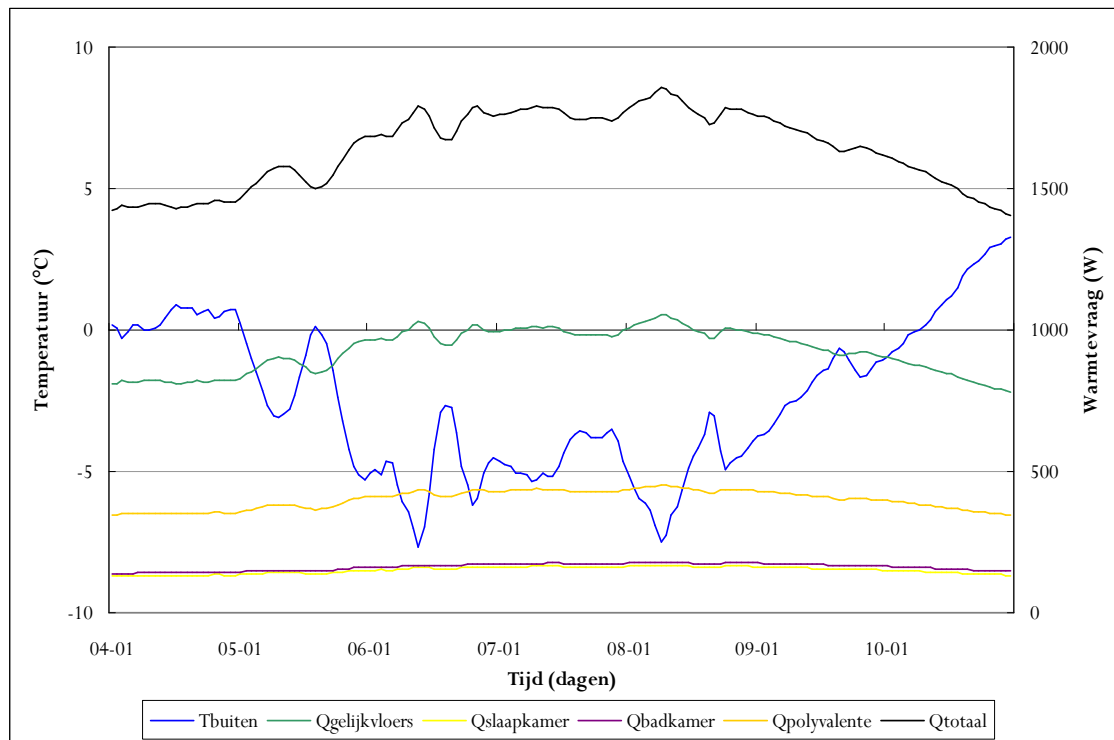
De volgende stap bestaat erin reële weerdata aan het model te koppelen. Hiermee wordt het mogelijk een dynamische buitentemperatuur als input naar de woning en de WTW-unit te versturen. Het verloop van de warmtevraag op jaarbasis is uit grafiek 1 af te lezen. In grafiek 2 is een simulatie weergegeven van de koudste week.



Figuur 8: Dynamische simulatie



Grafiek 1: Jaarsimulatie warmtevraag



Grafiek 2: Weeksimulatie warmtevraag (4 tot 10 januari)

Uit de analyse van de koudste week (4 tot 10 januari: zie grafiek 2) blijkt dat de piekwaarde van de warmtevraag wegens de grote tijdsconstante van de woning twee dagen later optreedt dan de laagste buitentemperatuur ($T_e = -7,65^\circ\text{C}$). $Q_{\max}$ wordt op een tweede dalpunt van de temperatuur ($T_e = -7,50^\circ\text{C}$) behaald en bedraagt **1.857 W** voor de ganse woning.

De ontwerpwarmtebelasting per zone bedraagt:

	$Q_{\text{gelijkvloers}}$	$Q_{\text{slaapkamer}}$	Q_{badkamer}	$Q_{\text{polyvalente ruimte}}$	Q_{totaal}
	W	W	W	W	W
Dynamische simulatie (weerfile)	1.056	169	179	453	1.857
Stationair simulatie	1.108	182	194	484	1.968

Tabel 23: Piekwaarden dynamische warmtevraag

Logischerwijze is de ontwerpwarmtebelasting lager bij de dynamische simulatie aangezien de laagste waarde van de buitentemperatuur ($-7,65^\circ\text{C}$) hoger is dan de basisbuitentemperatuur die in de EN 12831 (-8°C) gebruikt wordt.

Aangezien de resultaten van deze jaarsimulatie per uur worden weergegeven, kan uit hun som het jaarverbruik worden afgelezen. Op deze manier wordt in deze en volgende simulatie niet alleen het te installeren vermogen bepaald en vergeleken, maar ook het jaarverbruik dat nodig is om de woning te verwarmen.

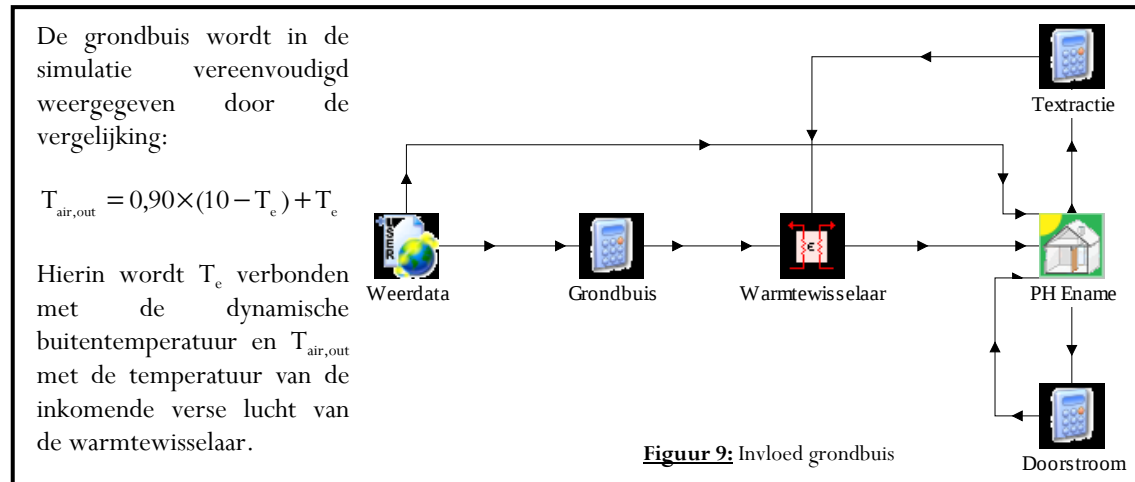
Uit deze dynamische simulatie werden de volgende waarden verkregen:

- $Q_{\max, \text{totaal}} = 1.968 \text{ W}$
- Jaarverbruik = 7.950 kWh of 71 kWh/m²

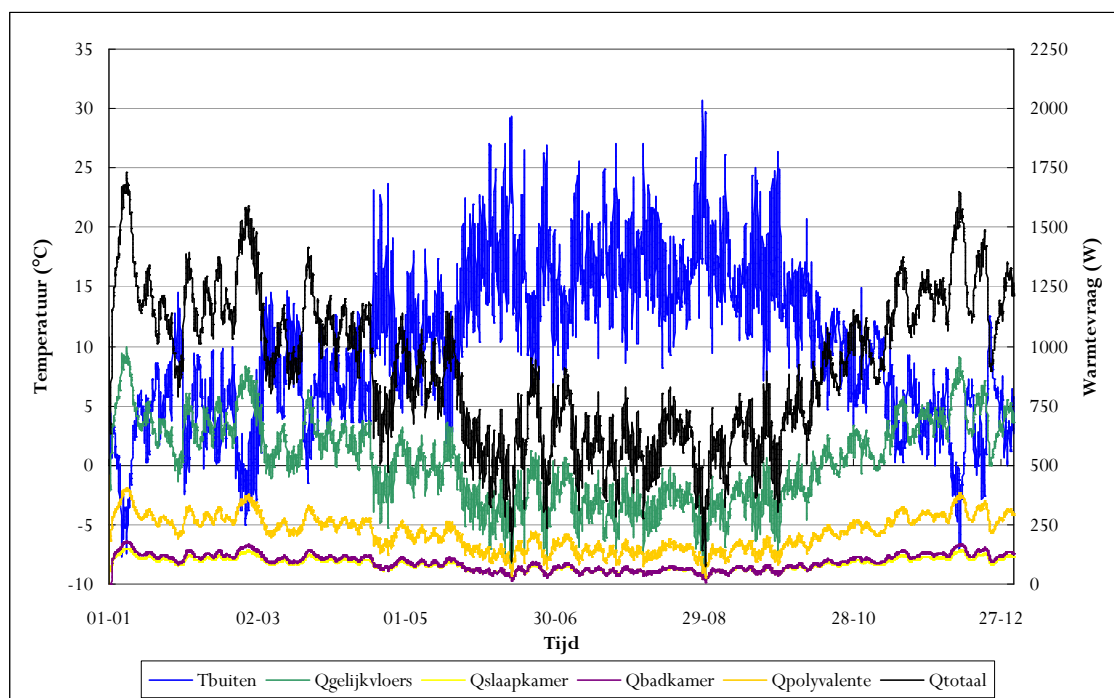
De volgende paragrafen bespreken de invloed van verschillende parameters op de warmtevraag. Zowel de piekwaarde van iedere zone, als de totale piekwaarde en het jaarverbruik worden besproken.

3.2.2. Invloed grondbuis

Een eerste passieve strategie om energie te besparen waarover het passiefhuis beschikt, is de bodem-lucht warmtewisselaar. Verse buitenlucht wordt het hele jaar lang doorheen de grondbuis naar de WTW-unit aangezogen. Deze aardwarmtewisselaar met een diameter van 200 mm en een lengte van 35 m ligt op een gemiddelde diepte van 1,8 m in de ondergrond.



In grafiek 3 wordt de warmtevraag, rekening houdend met de invloed van de bodem-lucht warmtewisselaar over een jaar uitgezet.



De piekwaarden afgelezen uit de grafiek bedragen:

Dynamisch	$Q_{\text{gelijkvloers}}$	$Q_{\text{slaapkamer}}$	Q_{badkamer}	$Q_{\text{polyv. ruimte}}$	Q_{totaal}	Jaarverbruik
	W	W	W	W	W	kWh/m ²
Met grondbuis	995	152	179	407	1.733	71
Dynamische simulatie (weerfile)	1.056	169	179	453	1.857	71

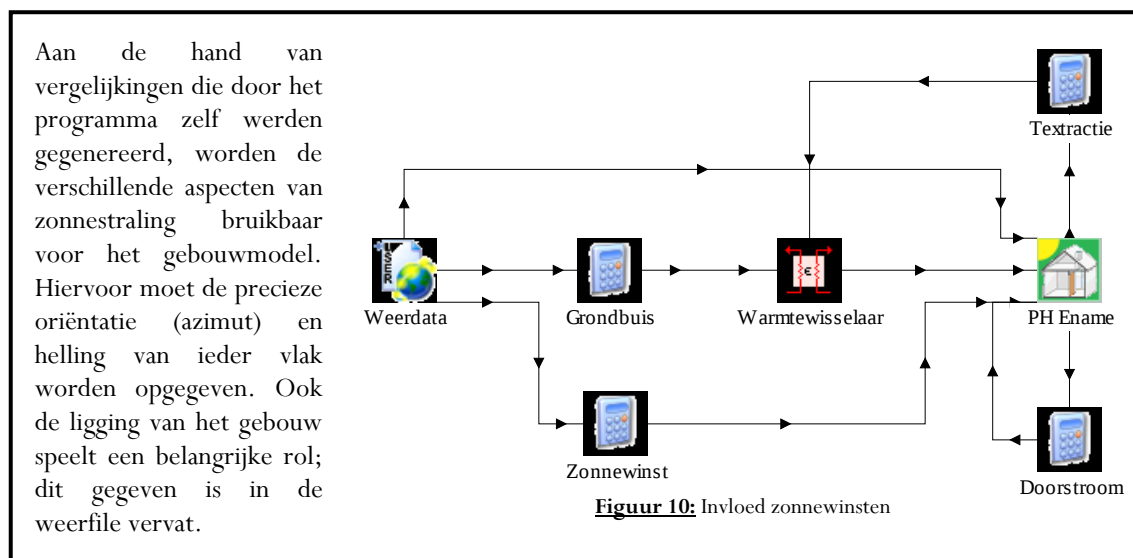
Tabel 24: Invloed grondbuis

Aangezien de badkamer geen lucht ontvangt van de WTW-unit, heeft het gebruik van een grondbuis geen effect op de warmtevraag van deze ruimte. Voor de andere ruimtes heeft de plaatsing van een grondbuis een positief effect op de pickwarmtevraag: het te installeren vermogen zal dus kleiner zijn.

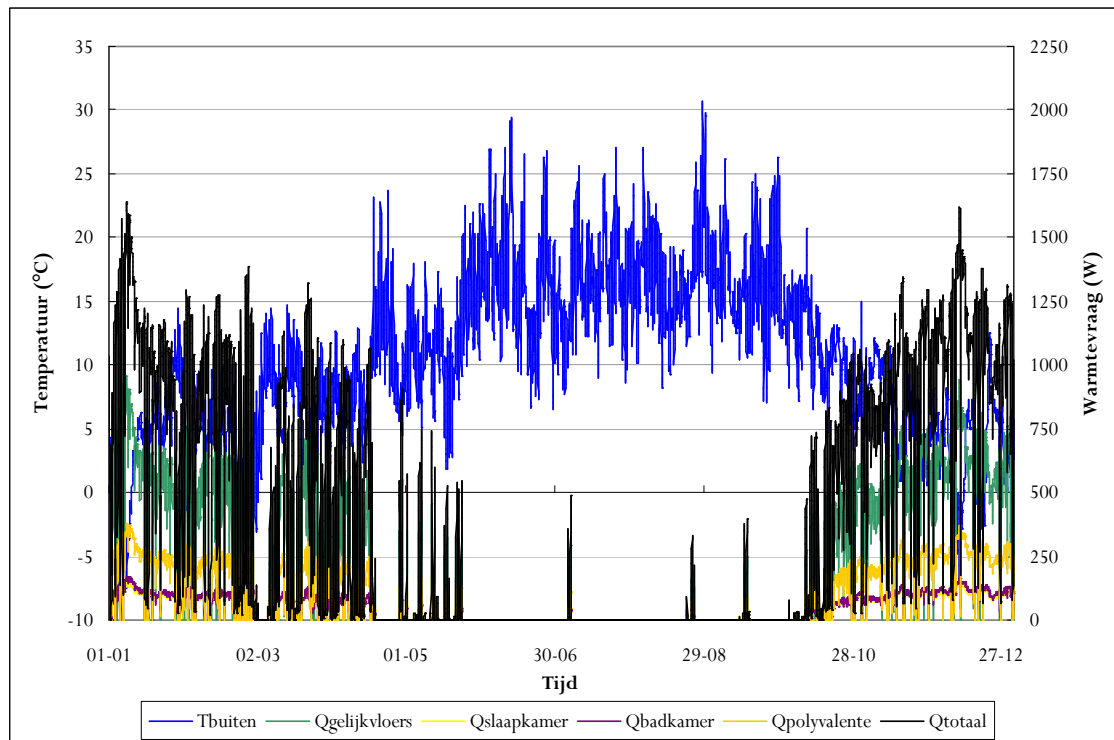
Op het jaarverbruik lijkt de grondbuis geen invloed te hebben. Dit resultaat heeft vermoedelijk te maken met de buitentemperaturen tijdens de tussenseizoenen. In onderdeel 6.1. wordt hier verder op ingegaan.

3.2.3. Invloed zonnewinsten

De grote glaspartij die naar het zuid-westen gericht is, moet het passiefhuis voorzien van zonnewarmte. De kamers die aan deze glaswand grenzen en dus van de opgevangen warmte kunnen genieten zijn het gelijkvloers, de badkamer en de polyvalente ruimte. De oppervlakte van de overige beglazing is beperkt. Deze vensters brengen in alle vertrekken natuurlijk licht binnen, maar er worden geen grote warmtewinsten doorheen deze ramen verwacht.



Grafiek 4 toont de invloed van zonnewarmte op de warmtevraag:

**Grafiek 4:** Invloed zonnepanelen

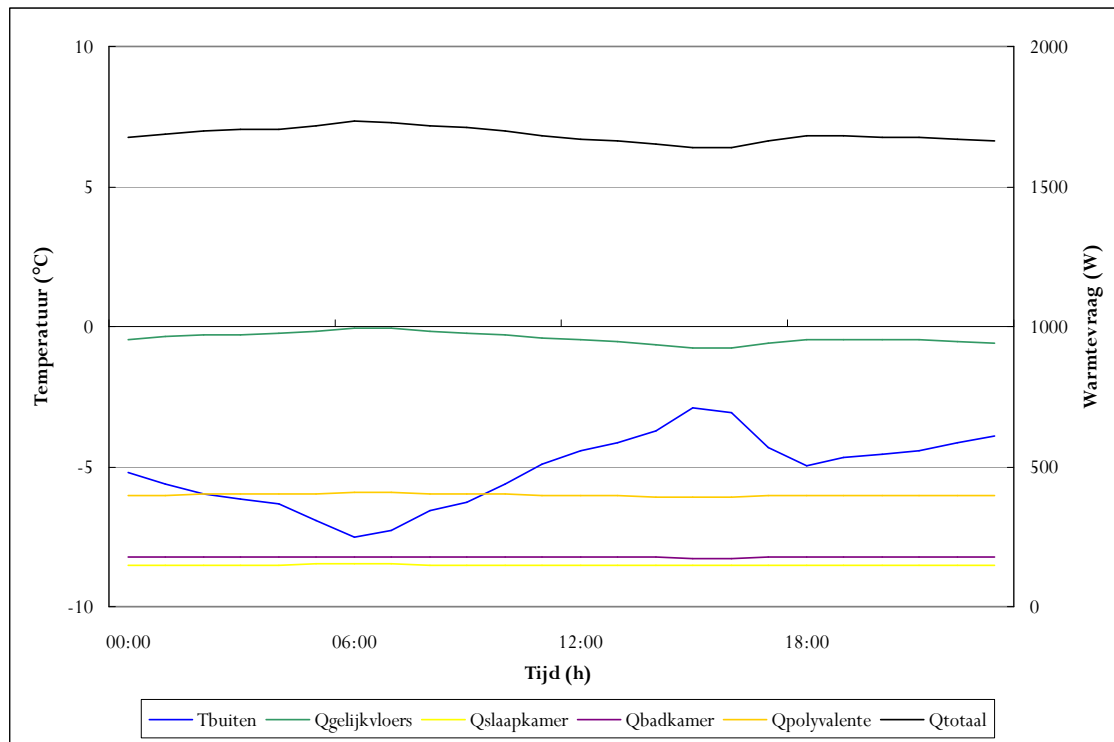
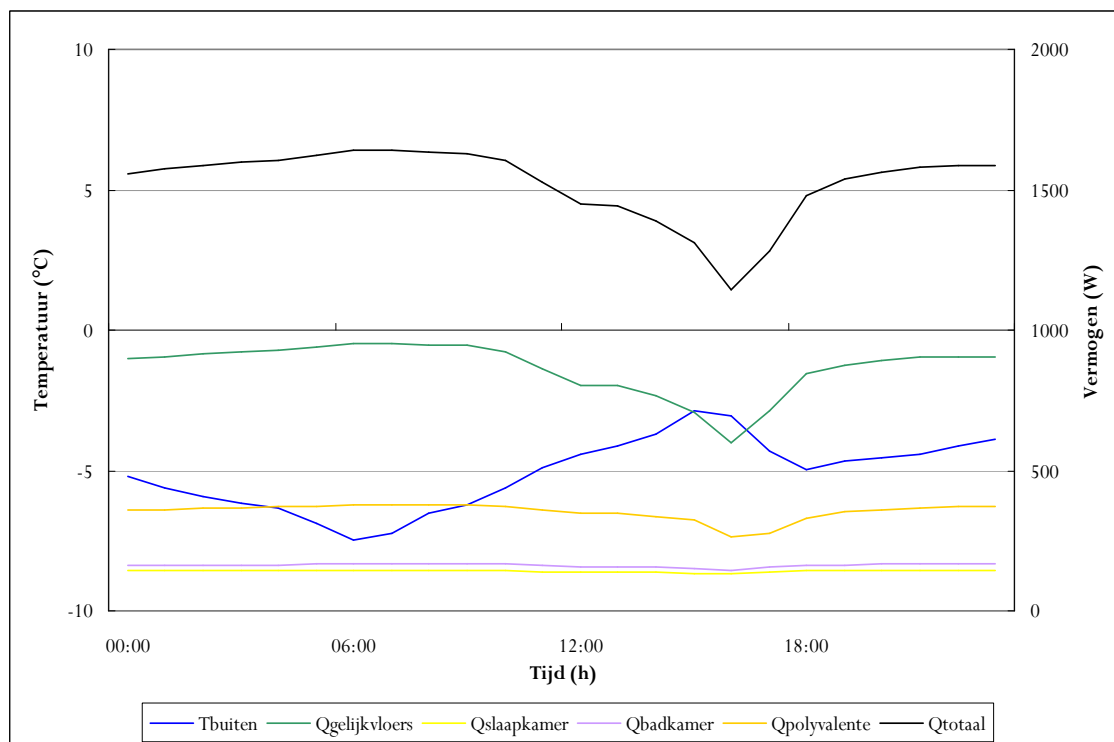
De piekwaarden die bij deze grafiek horen zijn:

Dynamisch	$Q_{gelijkvloers}$	$Q_{slaapkamer}$	$Q_{badkamer}$	$Q_{polyv. ruimte}$	Q_{totaal}	Jaarverbruik
	W	W	W	W	W	kWh/m ²
Met zonnepanelen	954	145	168	377	1642	31
Met grondbuis	995	152	179	407	1733	71

Tabel 25: Invloed zonnepanelen

Wat bij de voorgaande grafieken opvalt en duidelijk afwijkt van de werkelijkheid, is het feit dat er gedurende het ganse jaar een warmtevraag is. Het is echter ondenkbaar dat een woning in ons klimaat het hele jaar door verwarmd wordt. Het belang van zonnepanelen in de simulaties is hiermee bewezen. In grafiek 4 valt meteen op dat stookperiode bijna gehalveerd wordt. Het spreekt voor zich dat om dezelfde reden het energieverbruik spectaculair daalt: het jaarverbruik wordt met ongeveer 56% teruggedrongen.

Op 8 januari leveren de gesimuleerde verwarmingselementen hun piekvermogen. De volgende twee grafieken helpen de invloed van de zonnepanelen voor deze koude dag nauwkeuriger inschatten:

**Grafiek 5:** Dagsimulatie zonder zonnewinsten**Grafiek 6:** Dagsimulatie met zonnewinsten

Het is duidelijk dat de warmtevraag niet langer enkel en alleen afhankelijk is van de buitentemperatuur. Rond de middag wordt de warmtevraag duidelijk gereduceerd door de binnenvallende zonnewarmte. Dankzij de grote hoeveelheid glas aan de zuidzijde van het gelijkvloers, is het grootste effect zichtbaar op de warmtevraag van deze zone. De grafieklijn daalt spectaculair van circa 1.000 W tot ongeveer 600 W.

Voor de berekening van de warmtevraag moet een ontwerpklimaat gekozen worden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de weerfile *TRY Ukkel*. Na de verschillende simulaties blijkt dat de grootste warmtevraag zich steeds op 8 januari voordoet, twee dagen later dan de laagste buitentemperatuur. In TRY Ukkel heeft zonnestraling op deze dag weinig invloed op de totale warmtevraag, nl. 5%. Het ontwerpklimaat wordt dus bepaald door de koudste dag van het jaar en de tijdsconstante van de woning.

3.2.4. Invloed interne warmtewinsten

Ook personen, verlichting, apparaten, etc. geven warmte af in de woning. In TRNSYS wordt dit aspect in het gebouwmodel (bui-file) ingevoerd. Een ruimte moet slechts op de gewenste temperatuur gebracht worden indien er minstens één persoon in rust (zittend) aanwezig is. Andere warmtewinsten zoals de warmteproductie van kunstverlichting, koken, frigo, ... worden niet in rekening gebracht aangezien zij de simulatie onnodig ingewikkeld zouden maken.

Dynamisch	$Q_{\text{gelijkvloers}}$	$Q_{\text{slaapkamer}}$	Q_{badkamer}	$Q_{\text{polyv. ruimte}}$	Q_{totaal}	Jaarverbruik
	W	W	W	W	W	kWh/m ²
Met interne winsten	893	86	109	318	1.404	21
Met zonnewinsten	954	145	168	377	1642	31

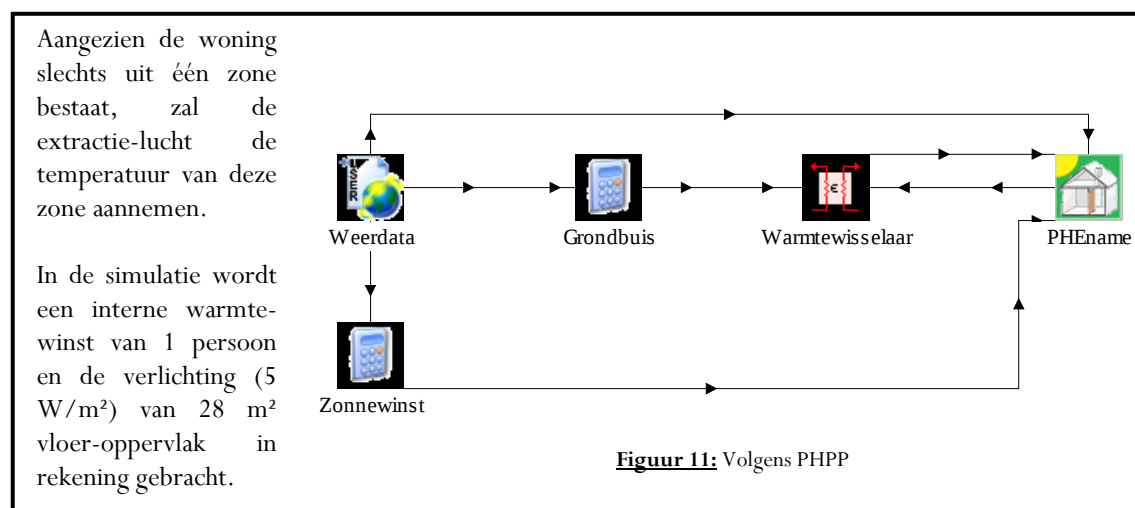
Tabel 26: Invloed interne warmtewinsten

Aangezien de warmtewinst in ieder kamer dezelfde waarde heeft, is het onnodig een grafiek van deze simulatie af te beelden. Deze is uiteraard volledig gelijkaardig aan de grafiek zonder interne warmtewinsten; de resultaten worden verlaagd met een waarde van ongeveer 60 W.

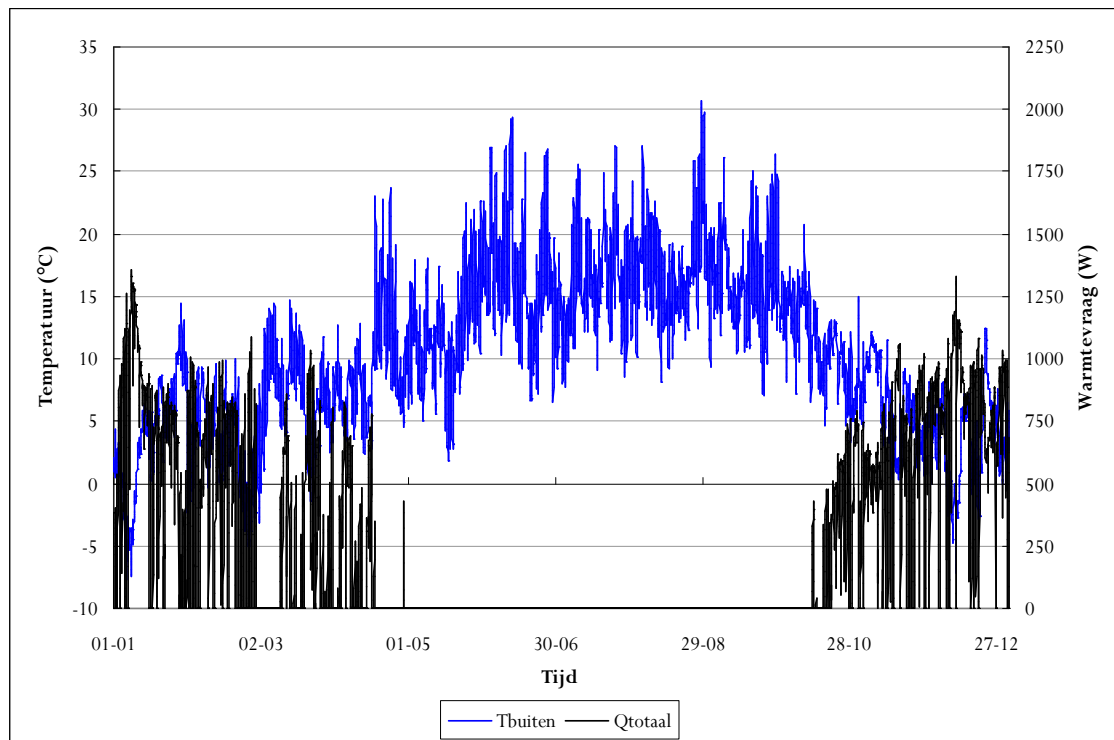
3.2.5. Parameters van PHPP

Indien men een simulatie wil opstellen die gelijkaardig is aan de berekeningen volgens PHPP, moet rekening gehouden worden met de volgende aandachtspunten:

1. De volledige woning wordt beschouwd als één zone met een ontwerpbinntemperatuur van 20°C.
2. Minimale interne warmtewinsten (aanwezigheid van één persoon) en zonnewinsten worden in beschouwing genomen.
3. Er wordt rekening gehouden met het effectief warmteterugwinrendement van het ventilatiesysteem.



Grafiek 7 geeft de resultaten van deze simulatie weer:



Grafiek 7: Volgens PHPP

De piekwaarde van de totale warmtevraag en het energieverbruik op jaarbasis bedragen:

Dynamisch	$Q_{\text{gelijkvloers}}$	$Q_{\text{slaapkamer}}$	Q_{badkamer}	$Q_{\text{polyv. ruimte}}$	Q_{totaal}	Jaarverbruik
	W	W	W	W	W	kWh/m ²
Simulatie PHPP	-	-	-	-	1.353	20
Met interne winsten	893	86	109	318	1.404	21
Berekening PHPP	-	-	-	-	1.385	15

Tabel 27: Volgens PHPP

In bovenstaande tabel is het te installeren vermogen in de drie gevallen zeer gelijkaardig. Het rekenresultaat uit het PassiefHuis ProjektPakket van het jaarverbruik is een vierde kleiner dan het verwarmingsverbruik uit de simulaties. De oorzaak hiervan is mogelijk het gevolg van de vereenvoudiging die in het softwarepakket gehanteerd wordt. De jaarlijkse transmissieverliezen worden er berekend aan de hand van de formule:

$$Q_T = A \times U \times f_T \times G_T$$

met:

- A: oppervlakte van het bouwdeel [m²]
- U: U-waarde van het bouwdeel [W/(m².K)]
- f_T : reductiefactor voor verminderd temperatuurverschil
- G_T : het temperatuurverschil geïntegreerd over de tijd [graaduren]

De grootste vereenvoudiging zit waarschijnlijk in het gebruik van de graaduren. Men neemt een gemiddelde waarde aan voor de graaduren voor verwarming voor woongebouwen in het Belgische klimaat van 72,1 kWh/jaar. Voor meer informatie zie [10].

3.2.6. Besluit:

Werkwijze	Q _{gelijkvloers}	Q _{slaapkamer}	Q _{badkamer}	Q _{polyv. ruimte}	Q _{totaal}	Jaarverbruik
	W	W	W	W	W	kWh/m ²
Stationair						
Berekening (2.1.2.) - EN 12831	1.027	124	290	380	1.821	-
Simulatie TRNSYS - EN12831	999	151	194	401	1.746	-
Berekening (2.1.2.) - met ventilatie	-	-	-	-	2.043	-
Simulatie TRNSYS - met ventilatie	1.108	182	194	484	1.968	-
Dynamisch						
Simulatie (weerfile)	1.056	169	179	453	1.857	71
Met grondbuis	995	152	179	407	1.733	71
Met zonnepanelen	954	145	168	377	1.642	31
Met interne winsten	893	86	109	318	1.404	21
Volgens PHPP	-	-	-	-	1.353	20
PHPP-software	-	-	-	-	1.385	15

Tabel 28: Overzicht warmtevraag

De eerste simulaties, waarvan de resultaten vergeleken werden met de berekeningen volgens EN 12831 tonen aan dat het gebruikte gebouwmodel betrouwbaar is. Hetzelfde gebouwmodel wordt dan ook in de verdere modellen gehanteerd.

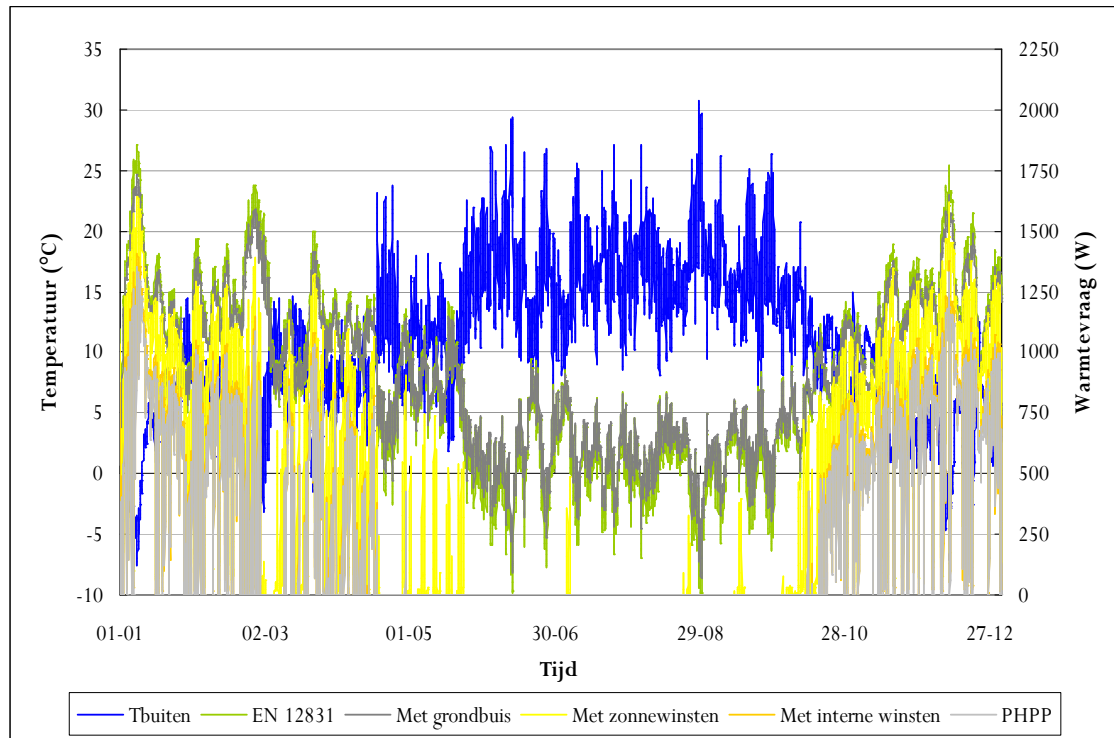
De grondbuis verlaagt het te installeren vermogen met 6,5%, maar beïnvloedt het jaarlijkse energieverbruik niet. Wegens de gemaakte vereenvoudigingen is het gepast de behaalde resultaten ruimer te interpreteren. Het is mogelijk dat de grondbuis een positieve invloed heeft op het verbruik, maar deze zal in ieder geval zeer beperkt zijn.

Wanneer de zonnepanelen in rekening worden gebracht bij de bepaling van de maximale warmtevraag, vermindert deze met 5,5%. Een opvallender resultaat uit deze simulatie is de daling van het energieverbruik voor verwarming. Ruim 59% van de warmtevraag wordt opgevangen door de zonnepanelen op een doordachte manier in de woning binnen te laten.

Het vereenvoudigen van de woning tot één zone heeft een beperkte invloed op het piekvermogen en het jaarverbruik. De berekeningsmethode die in PHPP het energieverbruik voor verwarming (jaarverbruik per m²) bepaalt, wordt wel twijfelachtig aangezien deze in vergelijking met de simulaties aanleiding geeft tot een onderschatting van het jaarlijks energieverbruik voor verwarming met een factor 1/4.

Tenslotte wordt opgemerkt dat de piekwarmtevraag zich steeds op 8 januari voordoet: twee dagen voordien wordt de laagste buitentemperatuur afgelezen. Uit onderstaande grafiek blijkt dat de hoogste pieken zowel voor de simulatie met als zonder zonnepanelen zich in januari en december aftekenen. Eind februari valt op dat er een derde piek behaald wordt indien men geen rekening houdt met de zon; in het andere geval verdwijnt deze piek.

Grafiek 8 geeft een overzicht van de warmtevraag voor de gemaakte simulaties:



Grafiek 8: Overzicht warmtevraag

3.3. Warmterecuperatie

In het PHPP-softwarepakket wordt de woning vereenvoudigd tot één zone met een ontwerptemperatuur van 20°C. Door deze vereenvoudiging veronderstelt men dat de extractielucht dezelfde temperatuur heeft als het referentielokaal waar de thermostaat is opgesteld. In werkelijkheid is de extractielucht afkomstig uit twee zones op een verschillende temperatuur. In wat volgt wordt nagegaan in welke mate het temperatuursverschil van de extractielucht de warmterecuperatie beïnvloedt.

3.3.1. Algemene opmerkingen

Nu de ontwerpwarmtebelasting uit 3.2.4. gekend is, wordt het verwarmingselement uit iedere zone verwijderd en wordt een vereenvoudigde warmwaterbatterij op de ventilatielucht aangesloten. De toegepaste vergelijking doet de temperatuur van de ventilatielucht stijgen tot een vaste waarde.

Maximale pulsietemperatuur

De thermostaat in de leefruimte zal pulsen naar de batterij sturen indien er verwarmd of (passief) gekoeld moet worden. De maximale warmtevraag van het gelijkvloers bedraagt 893 W terwijl het nominale debiet gelijk is aan 114 m³/h. Hieruit volgt de maximale pulsietemperatuur:

$$T_{\text{pulsie,max}} = \frac{Q}{0,34 \times nV} + T_{\text{int,i}} = \frac{893}{0,34 \times 114} + 20 = 43^\circ\text{C}$$

Indien de binnentemperatuur daalt tot 19°C , is er een warmtevraag en zal de pulsietemperatuur tot 43°C worden opgewarmd. De woning warmt op en wanneer de thermostaat 21°C meet, zal de verwarmingsbatterij uitgeschakeld worden. Stijgt de binnentemperatuur onder invloed van passieve warmtewinsten boven 24°C , dan is er een koellast en wordt de warmtewisselaar gebypast.

Gebruik van de sensoren:

1. Warmtevraag: sensor x

De sensor stuurt een [0-1]- signaal naar de batterij:

$$T_{\text{i, gelijkvloers}} \leq 19^\circ\text{C} \rightarrow x = 1$$

$$T_{\text{na ww}} > 21^\circ\text{C} \rightarrow x = 0$$

2. Bypass warmtewisselaar: sensor y

$$T_{\text{i, gelijkvloers}} \geq 24^\circ\text{C} \rightarrow y = 1$$

$$T_{\text{i, gelijkvloers}} < 21^\circ\text{C} \rightarrow y = 0$$

Formule voor de temperatuur van de ventilatielucht:

$$T_{\text{pulsie}} = T_{\text{vent}} = [T_{\text{na ww}} \times (1-x) + 43 \times x] \times (1-y) + T_{\text{na grondbuis}} \times y$$

Wanneer er een koellast is ($y = 1$), bypass sensor y de warmtewisselaar en wordt de uitgaande lucht van de grondbuis de woning ingeblazen. Een warmtevraag wordt gemeten door sensor x: deze geeft een 1-puls naar de warmwaterbatterij die de ventilatielucht opwarmt tot 43°C . Indien er geen koellast, noch een warmtevraag is, wordt de temperatuur door de lucht-lucht-warmtewisselaar bepaald.

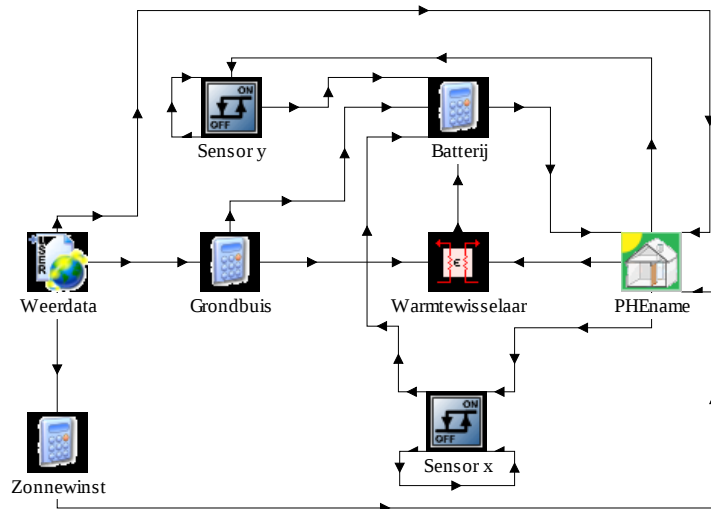
Om de grafieken in dit onderdeel beter leesbaar te maken, wordt een jaar opgesplitst in twee delen. Het eerste deel bevat de winterperiode en gaat van 6 november tot en met 5 mei; de zomerperiode bestaat uit de overige zes maanden.

3.3.2. Warmterecuperatie volgens PHPP

Het gebouwmodel *PHName* bestaat slechts uit één zone. De extractie-temperatuur wordt rechtstreeks door de binnenlucht van die zone bepaald.

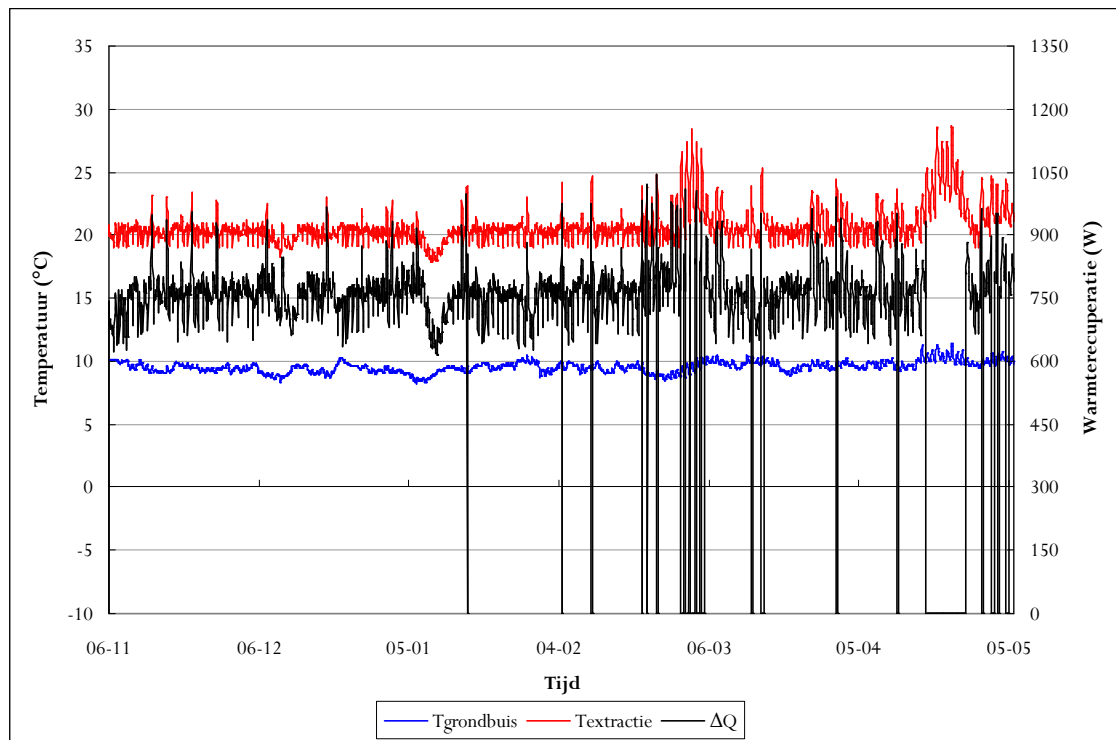
In *Batterij* wordt de pulsietemperatuur aan de hand van bovenvermelde formule gedefinieerd.

De warmtewisselaar wordt nog steeds gesimuleerd met een constante effectiviteit van 90%.

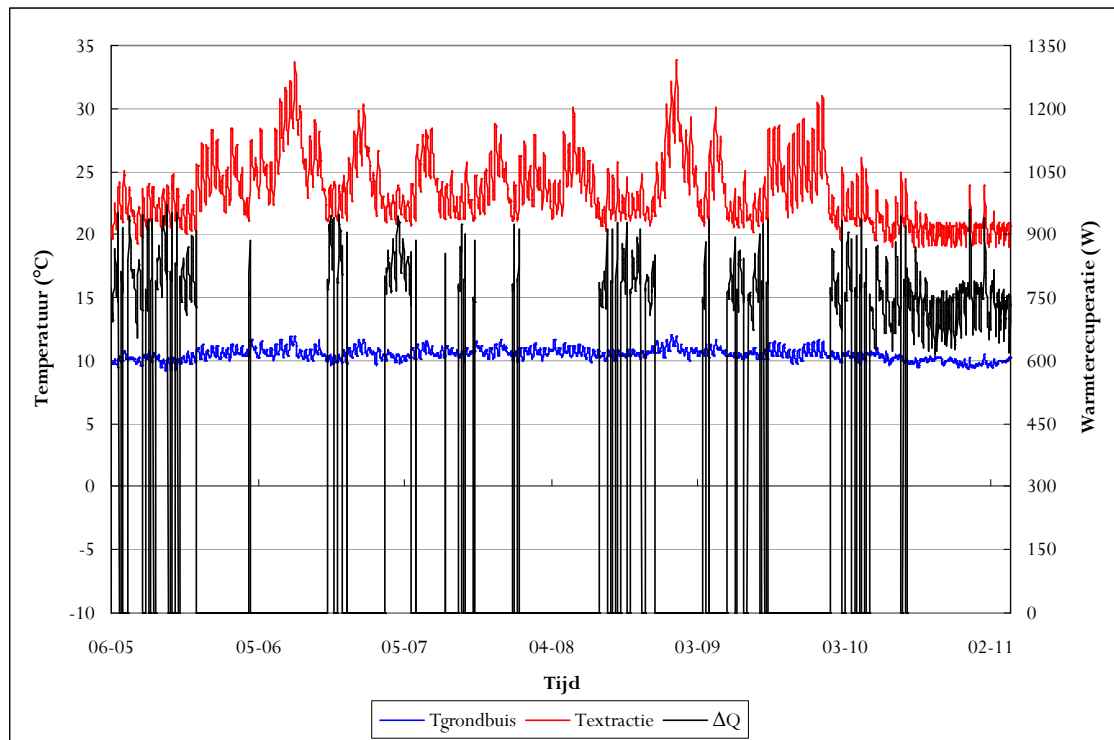


Figuur 12: Warmterecuperatie volgens PHPP

In grafieken 9 en 10 worden de luchttemperatuur na de grondbuis, de extractietemperatuur en de warmterecuperatie uitgezet:



Grafiek 9: Warmterecuperatie volgens PHPP (winter)



Grafiek 10: Warmterecuperatie volgens PHPP (zomer)

Op de grafieken is duidelijk af te lezen in welke mate de warmtewisselaar gebypass wordt: de warmteterugwinning wordt hierbij tot nul gereduceerd. Uit grafiek 9 kan men opmaken dat er af en toe - zelfs in het hartje van de winter - een lichte oververhitting ontstaat waardoor de bypass tijdelijk gebruikt wordt. In april treedt hij voor de eerste maal voor een langere periode in werking. In de zomer wordt de warmtewisselaar minder dan de helft van de tijd gebruikt.

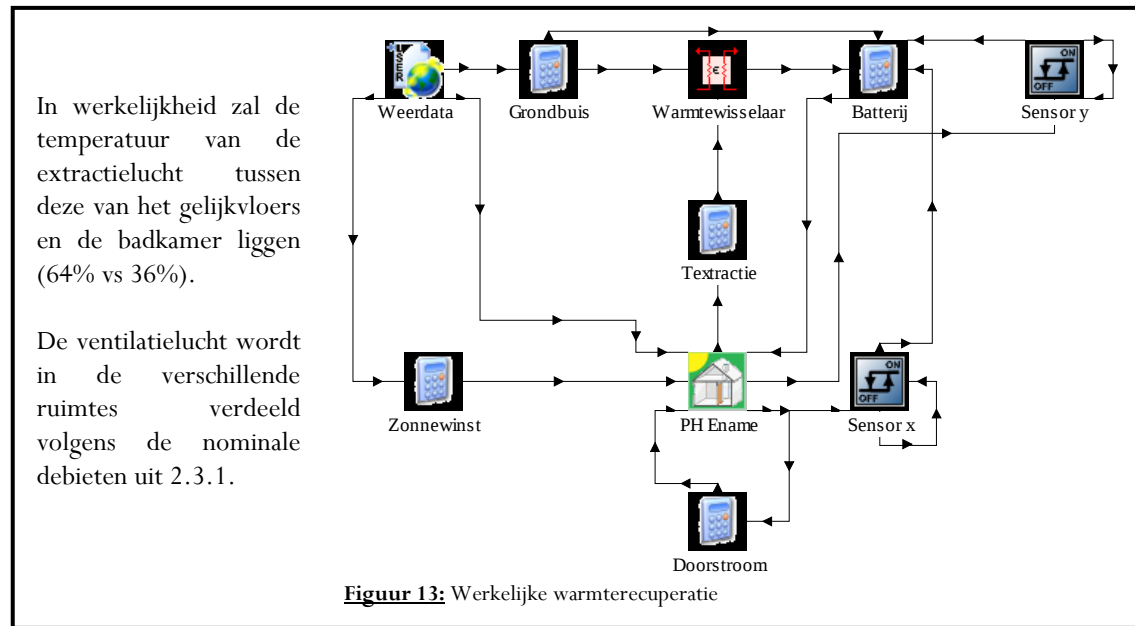
De piekwaarden van de warmterecuperatie en jaarlijkse energiebesparing die uit de simulaties worden afgeleid, zijn:

	$\Delta Q_{\max, \text{winter}}$	$\Delta Q_{\max, \text{zomer}}$	Jaarlijkse warmterecuperatie	
	W	W	kWh	kWh/m ²
Volgens PHPP	1.044	971	4.337	39

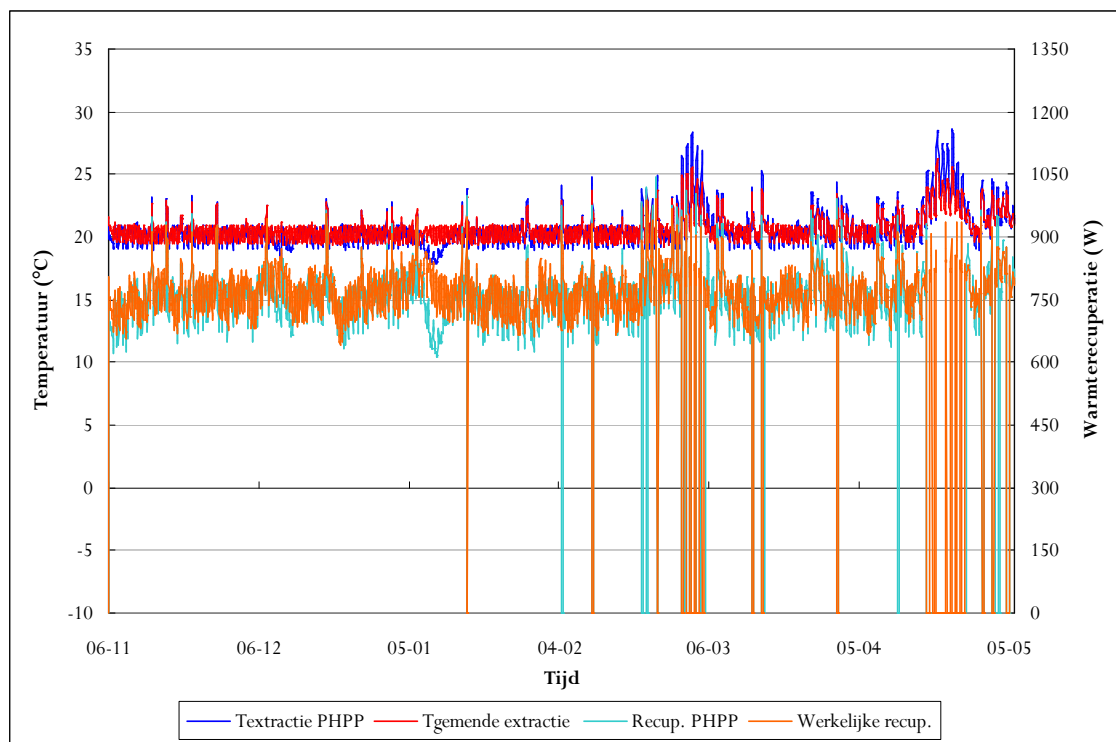
Tabel 29: Warmterecuperatie volgens PHPP

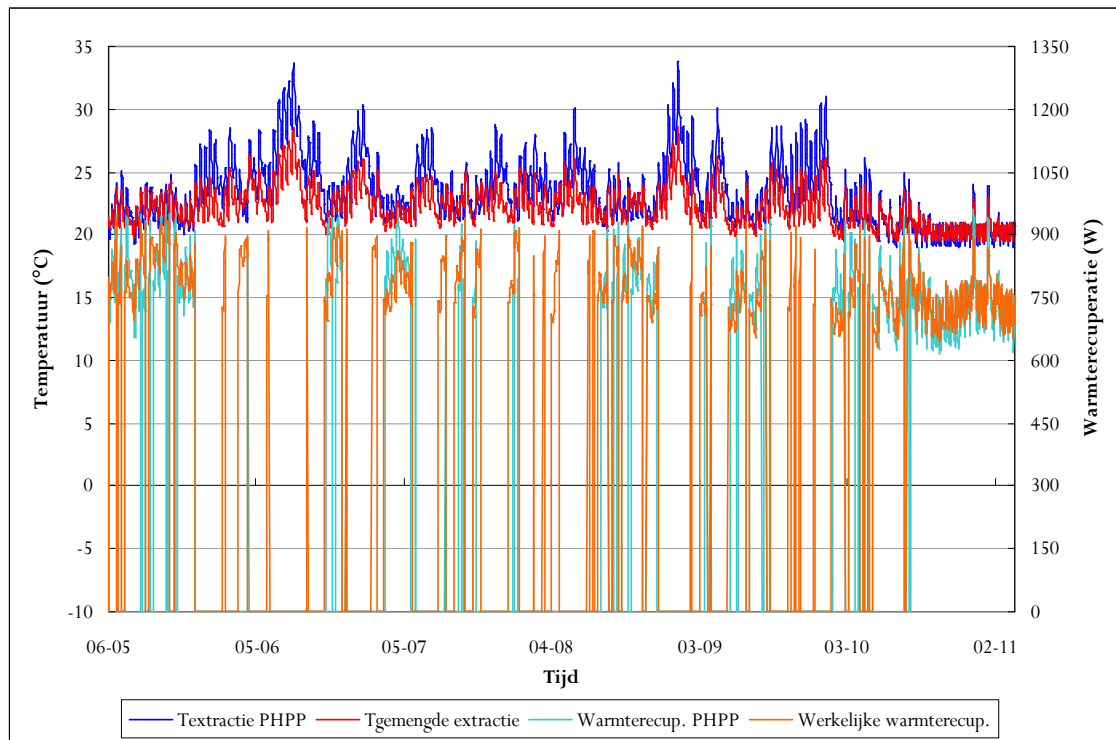
Bij het vergelijken van de jaarlijkse actieve warmtevraag uit 3.2.5. (20 kWh/m²) met de jaarlijkse passieve warmterecuperatie, wordt duidelijk dat het effect van de warmtewisselaar op het energieverbruik spectaculair hoog is. Er moet echter opgemerkt worden dat niet alle warmte die gerecupereerd wordt 'nuttige' warmte is. De verwarmingsbatterij zal slechts in werking treden wanneer de binnentemperatuur onder 19°C zakt en worden uitgeschakeld wanneer de binnentemperatuur 21°C is. De warmtewisselaar zal echter warmte recupereren tot de kamertemperatuur groter of gelijk wordt aan 24°C: er wordt dus ook warmte gerecupereerd wanneer dit niet noodzakelijk is voor een aangenaam binnenklimaat.

3.3.3. Werkelijke warmterecuperatie



Grafieken 11 en 12 vergelijken de behaalde extractietemperaturen en de warmtewinst met de voorgaande simulatie:





Grafiek 12: Werkelijke warmterecuperatie (zomer)

Uit beide grafieken is een iets stabielere extractietemperatuur af te lezen wanneer deze uit een menging van lucht van het gelijkvloers en de badkamer bestaat. In de winterperiode is deze nauwelijks lager dan de extractielucht uit de voorgaande simulatie; in zomeromstandigheden is de verlaging duidelijker.

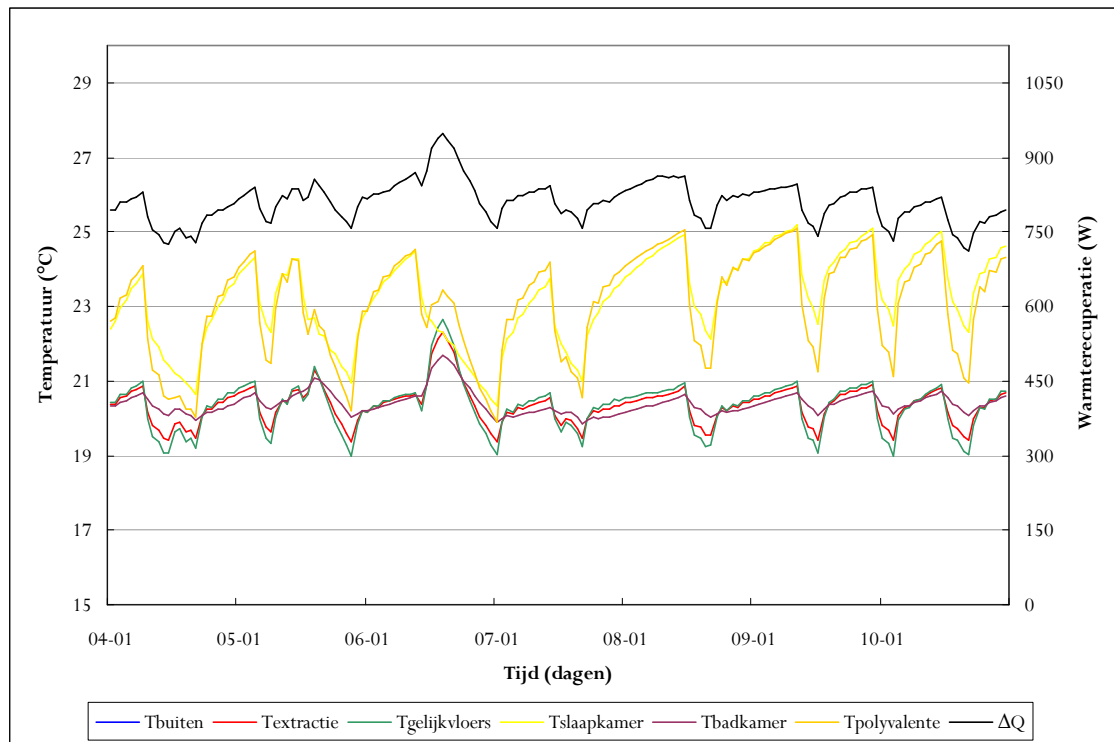
Nu de woning uit verschillende zones bestaat, bepaalt enkel de luchttemperatuur van het referentielokaal (gelijkvloers) wanneer de bypass van de warmtewisselaar in werking treedt. Dit leidt tot een ander gebruik van de warmtewisselaar: deze wordt op andere momenten kort gesloten en gedurende kortere periodes.

	$\Delta Q_{\max, \text{winter}}$	$\Delta Q_{\max, \text{zomer}}$	Jaarlijkse energiebesparing	
	W	W	kWh	kWh/m ²
Werkelijk	994	866	4.957	44
Volgens PHPP	1.044	971	4.337	39

Tabel 30: Werkelijke warmterecuperatie

Hoewel de piekwaarden voor de warmterecuperatie hoger zijn bij de simulatie volgens PHPP, is de totale jaarlijkse warmterecuperatie 14% lager. Dit heeft te maken met de verdeling van de warmtewinsten. Indien het gebouw als één zone wordt beschouwd, reageert de thermostaat op het geheel van warmtewinsten. In de tweede simulatie bestaat het gebouw uit verscheidene zones die elk van een deel van de warmtewinsten genieten en waarbij het gelijkvloers als referentielokaal wordt beschouwd.

De zonnewarmte die door de glaspartij op het zuid-westen binnenkomt, wordt in het eerste geval volledig met het referentielokaal geassocieerd. In het tweede geval wordt deze winst verdeeld over het gelijkvloers, de badkamer en de polyvalente ruimte.



Grafiek 13: Weeksimulatie

De luchtverwarmingsdebieten worden over de verschillende ruimtes verdeeld volgens de hygiënische ventilatiedebieten (zie 2.3.). Deze debieten wijken echter af van de warmtevraag per zone. Uit grafiek 13 blijkt dat er te veel warmte geleverd wordt in de slaapkamer en de polyvalente ruimte en dat het gelijkvloers slechts traag opwarmt. Het jaarverbruik zal door deze slechte inregeling hoger zijn dan in de vorige paragraaf werd ingeschat.

Doordat de warmteverdeling op een andere manier geschiedt, ontvangt de bypass van de warmtewisselaar andere signalen van de thermostaat.

De effectieve warmteterugwinning kan slechts bepaald worden indien de verhouding tussen de gesimuleerde warmteterugwinning en het geleverde vermogen wordt berekend. Het effectief geleverd vermogen kan echter niet worden bepaald m.b.v. deze simulaties.

3.3.4. Besluit

Uit de vergelijking van de simulaties in deze paragraaf kunnen geen eenduidige conclusies getrokken worden. Het effect van warmterecuperatie uit de twee verschillende extractietemperaturen kan niet vergeleken worden aangezien de simulaties in essentie anders zijn. De werking van het ventilatiesysteem wordt in zijn geheel gewijzigd.

Een belangrijk element is het verschil in de regeling. Door de gemaakte vereenvoudiging in PHPP worden alle warmtewinsten - zowel actieve als passieve - rechtstreeks in verband gesteld met het referentielokaal dat pulsen naar de verwarmingsbatterij en de bypass van de warmtewisselaar verstuurt. Hierdoor wijken zowel het energieverbruik voor verwarming als de werking van de bypass af van de werkelijkheid.

De jaarlijkse warmteterugwinning kan in beide gevallen niet eenvoudig weg worden vergeleken. Om ze op een intelligente manier te vergelijken, moet voor beide simulaties het werkelijk geleverde vermogen per tijdstap gekend zijn. De verhouding tussen de warmterecuperatie en deze geleverde vermogens is een

goede parameter om de vergelijking op te baseren. Er is echter bijkomend onderzoek vereist om voor de twee simulaties het effectief geleverd vermogen per uur en het jaarverbruik te bepalen. Dit onderzoek maakt echter geen deel uit van deze scriptie.

Hoofdstuk 4: Temperatuursverloop winterperiode

4. Temperatuursverloop winterperiode

In navolging van 2.3. wordt in dit hoofdstuk dieper ingegaan op het gebruik van het ventilatiesysteem om de woning te verwarmen. De complexe situatie waarbij men tracht met eenzelfde kanalennetwerk zowel aan de hygiënische ventilatie als aan de warmtevraag te voldoen, wordt geanalyseerd. Het effect van een enkele thermostaat in de woonkamer op de zonetemperaturen en op het energieverbruik komt aan de orde.

4.1. Algemene opmerkingen

Om het comfort binnen de woning te verhogen wordt een derde sensor geplaatst na de warmtewisselaar. Deze sensor zorgt ervoor dat het ontstaan van tochtverschijnselen vermeden wordt. Wanneer er geen koellast is en de temperatuur van de pulsielucht lager of gelijk aan 17°C is, wordt deze opgewarmd tot 18°C.

Gebbruik van sensor z:

$$T_{na\ ww} \leq 17^{\circ}\text{C} \rightarrow z = 1$$

$$T_{na\ ww} > 17^{\circ}\text{C} \rightarrow z = 0$$

Formule voor de temperatuur van de ventilatielucht:

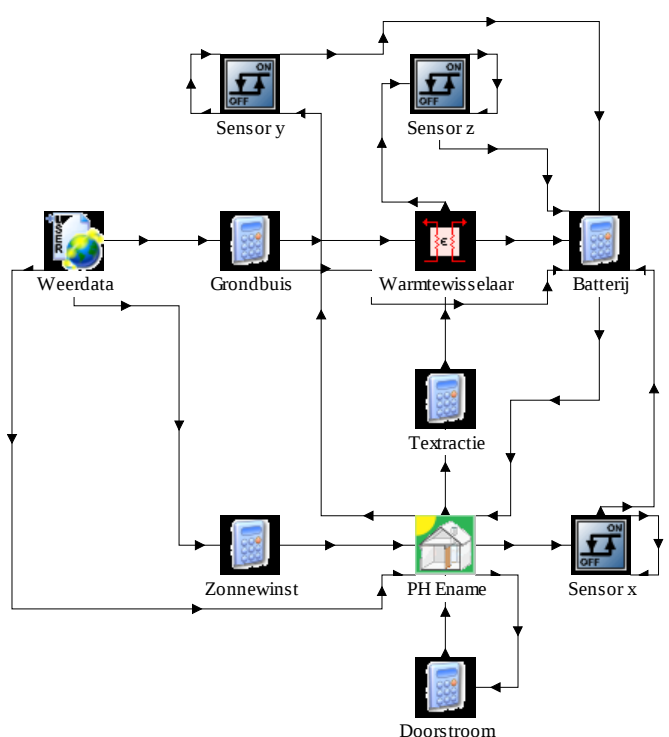
$$T_{pulsie} = T_{vent} = [(T_{na\ ww} * (1-z) + z * 18) * (1-x) + 43 * x] * (1-y) + T_{na\ grondbuis} * y$$

Het simulatiemodel dat in dit hoofdstuk gebruikt wordt, is bijna identiek aan het laatste model dat in hoofdstuk 3 gebruikt werd om de werkelijke warmterecuperatie te bepalen. Enkel *sensor z* werd aan dit model toegevoegd.

Het icoon *Batterij* bevat de formule die hierboven wordt weergegeven.

Aangezien in *PH Ename* geen interne warmtewinsten werden ingevoerd, houden de simulaties wel rekening met zonnwinsten, maar niet met interne warmtewinsten.

In het gebouwmodel worden de ventilatiedebieten aangepast om de gewenste simulaties te verkrijgen



Figuur 14: Het gebruikte simulatiemodel

De gebruikte ventilatieschema's:

Ter herhaling van punt 2.3. beschouwen we de nominale debieten:

	Gelijkvloers	Slaapkamer	Badkamer	Polyvalente ruimte
Nominaal debiet	114 m ³ /h	32 m ³ /h	83 m ³ /h	87 m ³ /h

Tabel 31: Nominale debieten

Er wordt ook een dagventilatieschema gebruikt dat *Variabel debiet* heet. Dit werd opgesteld volgens een mogelijk gebruikerspatroon m.b.t. hygiënische eisen en is samengevat in tabel 32. De tabel geeft steeds het totale debiet weer dat de WTW-unit levert; de verdeling tussen de zones wordt steeds behouden zoals in tabel 31.

Tijd	Debiet
	m ³ /h
00.00 - 06.30	100
06.30 - 07.30	140
07.30 - 12.00	100
12.00 - 12.30	200
12.30 - 16.30	100
16.30 - 18.00	140
18.00 - 19.30	200
19.30 - 24.00	140

Tabel 32: Variabel debiet

Om de simulaties te vergelijken met de metingen die vorig jaar plaatsvonden, wordt een extra simulatie gemaakt met het werkelijk ventilatieschema van 13 tot en met 26 maart 2006.

Tijd	Debiet
	m ³ /h
00.00 - 05.15	0
05.15 - 09.00	100
09.00 - 12.00	0
12.00 - 14.30	100
14.30 - 14.45	140
14.45 - 15.15	100
15.15 - 17.00	0
17.00 - 22.00	100
22.00 - 22.30	140
22.30 - 24.00	0

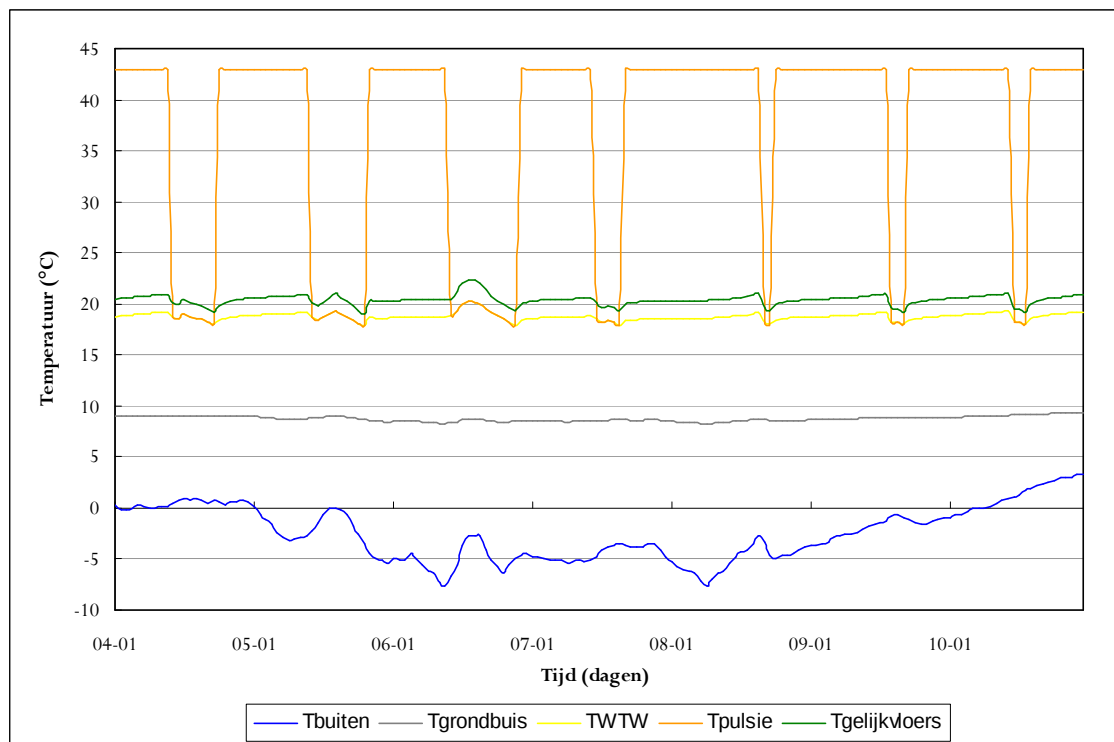
Tabel 33: Werkelijk schema

Met behulp van de grafieken wordt voor iedere simulatie de koudste week van het jaar bestudeerd. De toegevoegde tabellen vermelden de extreme temperaturen.

4.2. Temperatuursverloop doorheen de installatie

De verse buitenlucht wordt door de grondbuis in de woning binnengebracht. De warmte van de ondergrond wordt hierbij gedeeltelijk overgebracht op de ventilatielucht. Deze wordt passief verder opgewarmd wanneer hij in de lucht-lucht-warmtewisselaar in de nabijheid van de warme afvoerlucht wordt gebracht. Indien de thermostaat in de leefruimte een warmtevraag doormeldt aan de verwarmingsbatterij, treedt deze in werking en warmt ze de ventilatielucht op zodat aan de warmtevraag voldaan wordt.

4.2.1. Nominaal ventilatiedebiet



Grafiek 14: Door installatie met nominaal ventilatiedebiet

Dankzij de grondbuis wordt de koude buitenlucht voorverwarmd tot ongeveer 9°C. Hoewel de buitentemperatuur diep onder het vriespunt ligt, hoeft de WTW-unit dus niet beveiligd te worden tegen vorst.

Op 6 januari wordt een buitentemperatuur van -7,65°C behaald. Uit de grafiek wordt afgelezen dat dit een zonnige dag is waardoor de woning een groot deel van de namiddag niet verwarmd moet worden. De binnentemperatuur stijgt zelfs even tot ongeveer 23°C. In de nacht van 8 januari wordt een tweede dieptepunt van de buitentemperatuur vastgesteld. Hoewel de temperatuur eveneens stijgt naar de middag toe, wordt de binnentemperatuur amper 21°C en blijft de naverwarmingsbatterij in werking. De woning kan deze dag duidelijk minder van passieve zonnewarmte genieten.

De minimale temperaturen per onderdeel zijn:

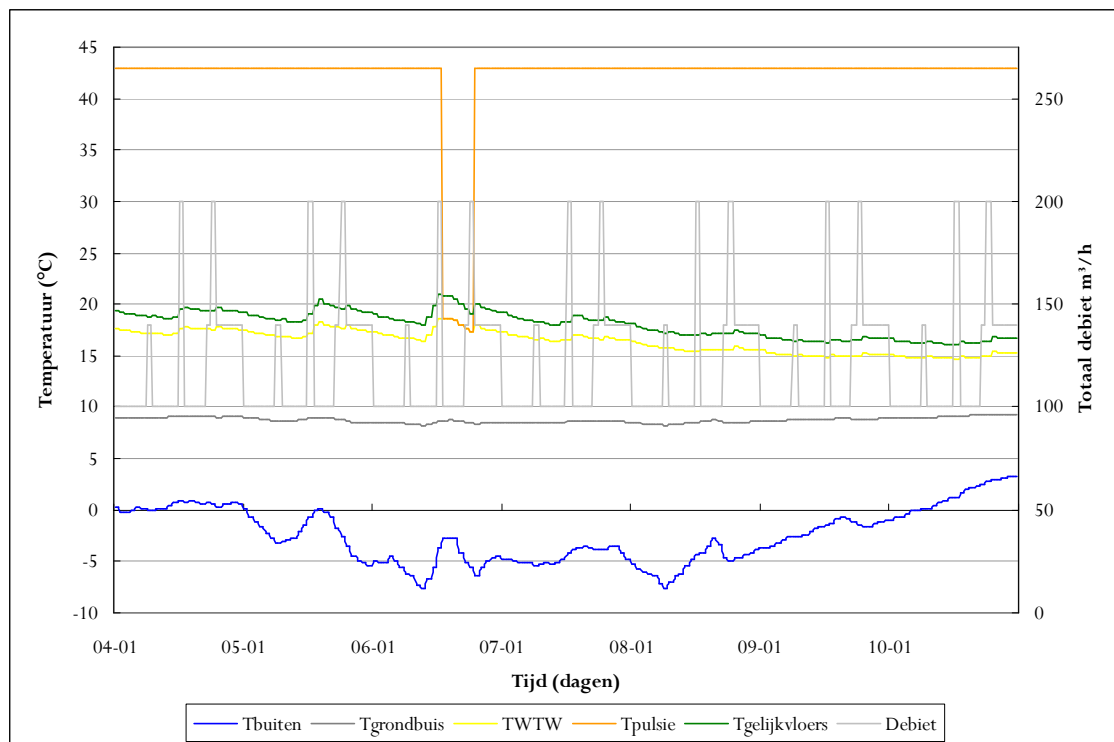
	$T_{\text{grondbuis}}$ °C	T_{WTW} °C	T_{pulsie} °C	$T_{\text{gelijkvloers}}$ °C
Nominale debieten	8,24	8,92	8,92	19,00

Tabel 34: Minimale temperaturen

De minimale temperatuur van 8,92°C die na de warmtewisselaar verkregen wordt, is het gevolg van een kortstondige oververhitting van het gelijkvloers. De lucht wordt langs de bypass van de warmtewisselaar geleid en in de kamers ingeblazen aan de temperatuur die door de grondbuis behaald wordt.

Wanneer de WTW-unit niet wordt gebypassed, bedraagt de minimale temperatuur 17,73°C. Hieruit volgt dat *sensor z* bij deze simulatie nooit in werking treedt en dat er slechts sprake is van tocht indien een koellast ontstaat in de leefruimte.

4.2.2. Variabel debiet



Grafiek 15: Door installatie met variabel debiet

Wanneer er geventileerd wordt volgens het schema *Variabel debiet* -dat meer is opgesteld vanuit hygiënische eisen dan vanuit de warmtevraag-, wordt de gewenste binnentemperatuur nauwelijks nog behaald. Het ventilatievoud zal met andere woorden tijdens de strengste weken van de winter moeten opgedreven worden om aan de warmtevraag te kunnen voldoen.

Het valt opnieuw op dat 6 januari de zonnigste dag van de week is: enkel op deze dag slaagt de binnentemperatuur erin 21°C te overschrijden.

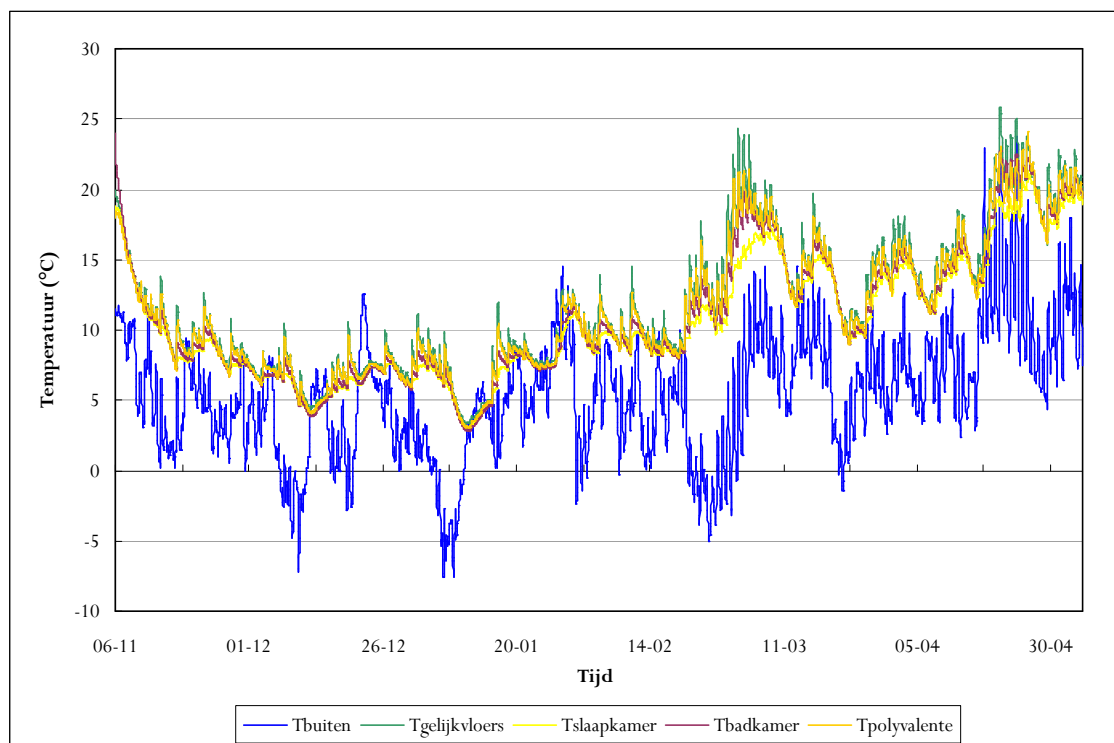
4.3. Temperatuursverloop per zone

Het effect dat de regeling vanuit de leefruimte heeft op de temperaturen van de andere zones is moeilijk in te schatten. De dimensionering van de installatie houdt enkel rekening met het behalen van de gewenste hygiënische ventilatie per ruimte. De temperaturen die met deze debieten behaald worden, volgen uit de simulaties in deze paragraaf.

Aangezien er in de simulaties geen rekening gehouden wordt met passieve interne warmtewinsten, zullen de werkelijke zonetemperaturen iets hoger zijn dan in de grafieken en de tabellen weergegeven.

4.3.1. Zonder verwarmingsbatterij

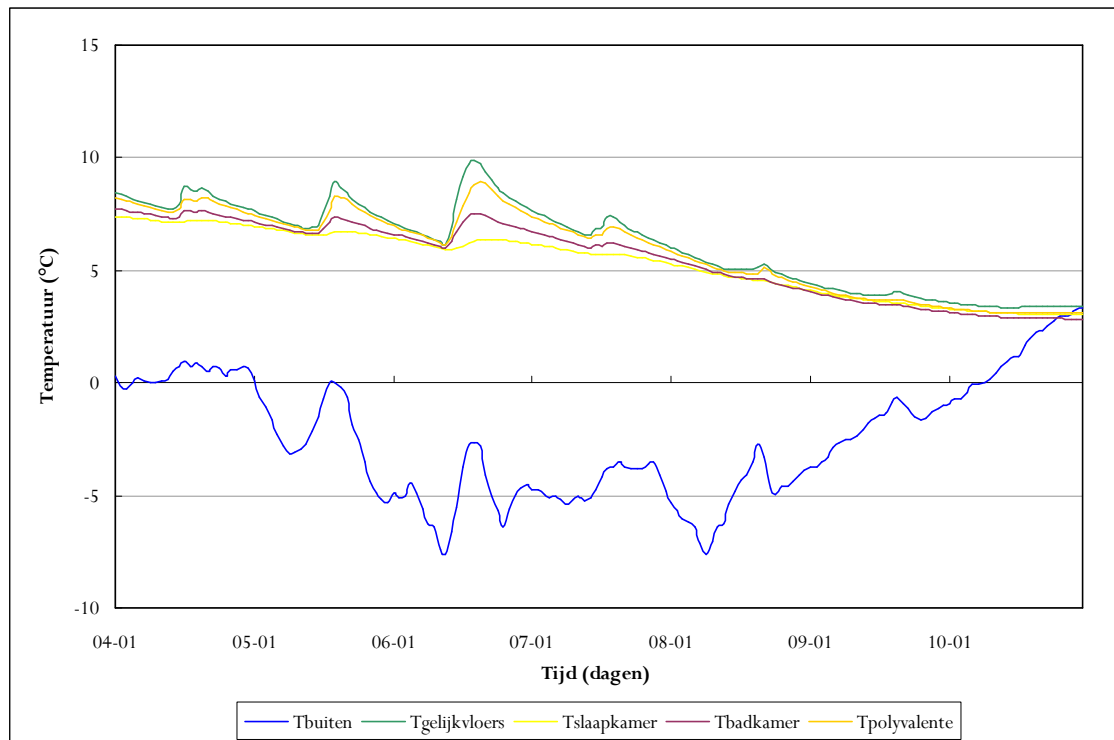
Vooreerst wordt de situatie geanalyseerd waarbij de woning niet over een actief verwarmingselement beschikt. In grafiek 16 worden de zonetemperaturen gedurende de winterperiode uitgezet:



Grafiek 16: Simulatie zonder batterij gedurende de winterperiode

Dit passiefhuis heeft duidelijk behoefte aan een actief verwarmingssysteem. Het is dus een illusie te stellen dat passiefhuizen woningen zijn die niet actief verwarmd moeten worden. Het grote verschil met standaardwoningen is het vermogen van de verwarmingsinstallatie en de manier waarop de warmte verspreid wordt.

Hieronder wordt de koudste week van het jaar uitvergroot:



Grafiek 17: Zonder verwarmingsbatterij

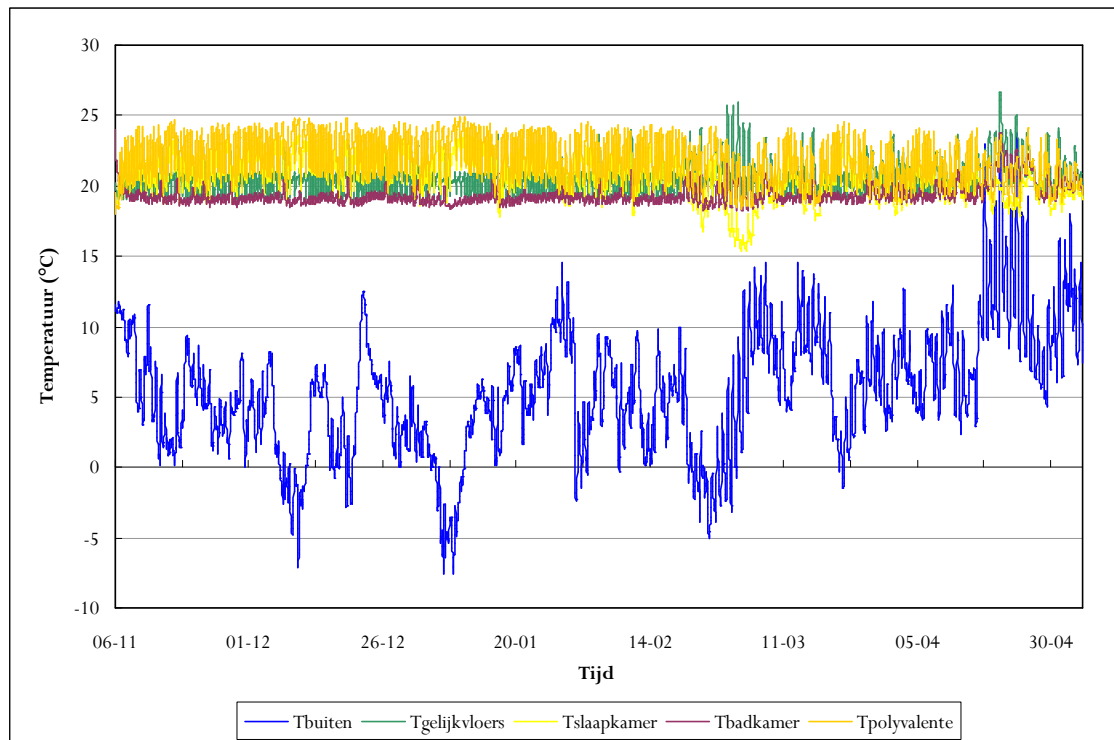
Uit deze grafiek blijkt duidelijk dat de laagste binnentemperaturen (ongeveer 3°C) pas enkele dagen na de koudste buitentemperaturen behaald worden. De tijdsconstante van passiefhuizen is duidelijk vele malen groter dan deze van standaardwoningen.

Met behulp van de resultaten van deze simulatie wordt in de volgende paragraaf het geleverde vermogen en het verbruik van de naverwarmingsbatterij bepaald aan de hand van de formule:

$$Q = 0,34 * nV * (T_{\text{met batterij}} - T_{\text{zonder batterij}}) \quad [\text{W}]$$

4.3.2. Met verwarmingsbatterij en nominaal ventilatiedebiet

Door de verwarmingsbatterij op de ventilatielucht aan te sluiten en deze met het nominale debiet de kamers in te blazen, krijgen de ruimtes het temperatuursverloop afgebeeld in grafiek 18 wordt afgebeeld.



Grafiek 18: Simulatie met batterij gedurende de winterperiode

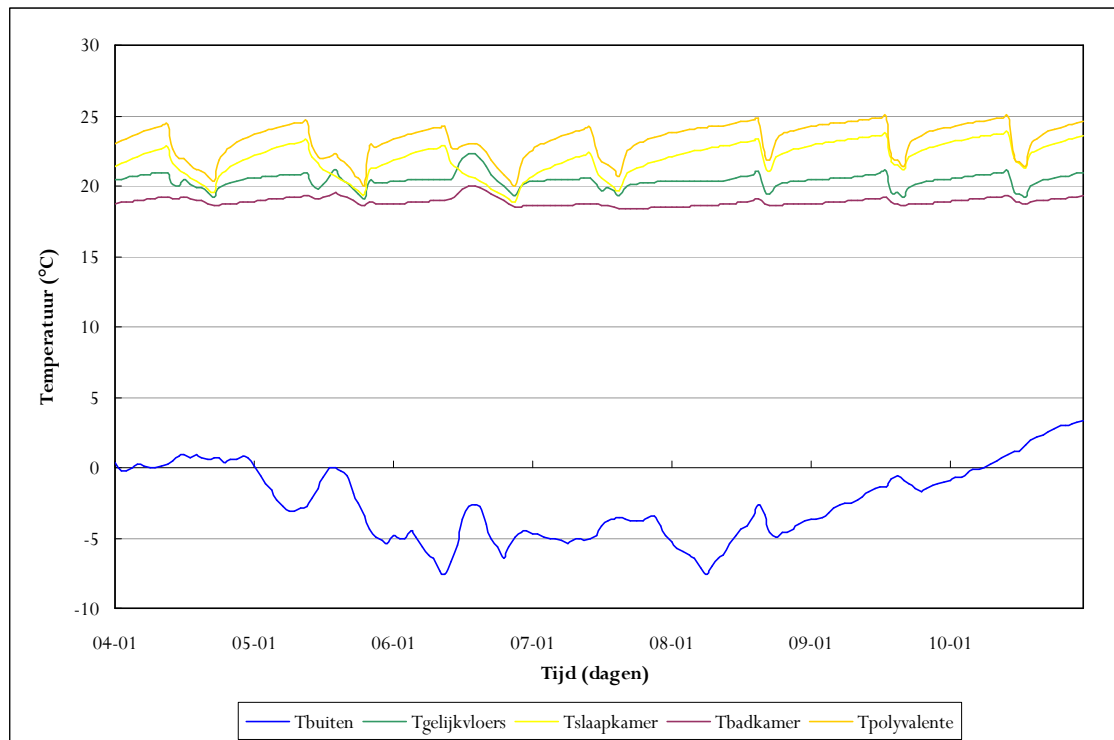
Begin maart valt op dat de temperatuur van het gelijkvloers, dankzij passieve zonnewinsten, boven 24°C stijgt. Dit heeft tot gevolg dat de thermostaat een 1-sigitaal doorgeeft aan de bypass van de warmtewisselaar. De koellast die in de leefruimte ontstaat heeft echter nadelige gevolgen voor de slaapkamer die niet kan genieten van passieve zonnewinsten. De temperatuur van deze ruimte daalt tot ongeveer 15°C .

De extreme temperaturen die in de winterperiode opgemeten worden voor de verschillende zones, bedragen:

	$T_{\text{gelijkvloers}}$	$T_{\text{slaapkamer}}$	T_{badkamer}	$T_{\text{polyvalente}}$
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
Min. temperatuur	19,00	15,32	18,20	18,00
Max. temperatuur	26,67	23,77	24,00	24,93

Tabel 35: Extreme temperaturen bij nominaal debiet

In grafiek 19 is opnieuw de koudste week van het jaar afgebeeld:



Grafiek 19: Simulatie met batterij (koudste week)

De probleemstelling die reeds in 2.3. geschetst werd, wordt hier opnieuw duidelijk. De luchtverdeling in de verschillende ruimtes volgens de hygiënische eisen stemt niet overeen met de verhouding tussen hun warmtevraag.

Aangezien de warmtevraag bepaald wordt door de temperatuur van het gelijkvloers, schommelt deze in grafiek 19 tussen 19 en 21°C. De badkamer wordt echter niet warmer dan 20°C. Er werd reeds verwacht dat de gewenste temperatuur van 24°C niet kon worden behaald door het gebruik van de doorstroomlucht. In 2.3. werd het gebruik van een elektrische bijverwarming als mogelijke oplossing voorgesteld.

Voor de slaapkamer en de polyvalente ruimte werd een ontwerpbinnentemperatuur van 18°C vooropgesteld. Uit grafiek 19 blijkt echter dat deze temperatuur zelfs gedurende de koudste week wordt overschreden. Uit grafiek 18 en de tabellen blijkt dat de temperatuur van de polyvalente ruimte de hele winterperiode te hoog is (tot 25°C) en dat deze van de slaapkamer slechts heel even in februari en maart tot (onder) de gewenste temperatuur daalt.

Wanneer het maximale vermogen per zone en het verbruik gedurende de winterperiode uit het temperatuursverschil wordt berekend, ontstaan de volgende waarden:

Werkwijze	$Q_{\text{gelijkvloers}}$	$Q_{\text{slaapkamer}}$	Q_{badkamer}	$Q_{\text{polyvalente}}$	Q_{totaal}	Verbruik
	W	W	W	W	W	kWh/m ²
Geleverd vermogen/werkelijk verbruik	684	225	463	645	2.017	39
Simulatie warmtevraag	954	145	168	377	1.642	27

Tabel 36: Maximaal vermogen en verbruik gedurende de winterperiode

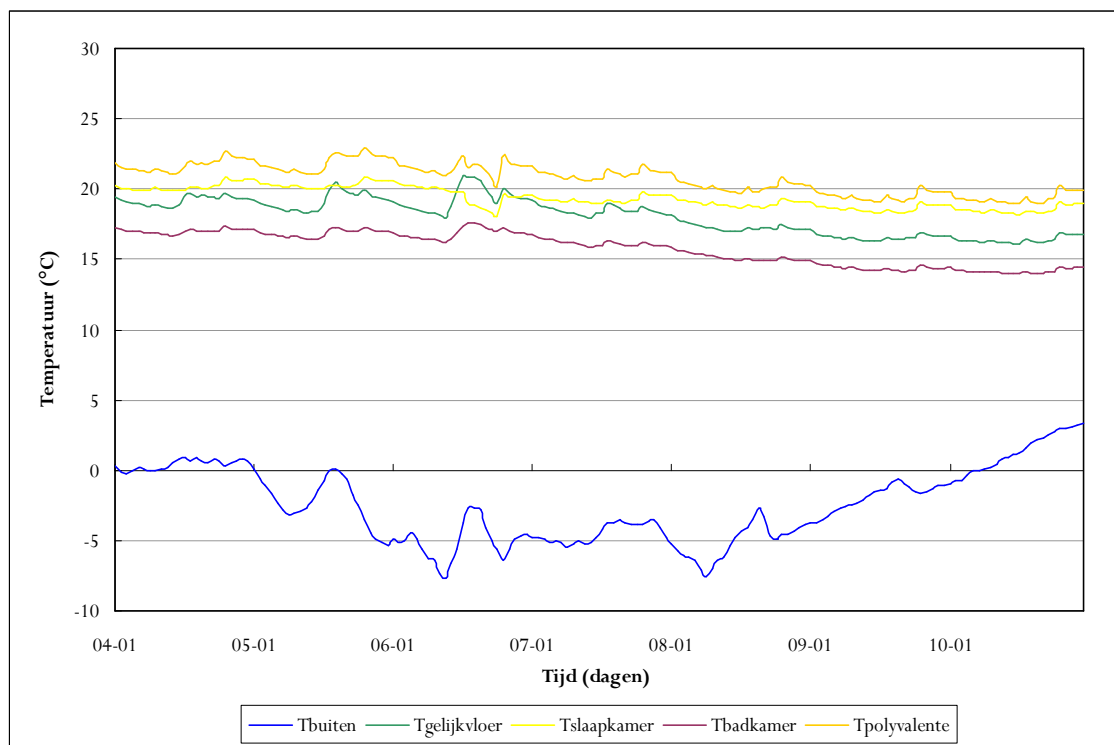
Het maximaal geleverde vermogen wijkt behoorlijk af van de gesimuleerde warmtevraag. Hoewel het maximaal geleverde vermogen van het gelijkvloers 28% kleiner is dan de piekwaarde van de warmtevraag,

daalt de temperatuur er nooit onder 19°C . Wanneer deze temperatuur bereikt wordt, treedt de verwarmingsbatterij in werking en begint de temperatuur langzaam te stijgen.

Het vermogen van de verwarmingsbatterij zal in werkelijkheid ongeveer 2 kW moeten bedragen. Ook het verbruik zal in werkelijkheid hoger zijn dan eerst gedacht. De oorzaak hiervan is dat de slaapkamer en polyvalente ruimte tot een hogere temperatuur verwarmd worden dan nodig. Hierdoor wordt er 12 kWh/m² meer energie voor verwarming verbruikt.

4.3.3. Variabel debiet

Voor de hygiënische ventilatie is het niet nodig constant te ventileren met de nominale debieten. In de praktijk zal het ventilatiesysteem geprogrammeerd worden volgens de aanwezigheid en de activiteiten van de bewoners. Hiervoor wordt het ventilatiedebiet in de simulatie vervangen door het schema *Variabel debiet*. De invloed op de binnentemperaturen tijdens de koudste week van het jaar wordt in grafiek 20 weergegeven:



Grafiek 20: Zonetemperaturen bij variabel debiet

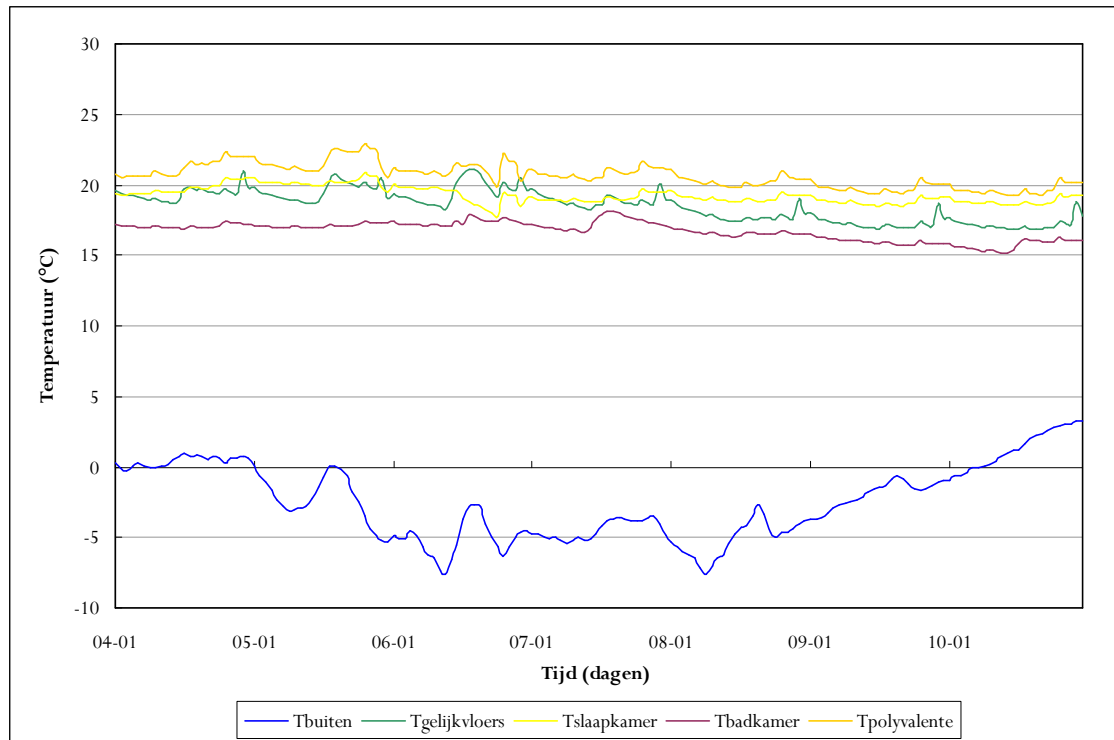
Een pulsietemperatuur van 43°C kan bij gebruik van dit *Variabel debiet* tijdens de koudste week niet aan de warmtevraag van het gelijkvloers tegemoetkomen. De gewenste temperatuur (20°C) wordt slechts enkele uren behaald in de eerste helft van de week.

Indien de badkamer buiten beschouwing gelaten wordt, valt op dat de minimale temperaturen van de overige ruimtes hun ontwerptemperatuur (18°C) benaderen. Er is m.a.w. enkel in de leefruimte een bijkomende warmtebron vereist.

4.3.4. Invloed pelletkachel

De pelletkachel die in de leefruimte geïnstalleerd is, geeft ongeveer 80% van de geproduceerde warmte af aan de warmwaterboiler. De overige warmte wordt via straling door het venstertje rechtstreeks aan de woonkamer afgegeven.

Deze invloed werd echter in de vorige simulaties genegeerd. In de volgende simulatie wordt verondersteld dat de pelletkachel iedere avond van 21.00 tot 22.00 een warmtewinst van 2 kW (20% van het maximaal vermogen) in de woonkamer binnenbrengt. Het ventilatiedebiet in de woning wordt nog steeds bepaald door *Variabel debiet*.



Grafiek 21: Invloed pelletkachel op binnentemperaturen

Uit de grafieklijn van het gelijkvloers kunnen de momenten dat de pelletkachel brandt, duidelijk worden afgelezen. Indien men de kachel gedurende een langere periode laat branden, zal ook naar het einde van de week de ontwerpbinrentemperatuur van het gelijkvloers behouden blijven.

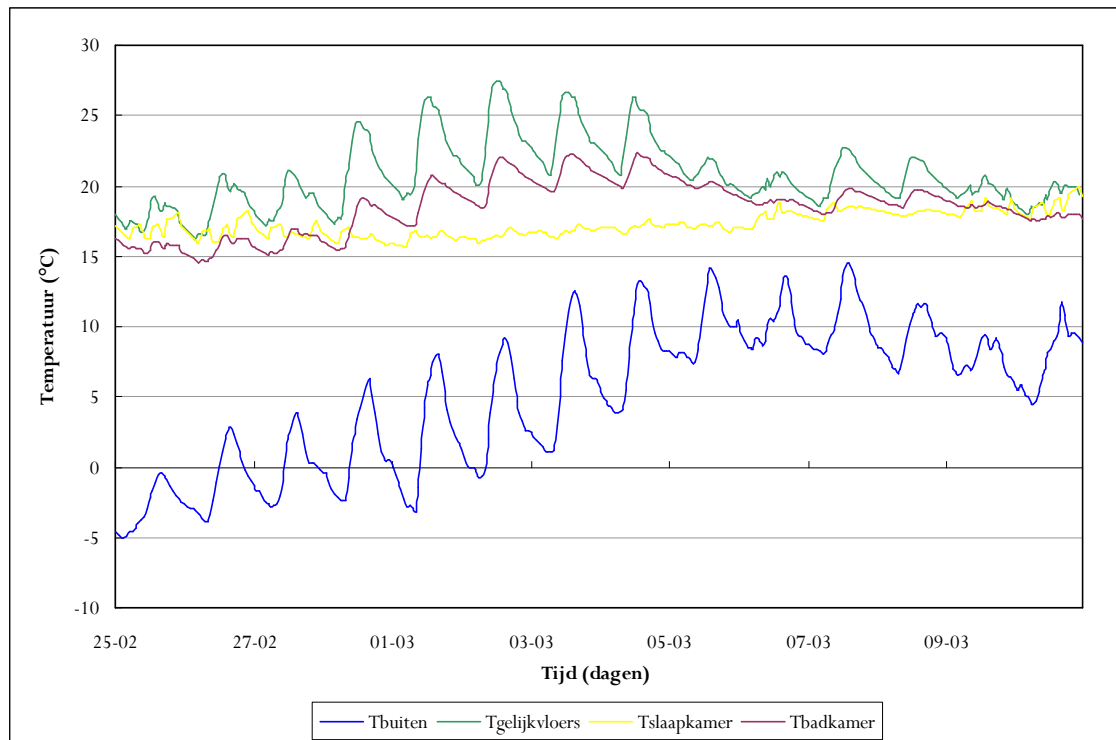
De pelletkachel zal ook een positieve invloed hebben op het energieverbruik. Het gelijkvloers behaalt vlugger de gewenste temperatuur (20°) waardoor de thermostaat het naverwarmingsselement vlugger uitschakelt. Hierdoor zal de ventilatielucht de andere zones minder opwarmen.

4.3.5. Vergelijking met meetresultaten

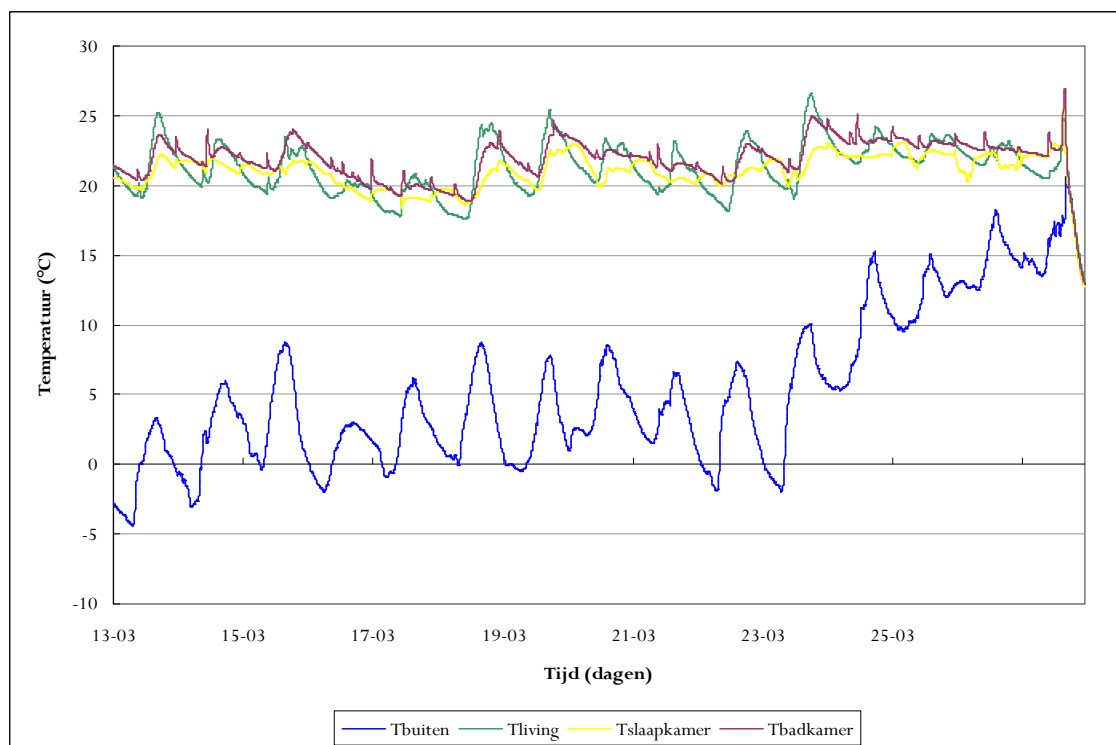
In de periode van 6 januari tot 27 maart 2007 voerde de Universiteit Gent metingen uit in de woning. De relatieve vochtigheid en de temperatuur van het gelijkvloers, de slaapkamer en de badkamer werden door loggers om de 10 minuten geregistreerd. Voor meer informatie omtrent de metingen zie [12].

Voor de periode van 13 tot 26 maart is het ventilatieschema dat door de bewoners werd ingegeven gekend. In 4.1. werd dit schema reeds weergegeven. Om de simulatie te toetsen aan de werkelijk gemeten temperaturen, werd hetzelfde schema in het gebouwmodel van TRNSYS ingevoerd. De

resultaten worden weergegeven in grafiek 22; de gemeten waarden zijn op hun beurt opgenomen in grafiek 23.



Grafiek 22: Resultaten uit de simulatie



Grafiek 23: Meetresultaten

In onderstaande vergelijking van grafieken 22 en 23 werden vooral de eerste vijf dagen en de laatste drie geanalyseerd. Voor deze periodes zijn de fluctuaties van de buitentemperatuur gelijkaardig.

De temperatuur van het gelijkvloers vertoont in de simulatie iets meer fluctuatie, maar er is toch een duidelijke overeenkomst met de gemeten temperaturen. De simulatie van de gemiddelde temperatuur lager doordat geen rekening werd gehouden met interne warmtewinsten. Algemeen blijkt het simulatiemodel voor deze grote ruimte dicht bij de werkelijkheid aan te sluiten.

Voor de slaapkamer valt op dat een constantere en lagere temperatuur gesimuleerd wordt. Het staat vast dat de temperatuur van deze ruimte stijgt door interne warmtewinsten bij aanwezigheid van personen ('s nachts). In de grafiek met de gemeten waarden volgt de slaapkamerlijn ook overdag de temperatuurstijgingen van de leefruimte waardoor transmissiewinsten vermoed worden. Het is mogelijk dat de binnenwanden van de woning in simulatie minder warmtegeleidend zijn dan in werkelijkheid. De werkelijke opbouw van deze wanden is niet vermeld op de plannen waardoor regelmatig beroep werd gedaan op veronderstellingen.

De temperatuur van de badkamer is opnieuw in beide gevallen onderhevig aan gelijkaardige fluctuaties die veroorzaakt worden door zonnepwinsten. Bij de gemeten waarden vallen kleine pieken op die het gevolg zijn van kortstondig gebruik (interne warmtewinsten). In beide grafieken valt op dat de badkamertemperatuur langzamer daalt dan deze van het gelijkvloers. De kleine badkamer heeft slechts twee transmissieverliezende oppervlaktes naar buiten toe, terwijl het gelijkvloers er vier heeft. Naast de interne warmtewinsten zijn de transmissiewinsten waarschijnlijk opnieuw een oorzaak van de hogere gemiddelde temperatuur.

4.4. Besluit

Uit de simulatie zonder naverwarmingsbatterij volgt dat een passiefhuis wel degelijk nood heeft aan een actief verwarmingssysteem. Zonder de batterij dalen de temperaturen van de verscheidene zones ver onder hun ontwerptemperaturen.

Het gebruik van een warmwaterbatterij op het hoofdkanaal van het ventilatiesysteem is echter niet aan te raden zonder een diepgaande studie vooraf. Bij het gebruik van de hygiënische ventilatiedebieten is het mogelijk dat de gewenste temperatuur in de 'warme' leefruimte (20°C) niet wordt behaald. Door de luchtverdeling op basis van hygiënische eisen bestaat bovendien de kans dat in de overige zones de ontwerptemperaturen overschreden worden wat een duidelijke toename van het energieverbruik (in dit voorbeeld 44%) met zich meebrengt.

Lokale warmtebronnen met een beperkt vermogen in de 'warme' ruimtes kunnen de klimatisatie van de woning positief beïnvloeden. Zo zal de pelletkachel in het passiefhuis te Ename ervoor zorgen dat de gewenste temperatuur op het gelijkvloers vlugger behaald wordt. De verwarmingsbatterij zal hierdoor minder in werking treden met lagere temperaturen in de andere zones als gevolg.

Hoofdstuk 5: Temperatuursverloop zomerperiode

5. Temperatuursverloop zomerperiode

Om ook tijdens de zomerperiode een optimaal binnencomfort te garanderen, moeten een aantal maatregelen getroffen worden om oververhitting te vermijden. Er werd reeds eerder over het koelend effect van de grondbuis gesproken. De ondergrond schommelt het hele jaar door rond 10°C waardoor de ventilatielucht in de grondbuis 's winters opgewarmd en 's zomers afgekoeld wordt.

Wanneer het binnenshuis te warm wordt, mag de warmte van de extractielucht niet aan de frisse pulsielucht worden afgegeven. Hiervoor is het van groot belang dat de warmtewisselaar van een bypass voorzien wordt.

De hoeveelheid zonnewarmte die in de zomerperiode binnenkomt, kan tenslotte beperkt worden door de plaatsing van zonnewering: in deze woning werd geopteerd voor een verwijderbare luifel aan de grote, zuidgerichte glaspartij.

Dit hoofdstuk gaat na wat de precieze invloed van de verschillende factoren is. De simulaties werden steeds gemaakt voor de periode tussen 6 mei en 5 november. Het Passiefhuis-Platform stelt dat bijkomende maatregelen nodig zijn indien de frequentie van temperatuuroverschrijdingen boven 25°C 10% overschrijdt.

In de gemaakte simulaties bereikt de binnentemperatuur steeds een maximale waarde op 12 juni. Om de leesbaarheid te verhogen, geven de grafieken steeds de week van 10 tot 16 juni weer. Om toch een globaal beeld van de simulatie te geven, bevatten de bijgevoegde tabellen het percentage van de tijd dat een temperatuur van 25°C in de woonkamer wordt overschreden.

5.1. Algemene opmerkingen

In geen van onderstaande simulaties wordt rekening gehouden met interne warmtewinsten waardoor de behaalde resultaten positiever zijn dan in werkelijkheid mogelijk.

Een van de onderzochte maatregelen is nachtkoeling. In de praktijk wordt deze meestal verwezenlijkt door 's nachts enkele ramen te openen. Het behaalde ventilatievoud is echter moeilijk in te schatten en twijfelachtig. In de simulaties werd daarom geopteerd om het mechanische ventilatievoud 's nachts op te drijven:

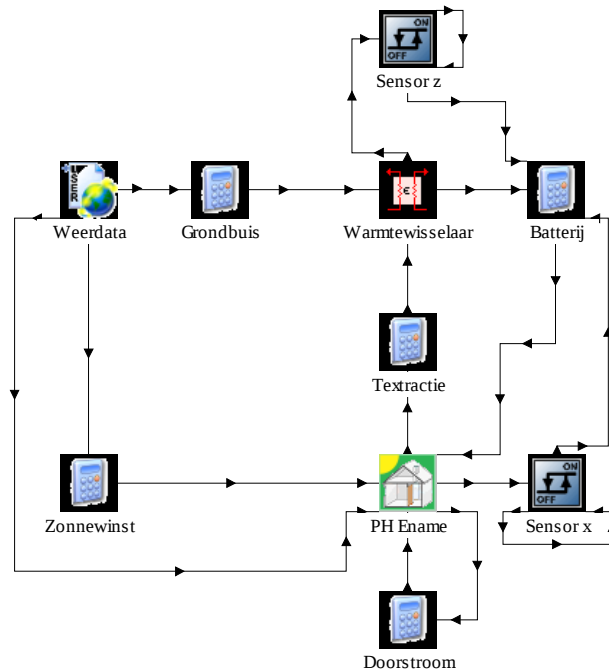
Tijd	Debiet
	m ³ /h
00.00 - 05.00	200
05.00 - 09.00	100
09.00 - 11.00	140
11.00 - 16.00	100
16.00 - 22.00	140
22.00 - 00.00	200

Tabel 37: Ventilatieschema Nachtkoeling

5.2. Zonder voorzorgsmaatregelen tegen oververhitting

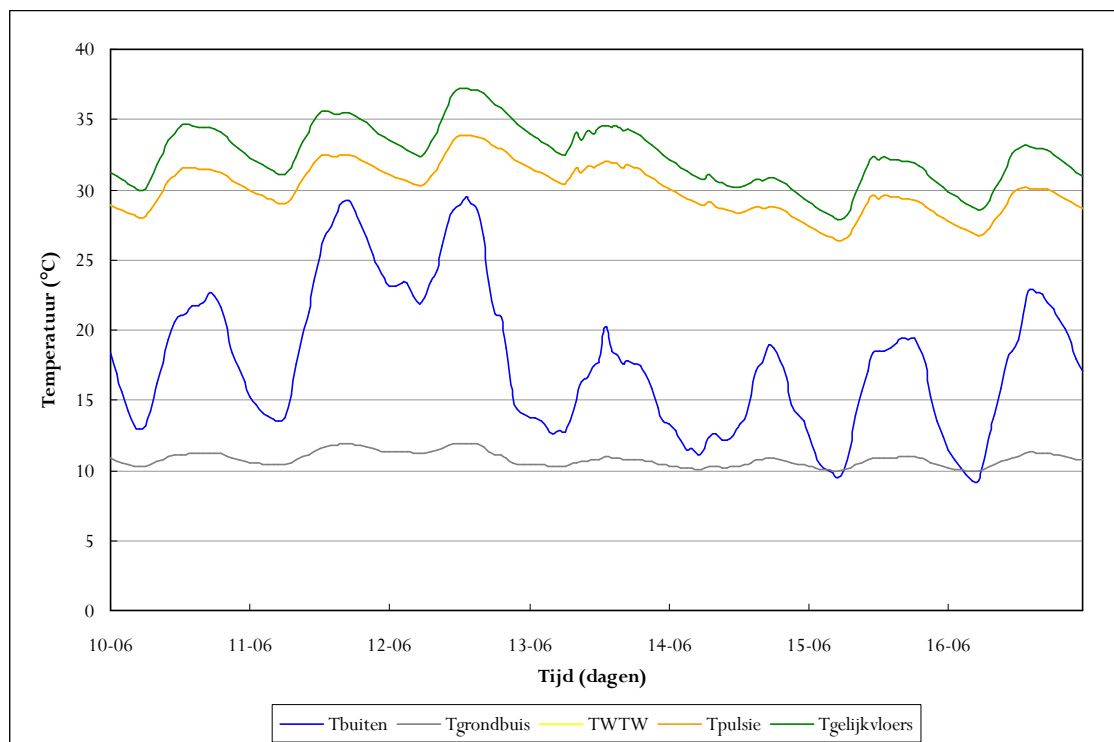
Ter illustratie wordt in een eerste simulatie nagegaan hoe hoog de temperaturen zouden oplopen indien men geen rekening houdt met de kans op oververhitting van de woning.

In deze simulatie werd *sensor y* die betrekking heeft op de bypass van de warmtewisselaar geschrapt. De warmte van de binnenlucht zal dus de hele zomerperiode de lucht uit de grondbuis opwarmen met een effectiviteit van 90%.



Figuur 15: Zonder voorzorgsmaatregelen

5.2.1. Doorheen de installatie



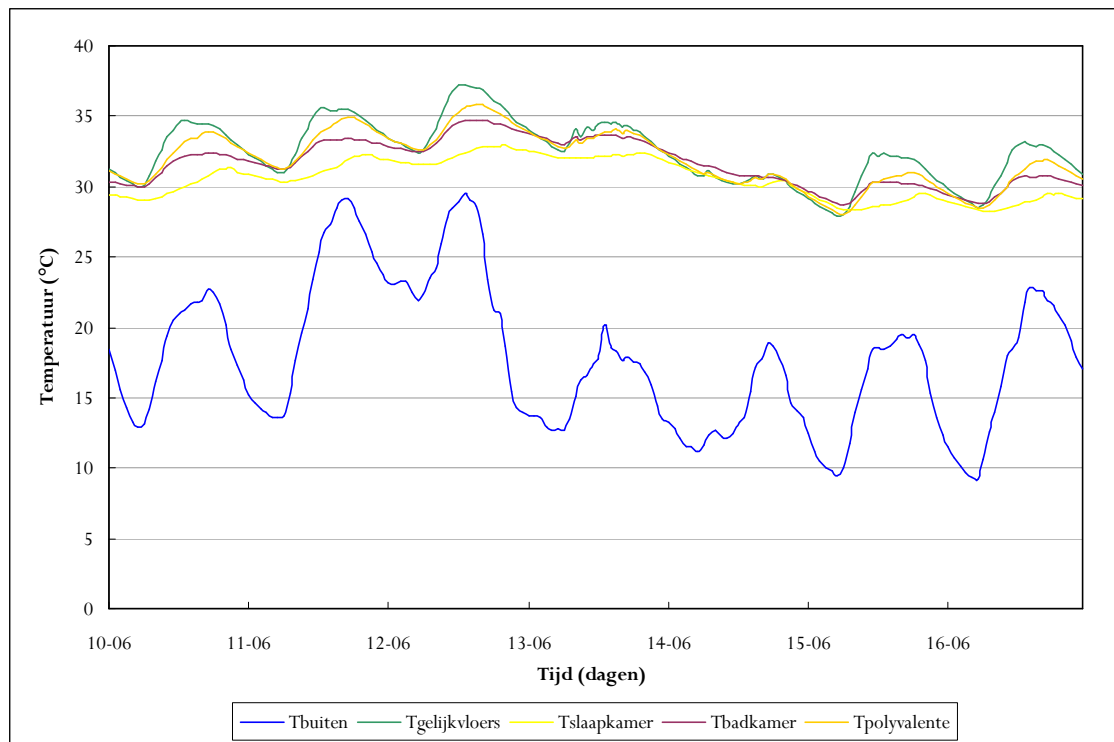
Grafiek 24: Doorheen installatie, zonder voorzorgsmaatregelen

Tijdens de warmste week van het jaar is het koelvermogen van de grondbuis zeer groot. Ondanks de koeling, stijgt de luchttemperatuur door het gebruik van de warmtewisselaar boven de buitentemperatuur. Om de gekoelde lucht uit de bodem-lucht-warmtewisselaar te benutten is het noodzakelijk dat de lucht-lucht-warmtewisselaar gebypass wordt.

5.2.2. Temperaturen van de ruimtes

Uit de vorige grafiek kan reeds worden afgeleid dat de temperatuur van het gelijkvloers ondraaglijk hoog is. Ongeveer de hele week worden temperaturen hoger dan 30°C gemeten. De opmerkingen omtrent de positieve weergave van deze resultaten in gedachte, wordt snel duidelijk dat de woning onleefbaar is indien men vooraf geen rekening houdt met oververhitting.

In grafiek 25 worden ook de temperaturen van de overige ruimtes weergegeven. Deze simulatie houdt rekening met een nominaal ventilatie-debiet.



Grafiek 25: Zonetemperaturen zonder voorzorgsmaatregelen

De maximale temperaturen die in iedere zone behaald worden, alsook het percentage van de tijd dat een temperatuur van 25°C in de leefruimte overschreden wordt (gedurende de periode van 6 mei tot 5 november), zijn in onderstaande tabel opgenomen:

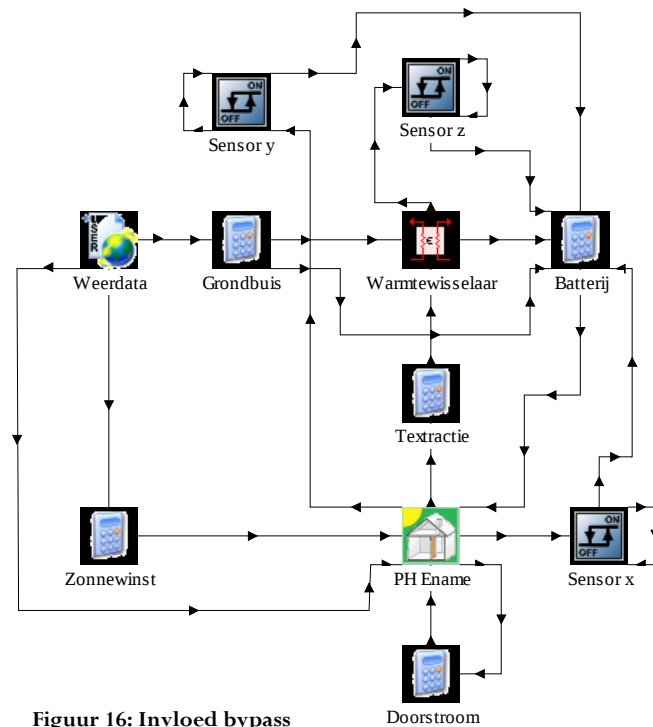
	$T_{\max, \text{gelijkvloers}}$	$T_{\max, \text{slaapkamer}}$	$T_{\max, \text{badkamer}}$	$T_{\max, \text{polyvalente}}$	Oververhitting
	°C	°C	°C	°C	%
Nominale debieten	37,28	32,92	34,75	35,90	47

Tabel 38: Zonder voorzorgsmaatregelen

5.3. Invloed bypass warmtewisselaar

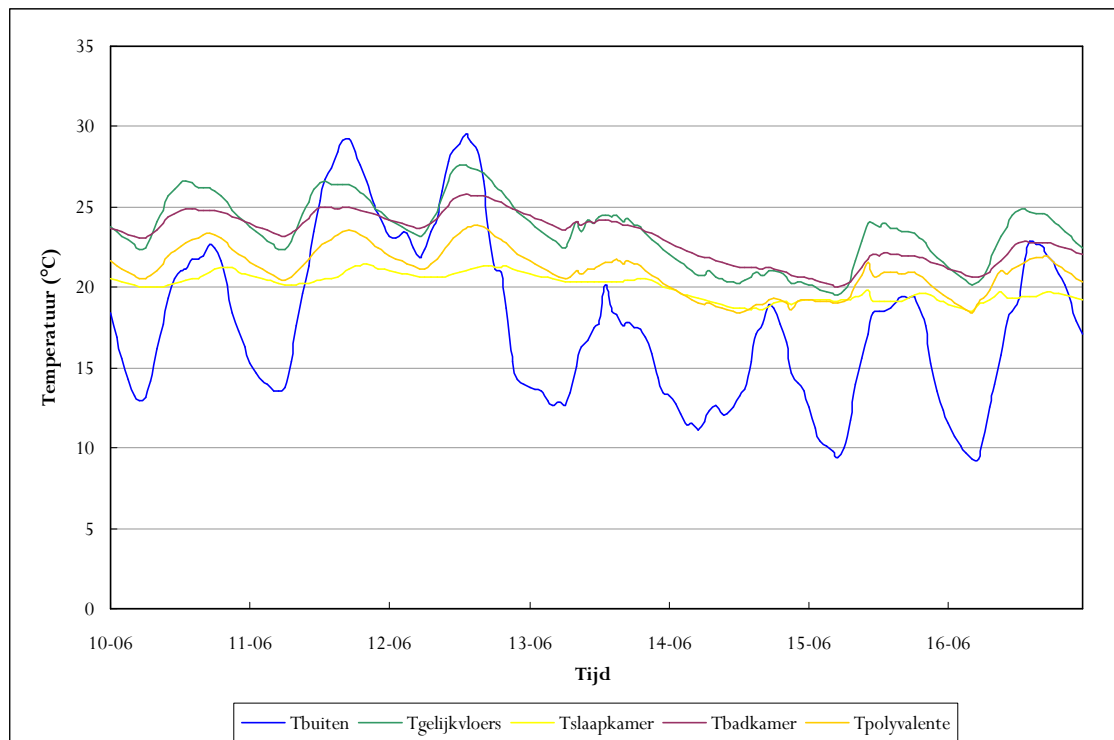
In deze simulatie zorgt *sensor y* er opnieuw voor dat de warmtewisselaar gebypass wordt van zodra de thermostaat op het gelijkvloers een temperatuur van 24°C meet.

De vergelijking in *Batterij* ziet er opnieuw uit zoals in de simulaties van hoofdstuk 4 het geval was.



Figuur 16: Invloed bypass

5.3.1. Nominale debieten



Grafiek 26: Invloed bypass warmtewisselaar bij nominaal debiet

Nu de warmte niet langer uit de extractielucht wordt gerecupereerd, koelt de lucht uit de grondbuis de woning. Uit de grafiek blijkt dat de temperaturen tijdens de warmste week ongeveer 10°C dalen. De bypass is dan ook een noodzakelijk element om de grondbuis in zomeromstandigheden nuttig te gebruiken.

	$T_{\max, \text{gelijkvloers}}$	$T_{\max, \text{slaapkamer}}$	$T_{\max, \text{badkamer}}$	$T_{\max, \text{polyvalente}}$	Oververhitting
	°C	°C	°C	°C	%
Nominale debieten	28,26	22,91	25,76	24,50	4

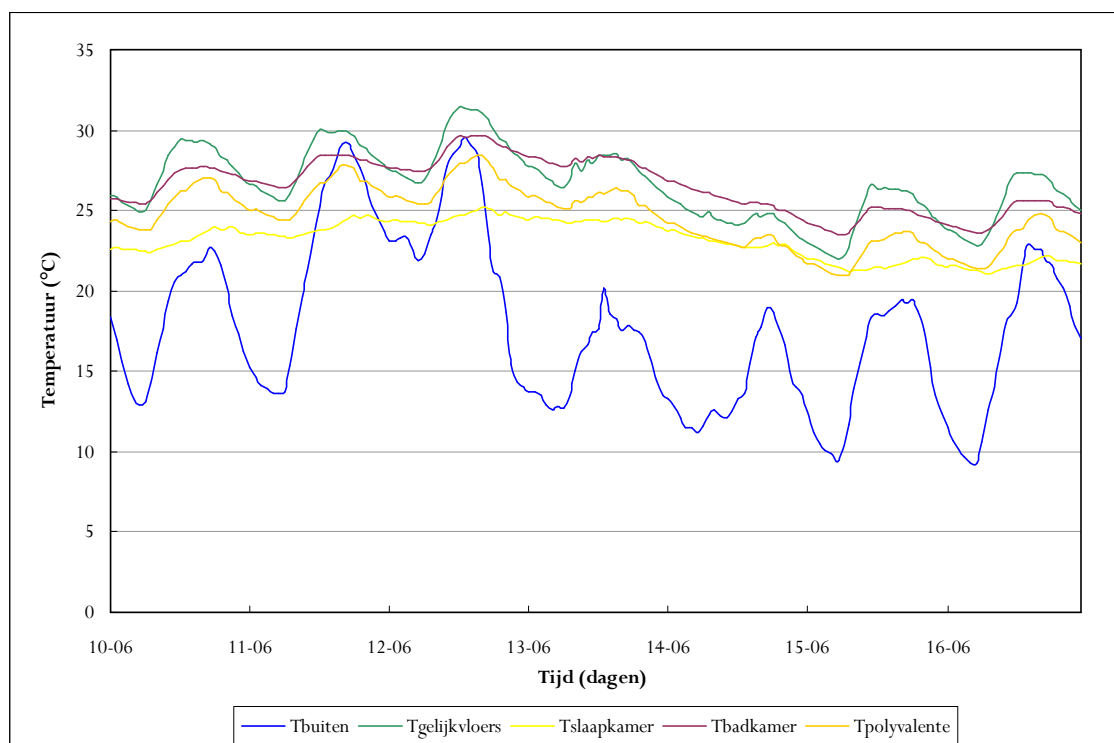
Tabel 39: Invloed bypass bij nominaal debiet

Bij het beschouwen van de volledige zomerperiode zijn de resultaten nog beter. Dankzij de grondbuis en de bypass is er slechts 182 uur of 4% van de gesimuleerde periode sprake van oververhitting.

5.3.2. Variabel debiet

Om de referentiesimulatie (met nominale debieten) te specificeren, wordt de simulatie herhaald met een hygiënisch ventilatieschema. Opnieuw wordt geopteerd voor het schema *Variabel debiet* dat reeds in hoofdstuk 4 gedefinieerd werd.

De resultaten zien er als volgt uit:



Grafiek 27: Temperaturen bij *Variabel debiet*

De temperaturen in de woning bevinden zich opnieuw het grootste gedeelte van de week boven 25°C. Dit wijst erop dat het gebruik van deze debieten onvoldoende zal zijn om gedurende de zomerperiode een aangenaam binnenklimaat te handhaven.

Tabel 40 vertelt meer over de situatie gedurende de rest van deze periode:

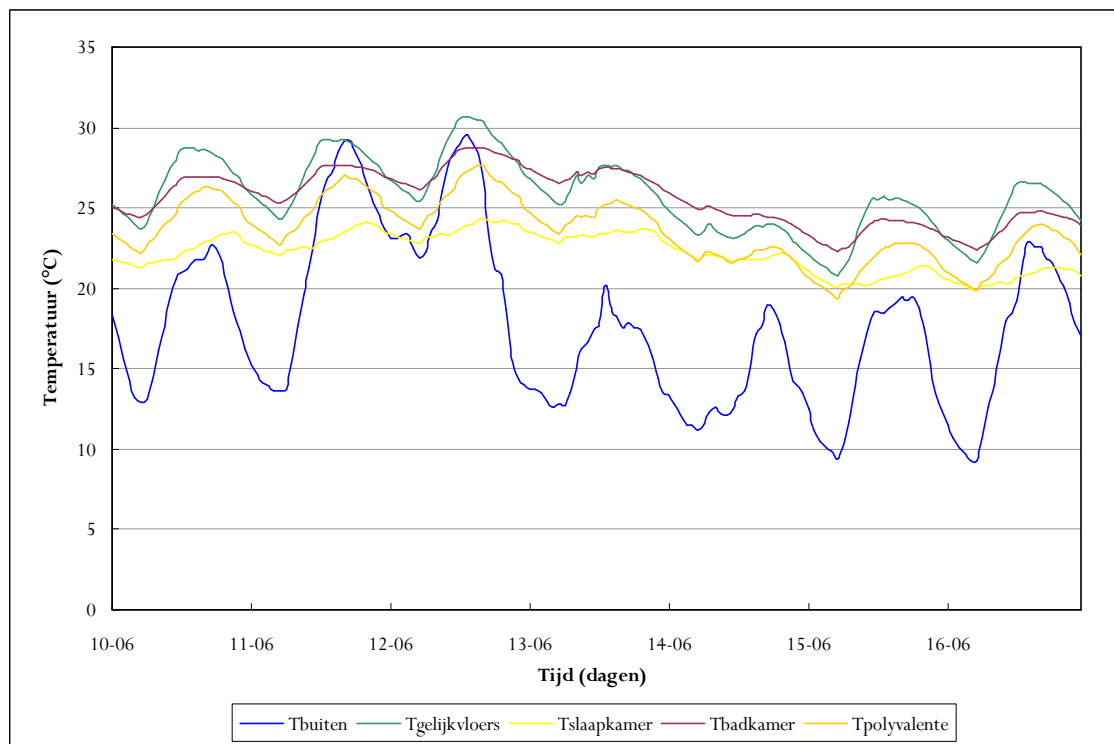
	T _{max, gelijkvloers}	T _{max, slaapkamer}	T _{max, badkamer}	T _{max, polyvalente}	Oververhitting
	°C	°C	°C	°C	%
Variabel debiet	31,47	25,19	29,66	28,70	14
Nominale debieten	28,26	22,91	25,76	24,50	4

Tabel 40: Variabel debiet

Aan de hand van dit debiet kan ventilatie de oververhitting van de woning niet vermijden. In wat volgt worden nog enkele mogelijkheden afgetast die de koellast in bedwang kunnen houden.

5.3.3. Nachtkoeling

Indien de installatie de ventilatiedebieten 's nachts optrekt tot de nominale debieten, wordt een positieve invloed op de binnentemperaturen verwacht. De simulatie maakt in dit geval gebruik van het ventilatieschema *Nachtkoeling*.

**Grafiek 28:** Temperaturen bij nachtkoeling

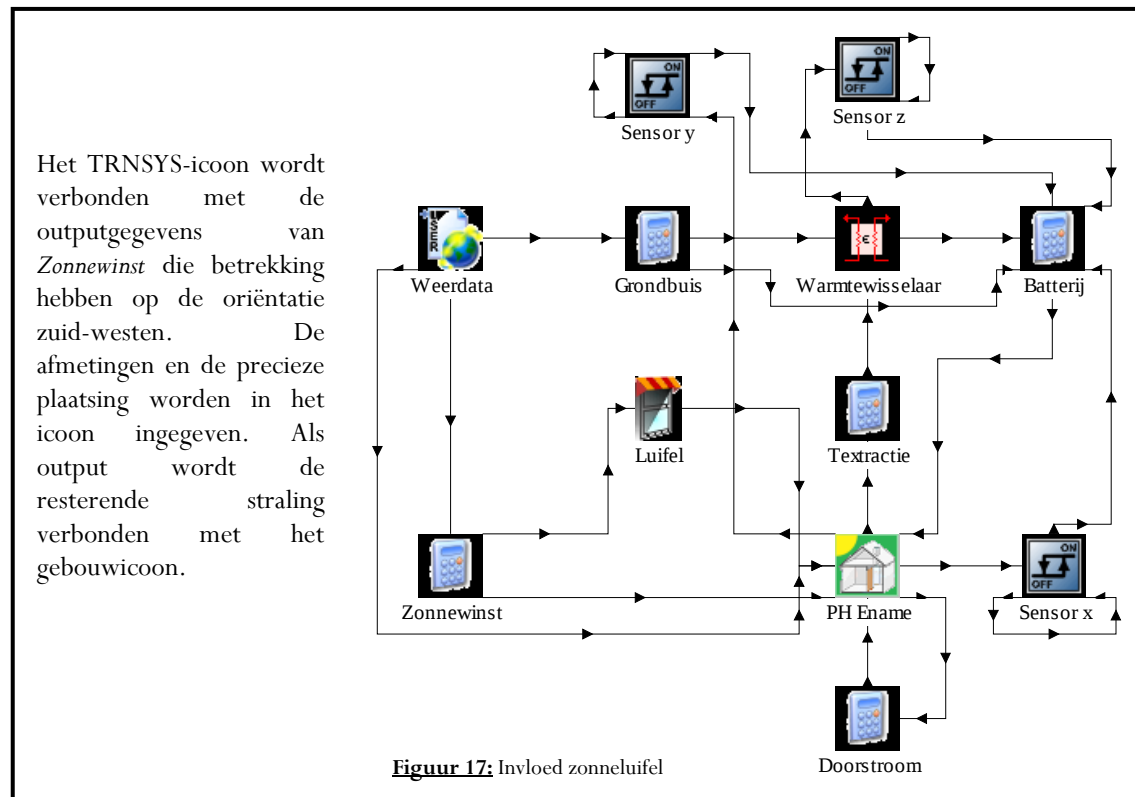
Door de te kleine debieten en het gebrek aan thermische massa in de woning, mist nachtkoeling zijn doel. Tijdens de nacht daalt de temperatuur geleidelijk aan, maar niet tot de gewenste waarde, terwijl de woning vanaf de eerste zonnestralen opnieuw zeer snel opwarmt.

	T _{max, gelijkvloers}	T _{max, slaapkamer}	T _{max, badkamer}	T _{max, polyvalente}	Oververhitting
	°C	°C	°C	°C	%
Nachtkoeling	30,81	24,35	28,79	27,99	12
Variabel debiet	31,47	25,19	29,66	28,70	14
Nominale debieten	28,26	22,91	25,76	24,50	4

Tabel 41: Nachtkoeling

5.4. Invloed zonneluifel

Als laatste wordt de invloed van de luifel op oververhitting nagegaan.



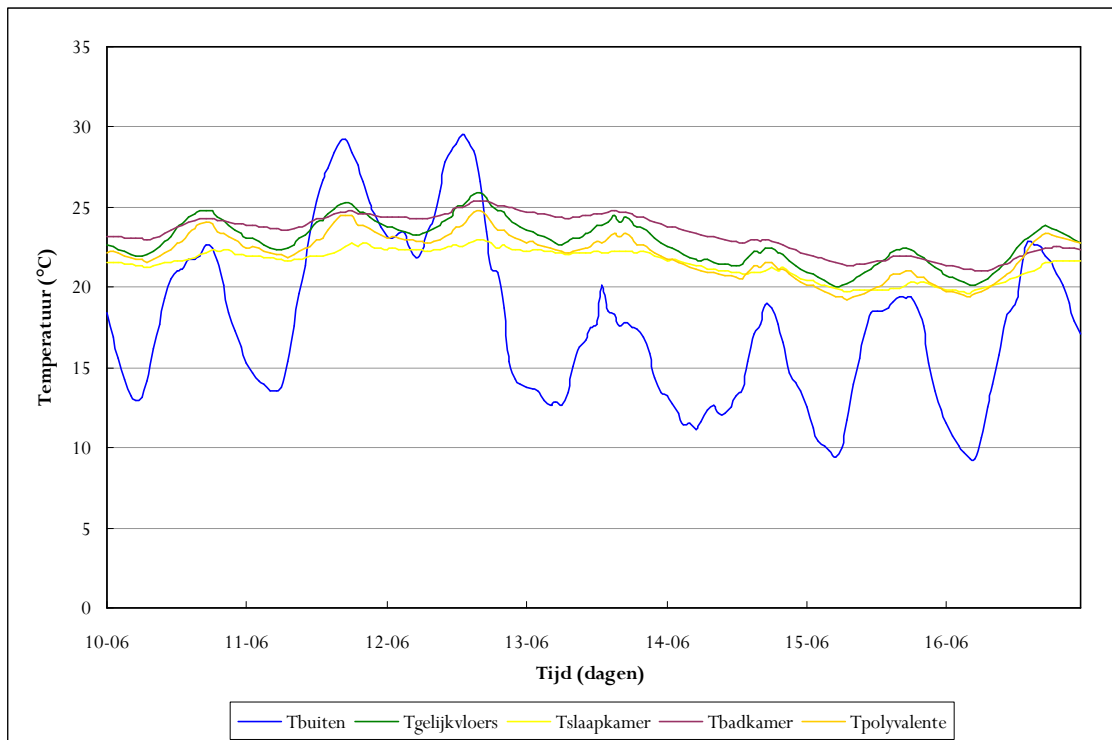
Door de zon uit de woning te houden, zal de temperatuur minder snel en tot minder hoge waarden stijgen. Een logisch gevolg is dat er minder warmte uit de woning zal moeten worden afgevoerd om een aangename binnentemperatuur te verkrijgen.

Deze simulatie werd opnieuw gemaakt voor de nominale debieten en de verschillende ventilatieschema's. De belangrijkste resultaten worden weergegeven in tabel 42.

	$T_{\max, \text{gelijkvloers}}$ °C	$T_{\max, \text{slaapkamer}}$ °C	$T_{\max, \text{badkamer}}$ °C	$T_{\max, \text{polyvalente}}$ °C	Oververhitting %
Variabel debiet	25,86	22,96	25,44	24,74	0,20
Nachtkoeling	25,47	23,84	25,04	24,65	0,11
Nominale debieten	24,19	23,03	24,00	24,47	0

Tabel 42: Invloed luifel

Het is duidelijk dat ventilatie van ondergeschikt belang is in vergelijking met het plaatsen van een degelijke zonwering. Wanneer de zon in de zomer buitengehouden wordt, is de kans op oververhitting zeer gering en is extra ventilatie omwille van een koellast overbodig. Een ventilatieschema dat op basis van hygiënische eisen bepaald wordt, voldoet in dit geval.



Grafiek 29: Invloed luifel (variabel debiet)

5.5. Besluit

Uit de simulatie van 5.2. volgt dat het noodzakelijk is reeds tijdens het ontwerp van een passiefhuis rekening te houden met oververhitting. Indien er geen voorzorgsmaatregelen getroffen worden, stijgen de binnentemperaturen tot ondraaglijk hoge waarden.

Vooreerst is het noodzakelijk een bypass te voorzien op de warmteterugwinning. Deze klep zorgt ervoor dat de warmte van de extractielucht niet langer op de pulsielucht wordt overgedragen. De frisse lucht wordt zo rechtstreeks van buitenaf of uit de grondbuis in de woning binnen gebracht.

Om tijdens de zomer een comfortabel binnenklimaat te behouden, zijn geen energieverblindende installaties nodig. Door de zon buiten te houden met een doordacht geplaatste zonnewering en de ventilatielucht passief te koelen door het gebruik van de aardwarmtewisselaar, is het zelfs onnodig het ventilatiedebiet op te drijven. Tijdens de warmste weken van het jaar kunnen de bewoners wel opteren voor een hoger ventilatiedebiet. Op deze manier worden ook de interne warmtewinsten tijdig afgevoerd.

Hoofdstuk 6: Optimalisatie ventilatiesysteem

6. Optimalisatie ventilatiesysteem

In dit hoofdstuk wordt nagegaan of het verbruik en/of het comfort van de woning nog verbeterd kan worden met behulp van kleine installatie-technische ingrepen. Vooreerst wordt nagegaan of het bypassen van de grondbuis tot een energiebesparing kan leiden. Daarna wordt de naverwarmingsbatterij van het hoofdventilatiekanaal losgekoppeld en op het pulsiekanaal van het gelijkvloers aangesloten.

6.1. Grondbuis bypassen

In het tussenseizoen is het mogelijk dat de temperatuur van de grond lager is dan de buitentemperatuur waardoor de grondbuis de lucht niet zal voorverwarmen, maar zal koelen. Een voorbeeld zal deze probleemstelling verduidelijken:

Op een gematigde herfstdag bedraagt de buitentemperatuur 15°C . Wanneer de buitenlucht doorheen de grondbuis naar de warmtewisselaar wordt aangezogen zal de temperatuur van deze lucht dalen tot $10,5^{\circ}\text{C}$. Dankzij de WTW-unit zal het grootste deel van de warmte van de binnenlucht worden gerecupereerd. Indien er een warmtevraag is vanuit de woning, zal de lucht nog verder worden opgewarmd door de naverwarmingsbatterij.

Wanneer de buitenlucht rechtstreeks in de warmtewisselaar getrokken wordt, zal de temperatuur van de lucht reeds iets hoger zijn wanneer deze de warmwaterbatterij bereikt met een verminderd energieverbruik tot gevolg.

6.1.1. Algemene opmerkingen

Aangezien de grondbuis ook als passieve koeltechniek gebruikt wordt, zijn er twee randvoorwaarden aan het gebruik van de bypass verbonden. Indien de binnentemperatuur 24°C overschrijdt, is er behoefte aan koeling en mag de grondbuis niet worden kortgesloten. Wanneer de buitentemperatuur lager is dan 10°C wordt deze dankzij de grondbuis opgewarmd wat het energieverbruik positief beïnvloedt. De bypass van de grondbuis wordt met andere woorden geactiveerd indien:

$$T_i < 24^{\circ}\text{C}$$

en

$$T_e > 10^{\circ}\text{C}$$

Gebruik van de sensoren:

1. Sensor y:

In de voorgaande simulaties werd sensor y reeds gebruikt om de warmtewisselaar te bypassen. Dit gebeurt wanneer aan de volgende voorwaarden voldaan is:

$$T_{i,\text{gelijkvloers}} \geq 24^{\circ}\text{C} \rightarrow y = 1$$

$$T_{i,\text{gelijkvloers}} < 21^{\circ}\text{C} \rightarrow y = 0$$

Hieruit volgt dat de grondbuis enkel mag gebypass worden indien $y = 0$.

2. Sensor a:

Deze sensor wordt in de buitenlucht opgesteld; hij zendt een [0-1]-signaal met de volgende randvoorwaarden:

$$T_e \leq 10^\circ\text{C} \rightarrow a = 1$$

$$T_e > 10^\circ\text{C} \rightarrow a = 0$$

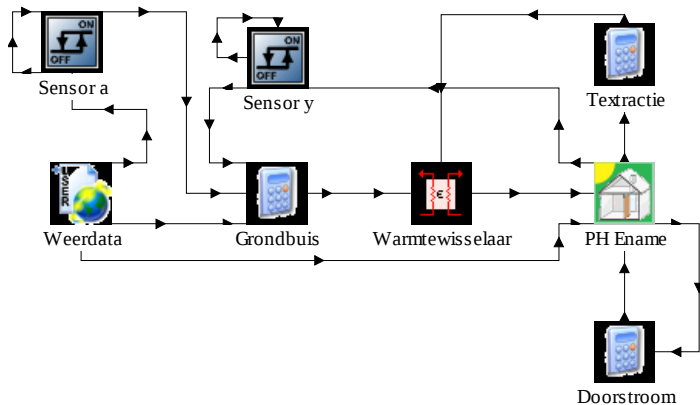
Formule voor de temperatuur van de verse lucht die in de WTW-unit binnenkomt:

$$T_{\text{naar ww}} = y * [0,90 * (10 - T_e) + T_e] + (1 - y) * [a * T_e + (1 - a) * (0,90 * (10 - T_e) + T_e)]$$

6.1.2. Simulatie van de warmtevraag

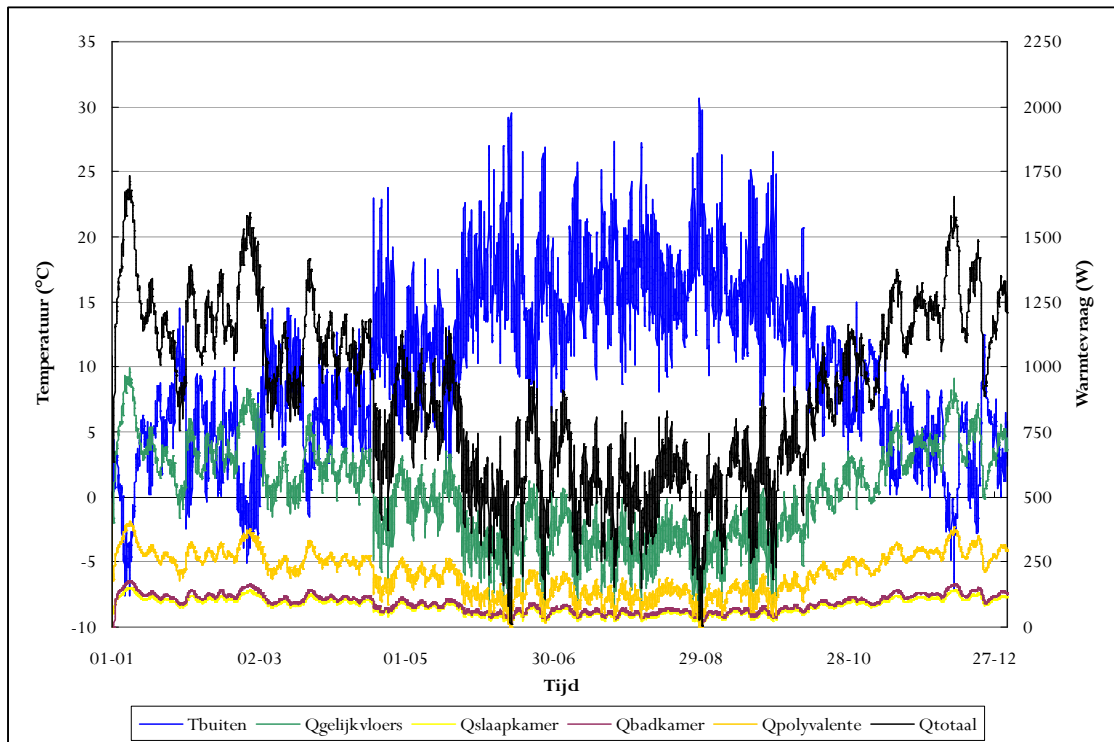
Om de warmtevraag te simuleren wordt teruggegrepen naar het model zoals afgebeeld in figuur 9. Er bevindt zich opnieuw een virtueel verwarmingselement met een oneindig vermogen in elke zone van het gebouwmodel.

Sensoren y en a zijn respectievelijk gekoppeld met de binnen- en buitentemperatuur en sturen hun pulsen door naar het icoon *Grondbuis* dat bovenvermelde formule bevat.

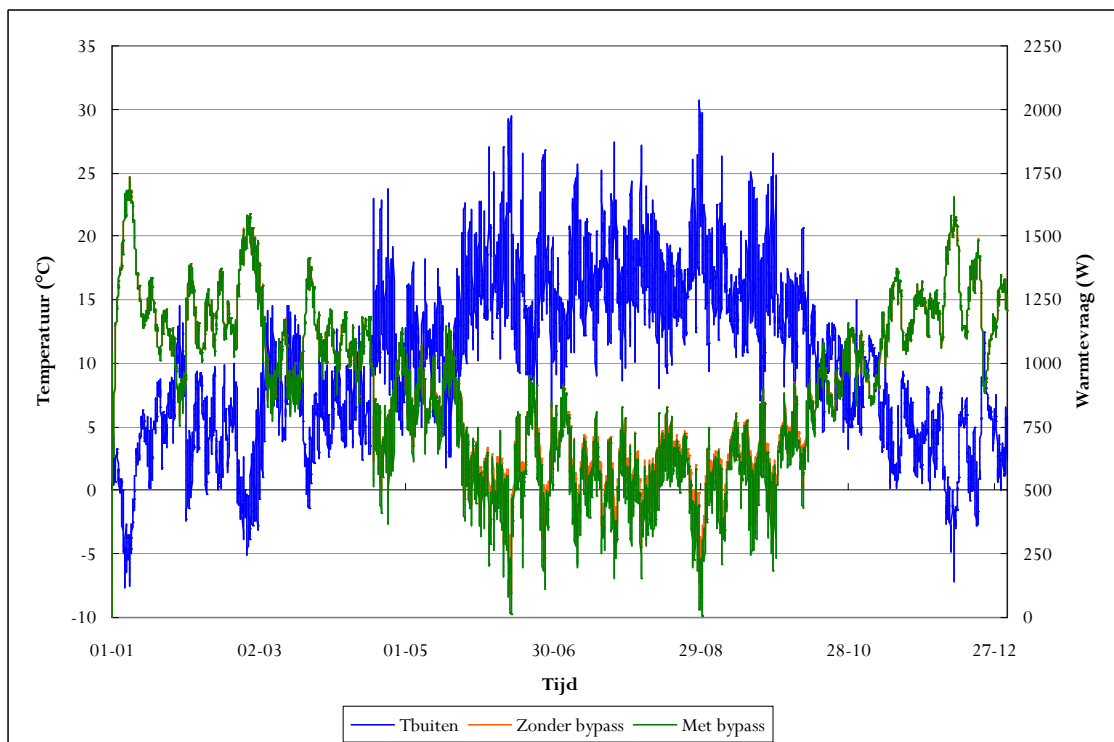


Figuur 18: Warmtevraag met bypass op grondbuis

De warmtevraag die uit deze simulatie zonder zonnewinsten verkregen wordt, ziet er als volgt uit:



Grafiek 30: Warmtevraag zonder zonnewinsten

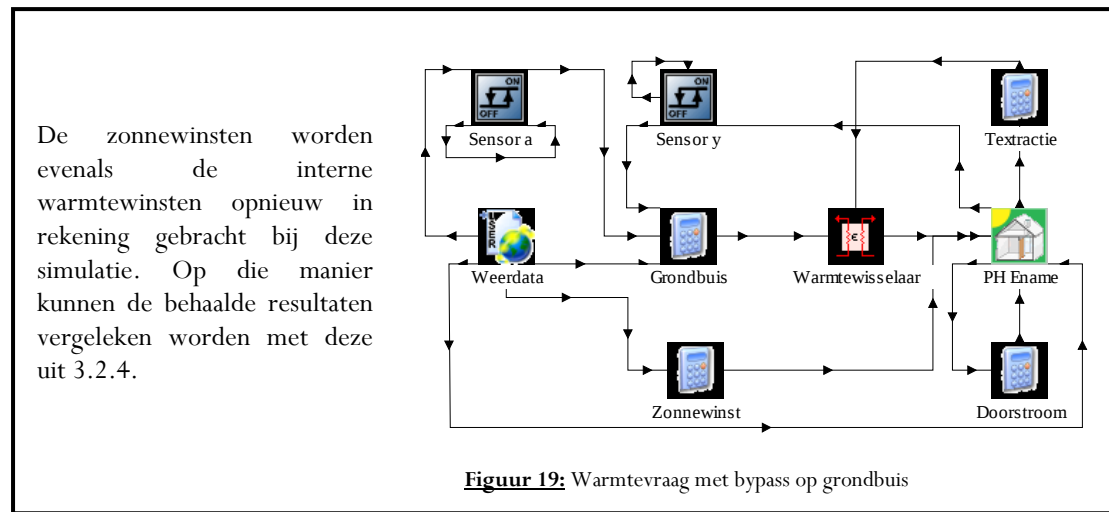


Grafiek 31: Invloed bypass op grondbuis

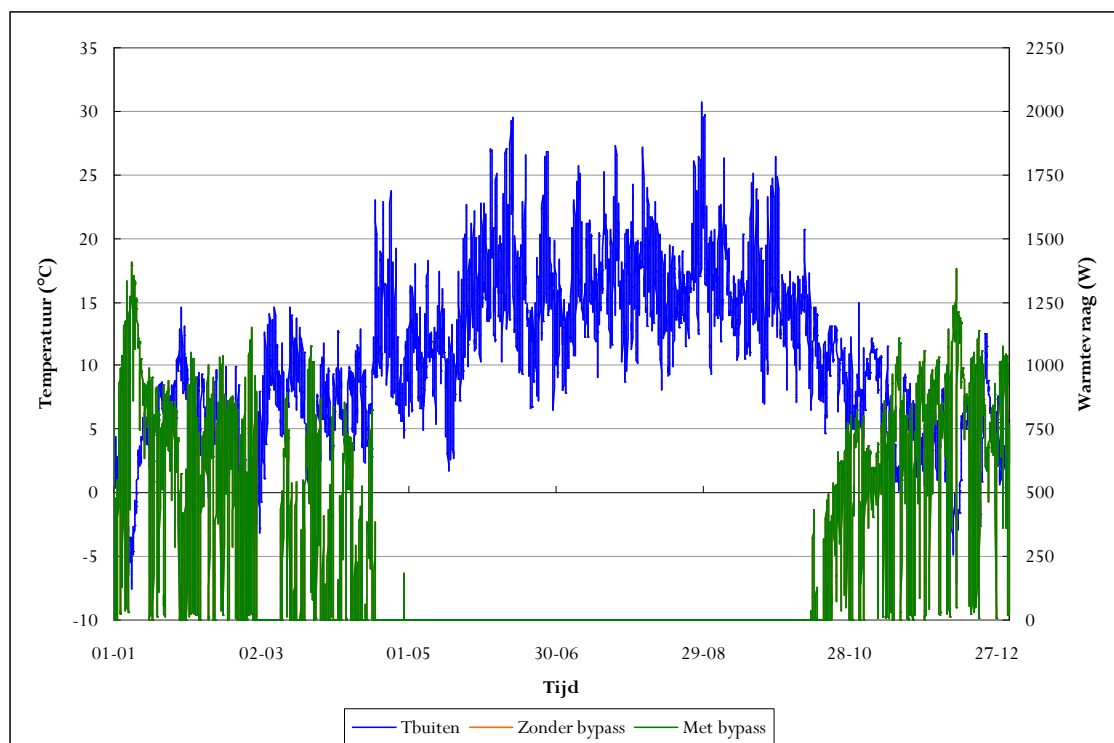
In grafiek 31 wordt de totale warmtevraag vergeleken met deze die in 3.2.2. verkregen werd uit de simulatie zonder bypass op de grondbuis en zonder warmtewinsten. In de zomerperiode is een lichte afname van de warmtevraag af te lezen.

Ook uit de numerieke resultaten wordt een kleine optimalisatie duidelijk. De jaarlijkse energievraag voor verwarming daalt van 7.953 kWh naar 7.782 kWh, of nog: van 71 kWh/m² naar 69 kWh/m².

Het is echter duidelijk dat de behaalde winst fel zal afnemen indien de zonnewinsten in rekening gebracht worden. In de periode waar nu de grootste winsten optreden, zal de warmtevraag gereduceerd worden tot nul. Hieronder wordt de werkelijk behaalde winst nagegaan.



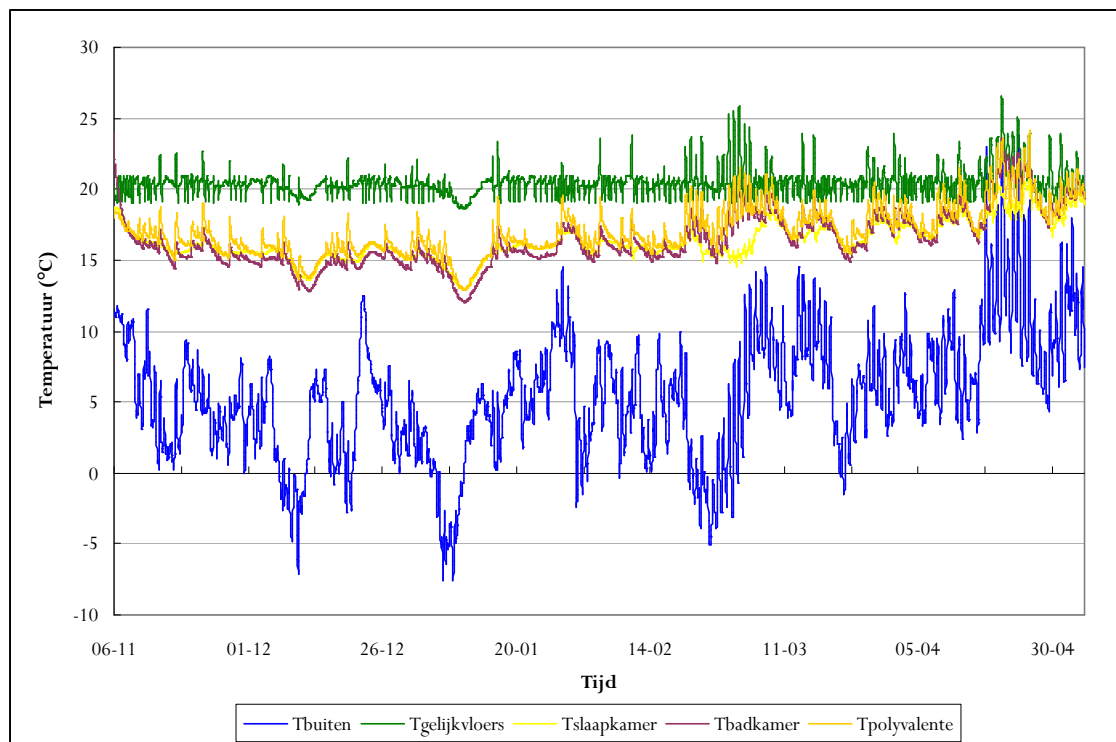
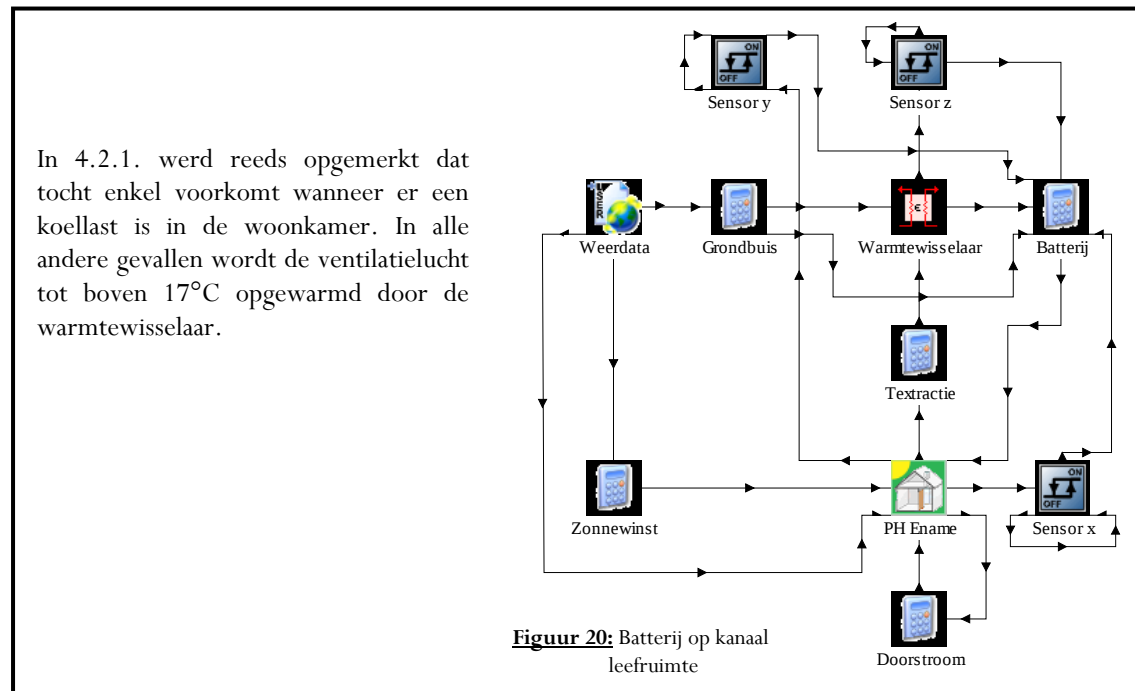
De vergelijking van de totale warmtevraag met de verkregen waarde uit 3.2.4. wordt weergegeven in grafiek 32:



De werkelijke warmtevraag wordt niet beïnvloed door het bypassen van de grondbuis. In grafiek 32 vallen beide lijnen samen; het jaarverbruik van de woning bedraagt in beide gevallen 2.362 kWh.

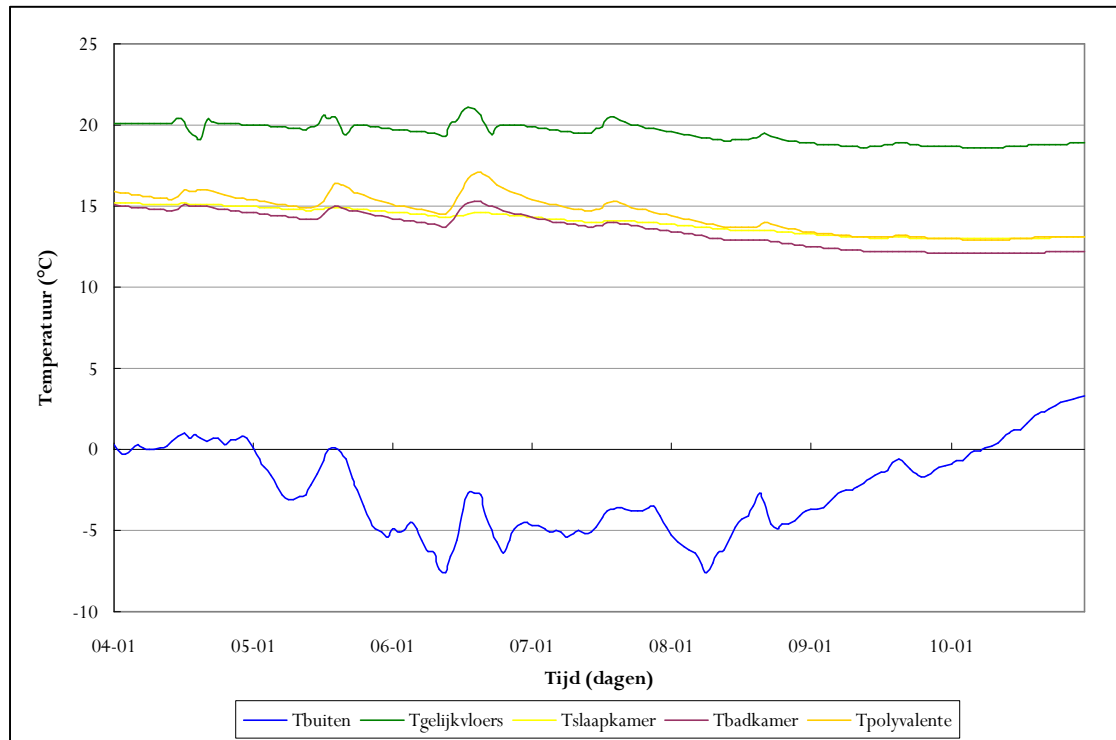
6.2. Enkel in leefruimte actief verwarmen

In deze simulatie wordt de naverwarmingsbatterij enkel op het ventilatiekanaal van de woonkamer aangesloten. De ventilatielucht van de overige ruimtes wordt enkel passief verwarmd door de grondbuis en de warmtewisselaar.



Met deze maatregel daalt het jaarlijks energieverbruik van het passiefhuis van 2.017 kWh tot 1.473 kWh; een daling van maar liefst 27%. Indien het algemeen comfort behouden blijft, is dit een zeer interessante optie.

Grafiek 34 geeft de resultaten voor de koudste week weer:



Grafiek 34: Koudste week van het jaar

De temperaturen van de slaapkamer en de polyvalente ruimte voldoen duidelijk niet aan de ontwerptemperaturen. Gedurende de koudste week worden temperaturen genoteerd die voor vele mensen onder de comfortgrens vallen. In onderstaande tabel wordt weergegeven hoe groot het tijdspercentage is dat een bepaalde temperatuur niet behaald wordt:

	T _{slaapkamer}	T _{polyvalente}
	%	%
Kouder dan 18°C	89	72
Kouder dan 17°C	73	56
Kouder dan 16°C	49	27
Kouder dan 15°C	10	7

Tabel 43: Temperatuursspreiding

Of de energiebesparing opweegt tegen het verlies aan comfort is een persoonsafhankelijke beslissing. Wanneer men het comfortverlies beschouwt, moet men er echter ook rekening mee houden dat de temperatuur van de slaapkamer en de polyvalente ruimte in 4.3.2. vaak oncomfortabel hoog is. Dit aspect maakt het nog moeilijker om een objectieve afweging te maken.

6.3. Besluit

De plaatsing van een bypassklep op de grondbuis is een verloren investering aangezien noch de warmtevraag, noch het comfort hierdoor beïnvloed wordt. In standaardwoningen - met een langere stookperiode - kunnen deze parameters wel wijzigen door het nemen van deze maatregel.

De verwarmingsbatterij loskoppelen van het hoofdkanaal en deze aan het ventilatiekanaal van het gelijkvloers koppelen, is wel een aanpassing die kan overwogen worden. Het energieverbruik daalt door deze ingreep met 27%. Een uitspraak over het comfortverlies zal steeds persoonsafhankelijk zijn. De temperaturen van de slaapkamer en de polyvalente ruimte bedragen respectievelijk 10 en 7% van de tijd een waarde die lager is dan 15°C. Indien hun inblaastemperatuur bepaald wordt door de naverwarmingsbatterij, ontstond echter een discomfort omwille van te hoge temperaturen. Beide aspecten moeten in rekening gebracht worden voor een beslissing kan worden genomen.

Hoofdstuk 7: Algemeen besluit

7. Algemeen besluit

De totale ontwerpwarmtebelasting van passiefhuizen wordt in de praktijk berekend aan de hand van het PassiefHuis ProjektPakket dat door het PassiefHuis Instituut werd ontwikkeld. Deze methode heeft haar nut reeds bewezen en de gemaakte simulaties bevestigen de betrouwbaarheid.

Aangezien de warmtebehoefte van de woning zeer gering is, kan het ventilatiesysteem de nodige warmte aanvoeren. Het nominaal debiet - dat in de woning vereist is om aan de hygiënische ventilatie-eisen tegemoet te komen - kan de woning op temperatuur houden door middel van luchtverwarming.

Door de totale ruimte op te delen in verscheidene kamers wordt een nieuwe dimensie aan het probleem gegeven. Indien het hygiënische ventilatiesysteem gebruikt wordt voor luchtverwarming, is het onmogelijk de temperatuur van doorstroom- en extractieruimtes te regelen. Ook voor de kamers waar lucht wordt ingeblazen, kan slechts een optimale regeling behaald worden indien iedere ruimte voorzien wordt van een individuele thermostaat en een verwarmingsbatterij.

De eenvoudige koppeling van één warmwaterbatterij aan het hoofdventilatiekanaal wordt afgeraden zonder voorafgaande studie. De hygiënische ventilatiedebieten zijn niet gelijk aan de gewenste debieten voor luchtverwarming met een vaste temperatuur. Door het ventilatiesysteem op deze manier te ontwerpen, kan een verhoogd energieverbruik en discomfort ontstaan.

Uit wetenschappelijk onderzoek [13] is reeds gebleken dat de nachtzone van de meeste Belgische eengezinswoningen slechts zelden verwarmd wordt. Hiermee rekening houdend, bestaat de beste oplossing erin enkel de woonkamer van een passiefhuis actief te verwarmen. In deze situatie wordt de naverwarmingsbatterij enkel op het pulsiekanaal van de leefruimte aangesloten. Hierdoor wordt de ontwerptemperatuur (18°C) van de nachtzone echter niet langer het hele jaar door behaald.

Bijlage 1: Plannen en snedes

PVC Ø 180 naar
openbare riolering

PVC Ø 160 naar
openbare riolering

Rw-Put 7350L

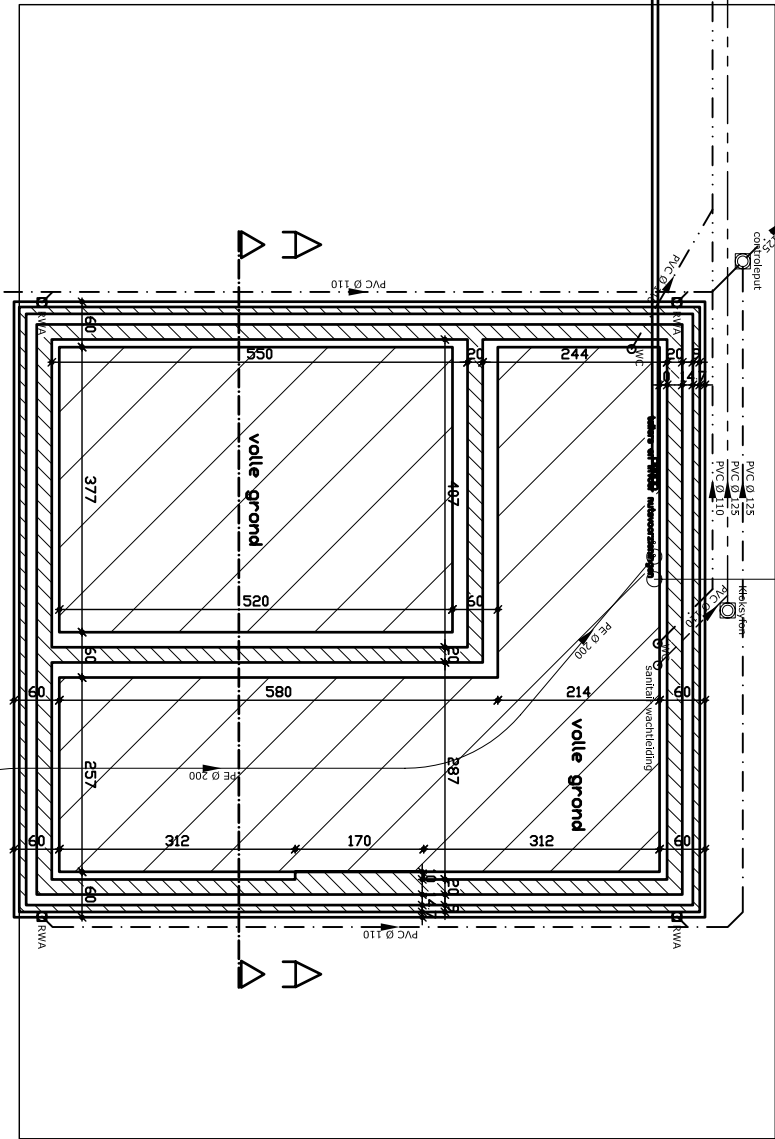
filter

LIGING: Riedden, 14/17, 9700 ENATE

Plaatsen: Dik en Pion de Clupide - Boven: Standaard 75x 9000 G&H

ARCHITECT: Christophe DEBRANDER

Geometrie: III, 2000 WPT/ELN, 14/04/16/16/40



FUNDERING/RIOLERING - Sch. 1/50
Dossier 04.11.N - 08.01.2005



PE Ø 200

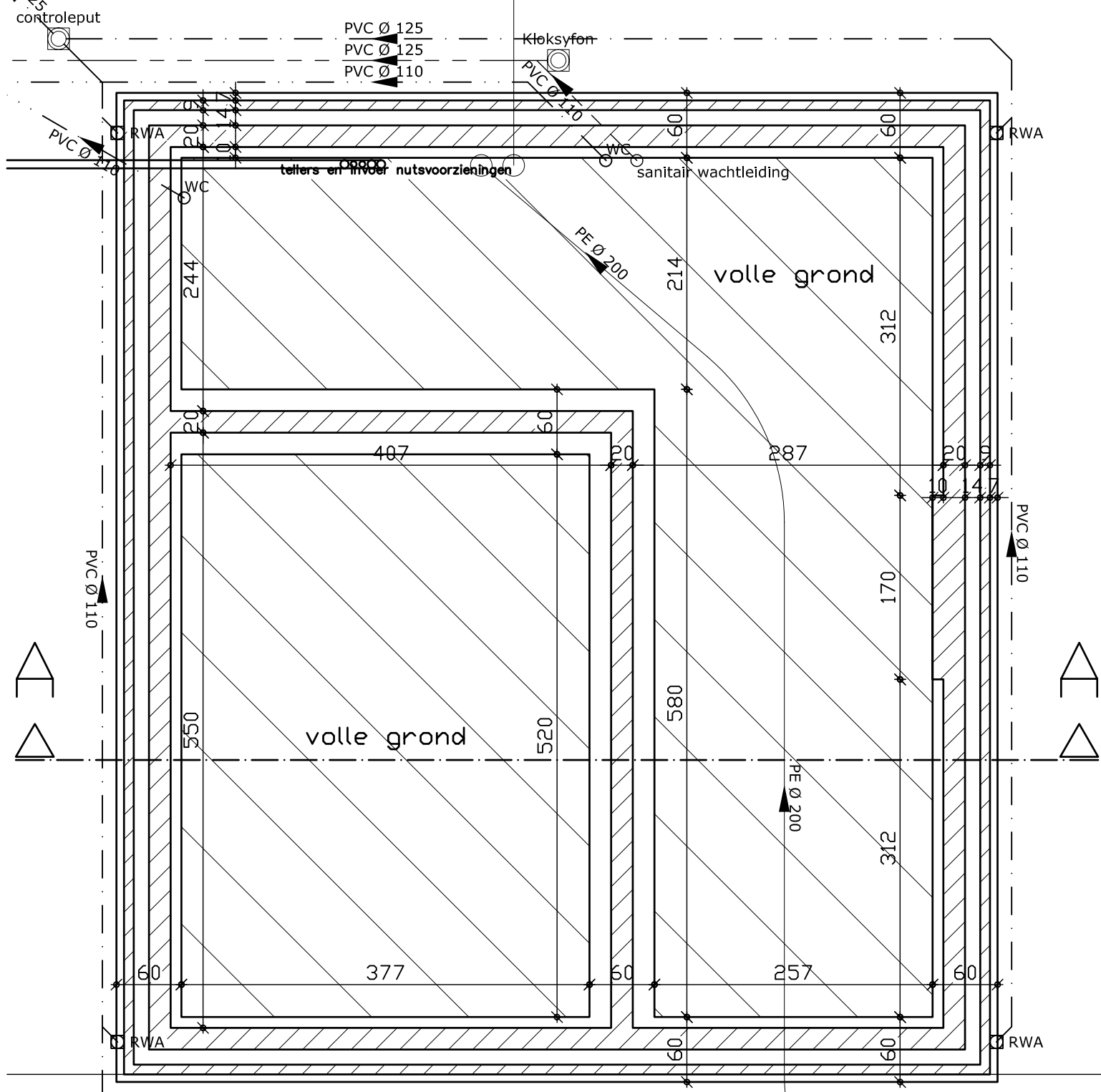
PE Ø 200

LIGGING: Riedekens, lot 19, 9700 ENAME

Bouwheer: Dhr. en Mevr. de Clippele - Blomme, Sleepstraat 75b, 9000 GENT

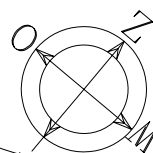
ARCHITECT: Christophe DEBRABANDER

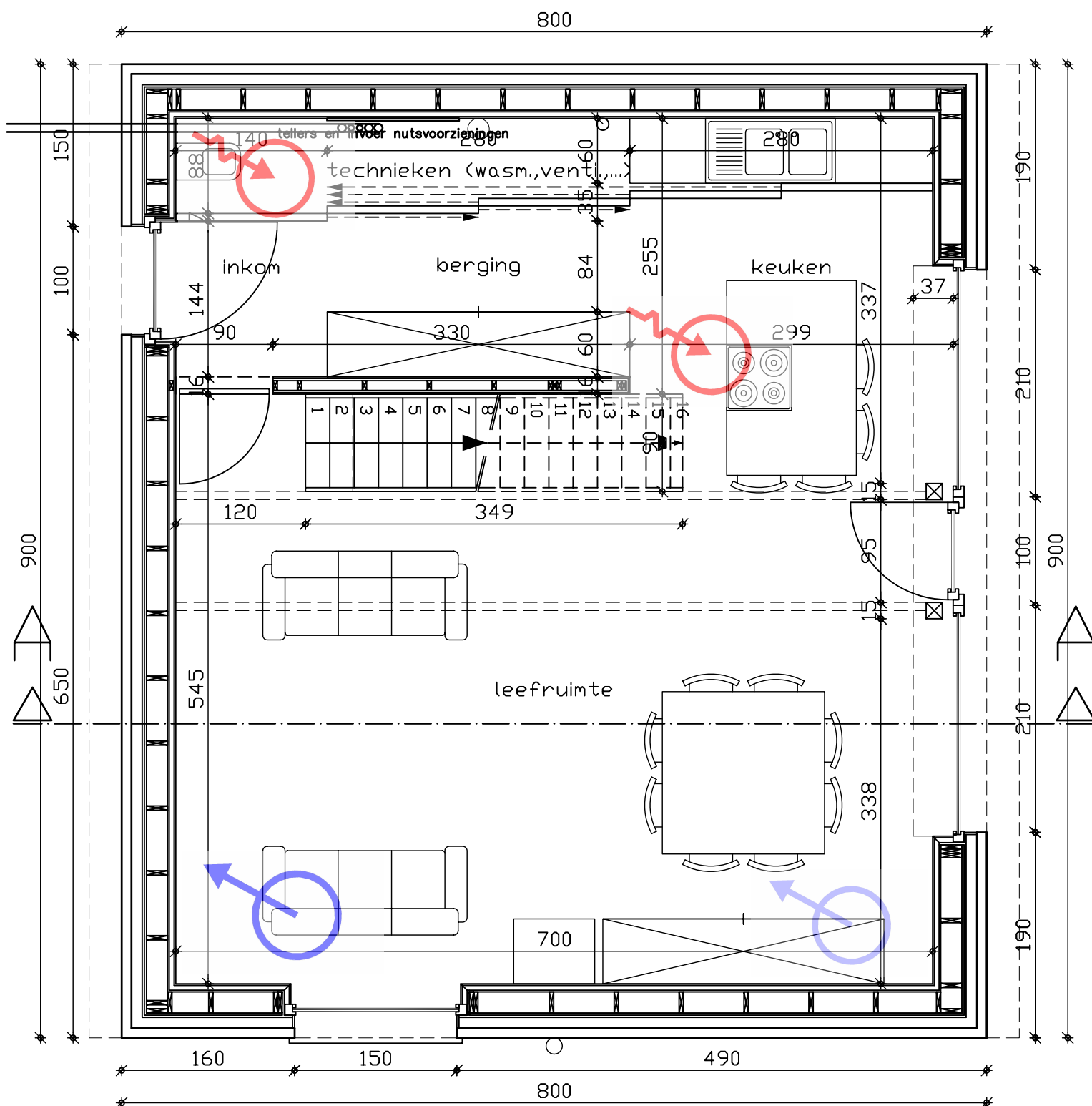
Classensendreef 111, 2950 KAPELLEN Td: 0479/66.76.40



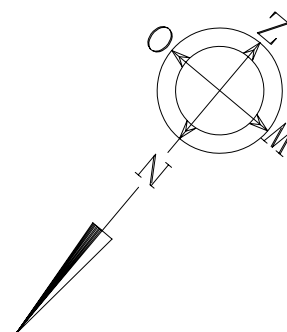
FUNDERING/RIOLERING - Sch: 1/50

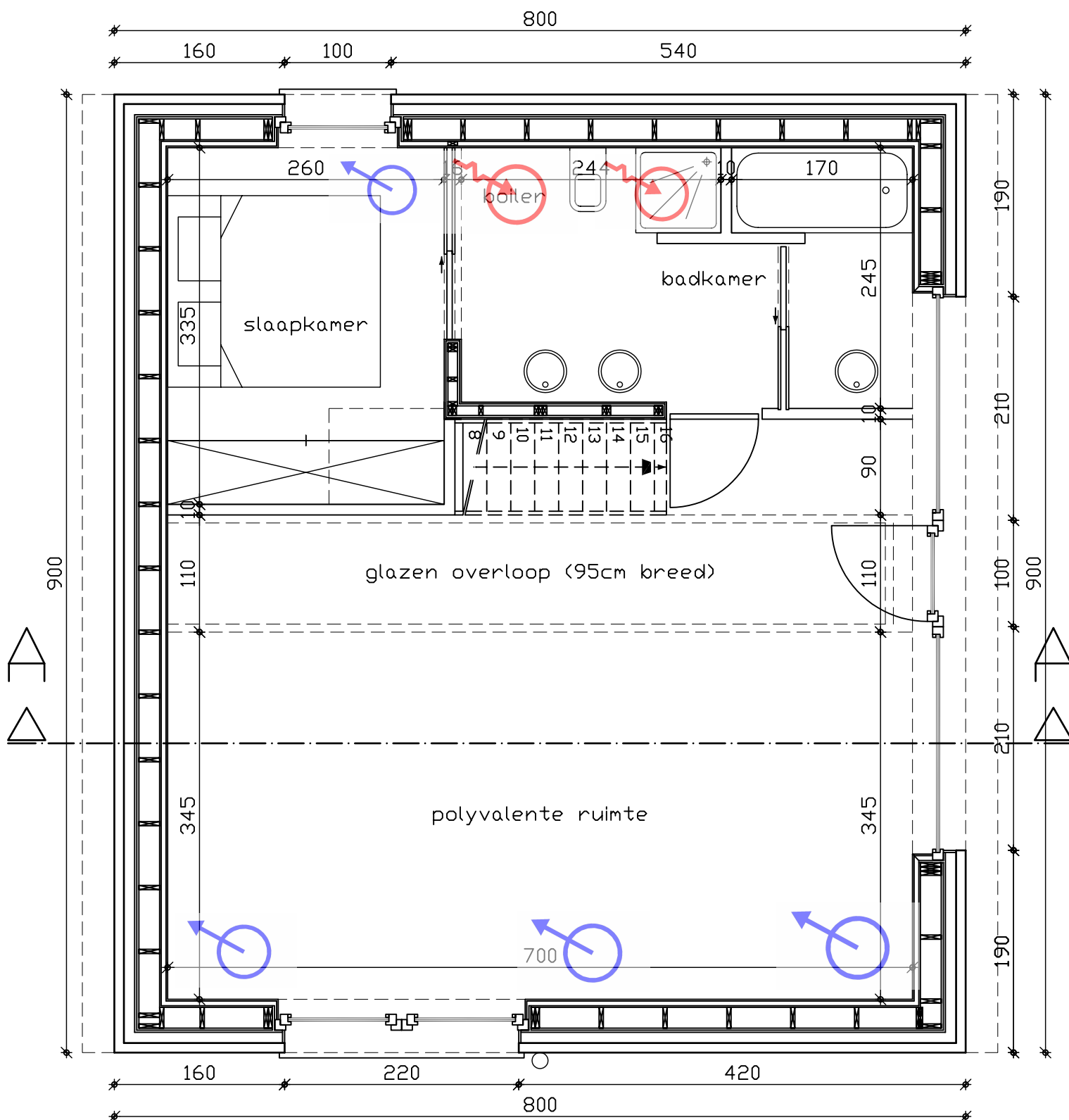
Dossier 04.11.N - 08.01.2005



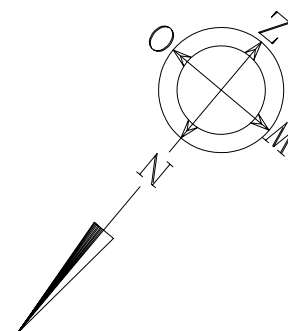


GELIJKVLOERS - Sch: 1/50
 Dossier 04.11.N - 08.01.2005



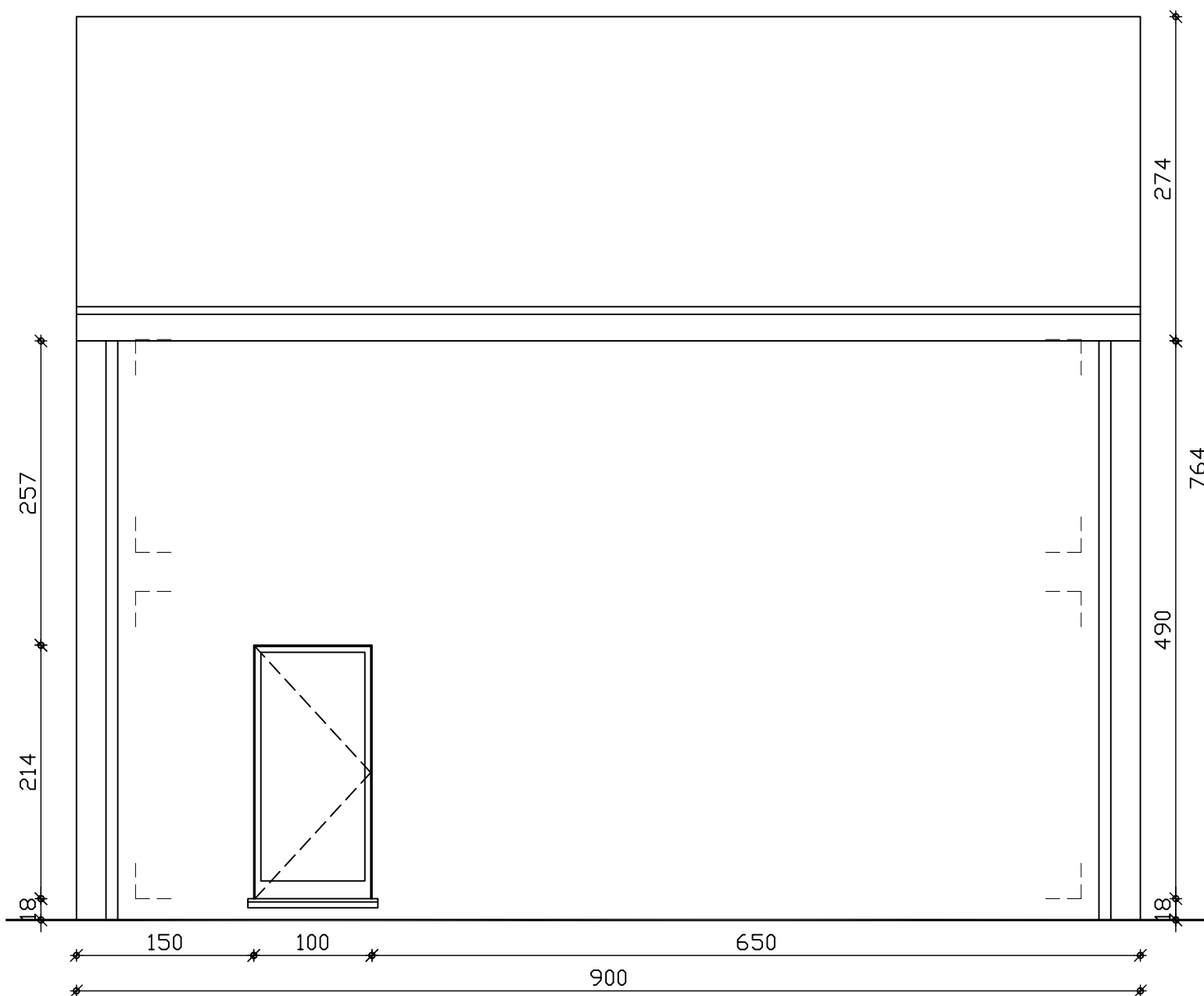


VERDIEPING - Sch: 1/50
 Dossier 04.11.N - 08.01.2005



LIGGING: Riedekens, lot 19, 9700 ENAME
Bouwheer: Dhr. en Mevr. de Clippele - Blomme, Sleepstraat 75b, 9000 GENT

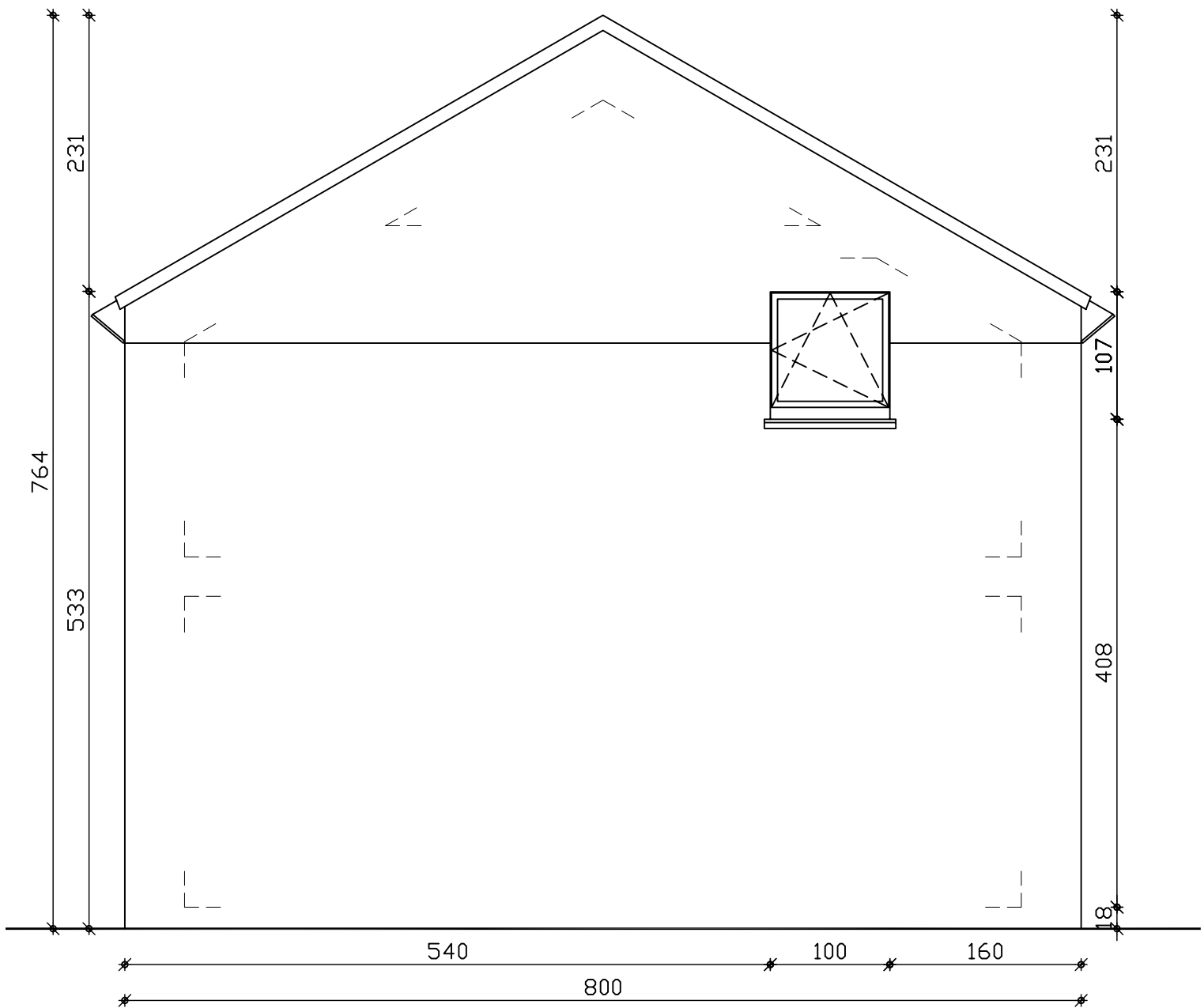
ARCHITECT: Christophe DEBRABANDER
Glaessenendreef 111, 2950 KAPELLEN Tel: 0479/66.76.40



VOORGEVEL NO - Sch: 1/50
Dossier 04.11.N - 08.01.2005

LIGGING: Riedekens, lot 19, 9700 ENAME
Pouwheer: Dhr. en Mevr. de Clippele - Blomme, Sleepstraat 75b, 9000 GENT

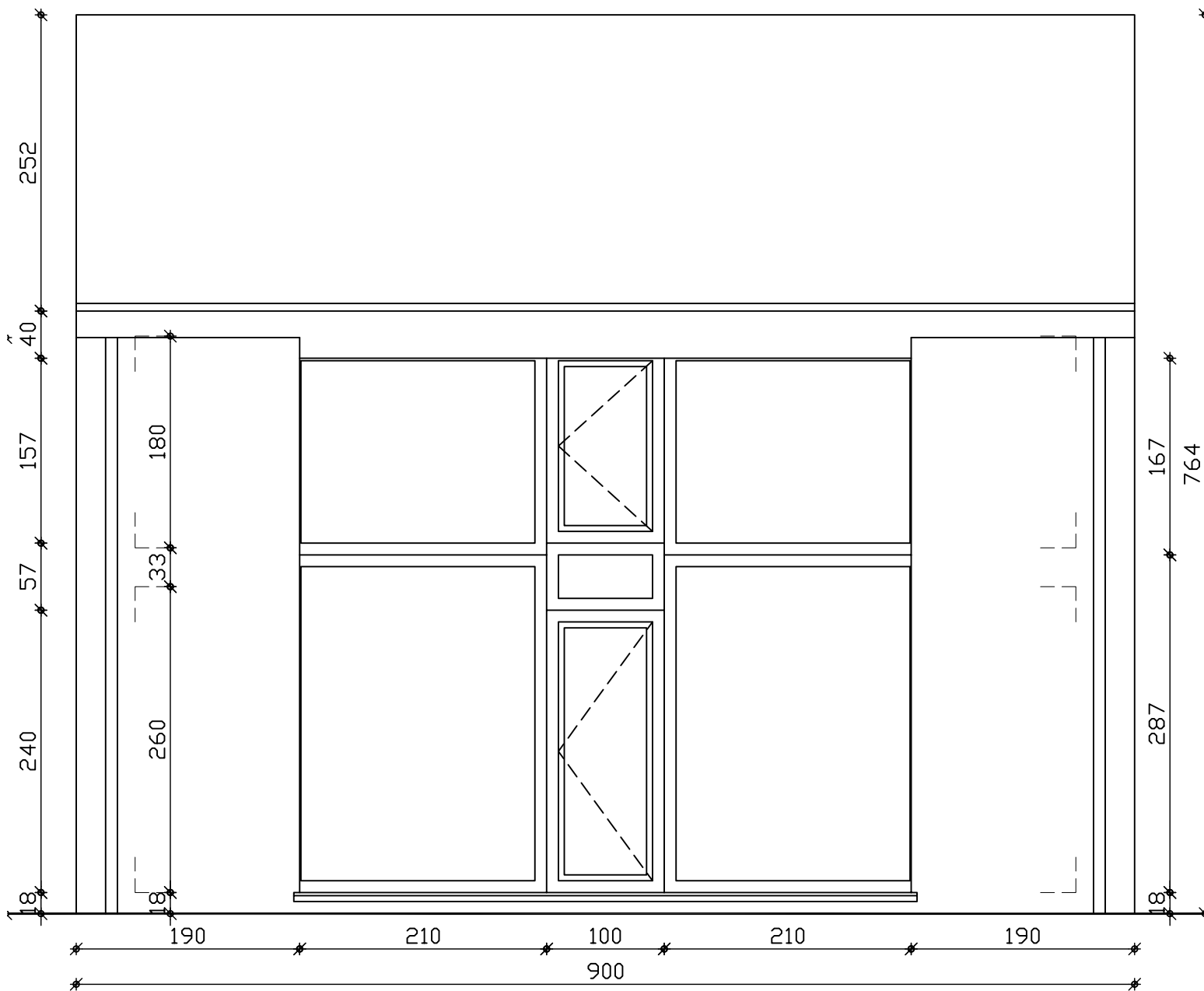
ARCHITECT: Christophe DEBRABANDER
Claessensdreef 111, 2950 KAPELLEN Tel: 0479/66.76.40



ZIJGEVEL ZO Sch: 1/50
Dossier 04.11.N - 08.01.2005

LIGGING: Riedekens, lot 19, 9700 ENAME
Bouwheer: Dhr. en Mevr. de Clippele - Blomme, Sleepstraat 75b, 9000 GENT

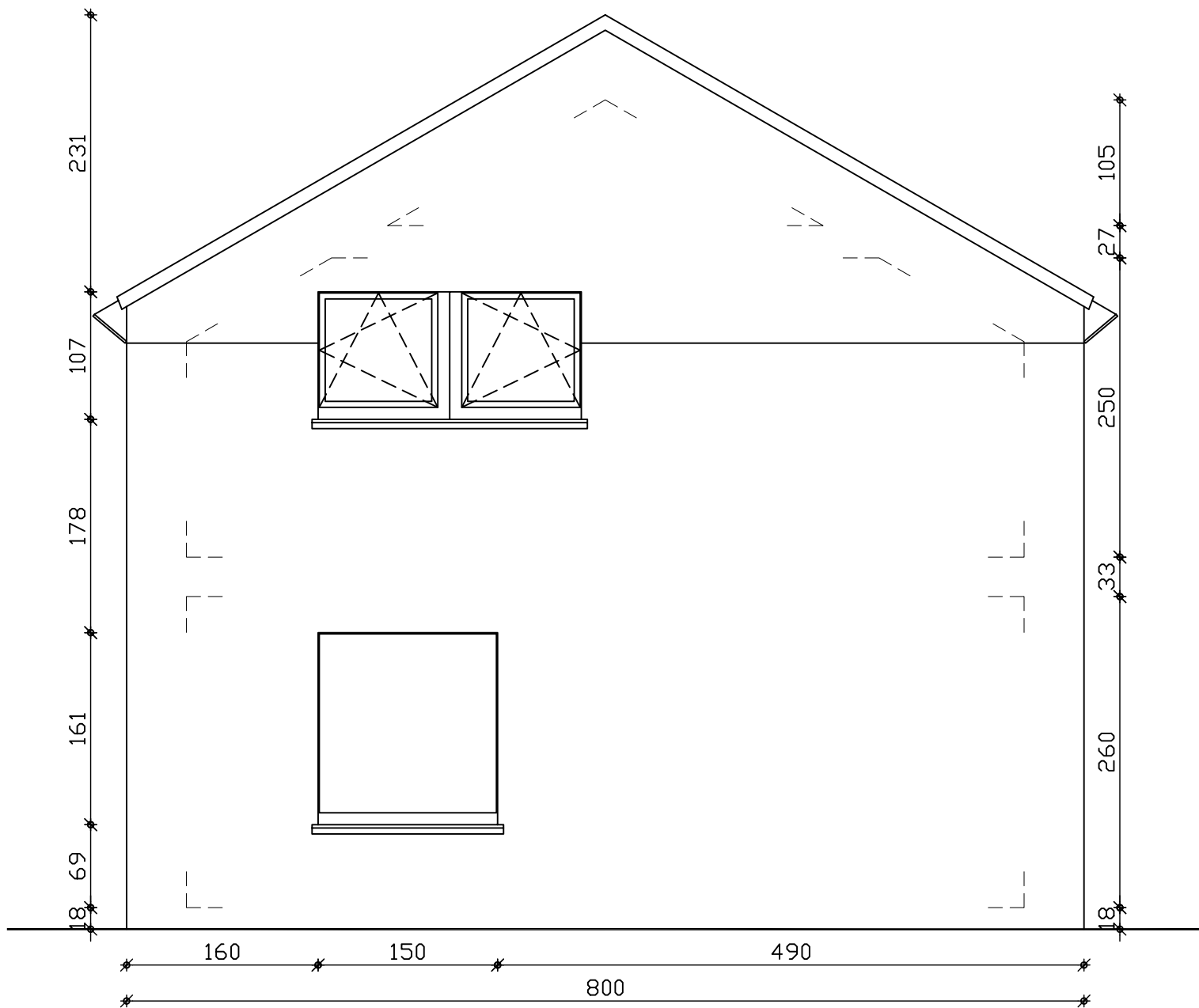
ARCHITECT: Christophe DEBRABANDER
Claessensdreef 111, 2950 KAPELLEN Td: 0479/66.76.40



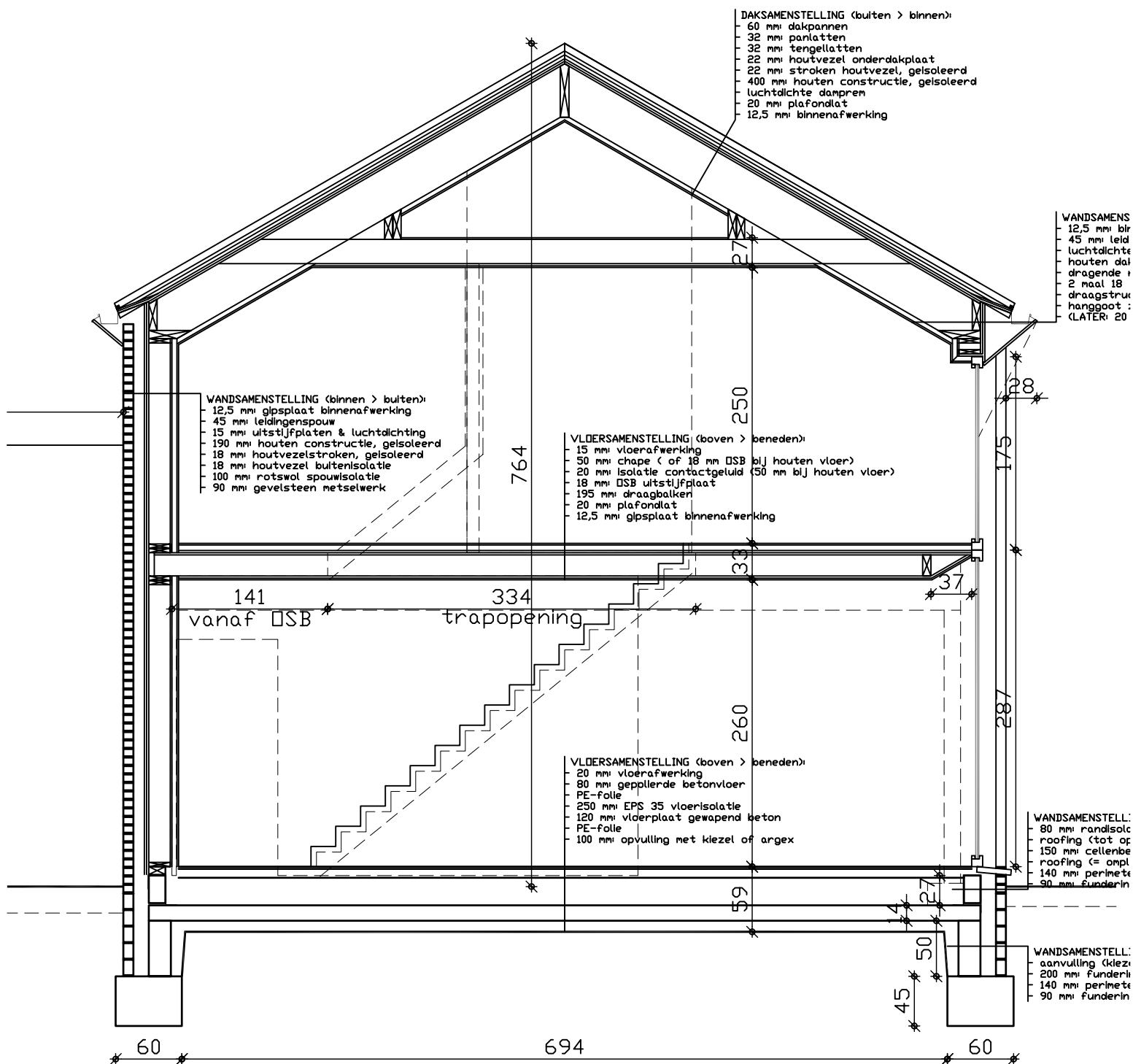
ACHTERGEVEL ZW - Sch: 1/50
Dossier 04.11.N - 08.01.2005

LIGGING: Riedekens, lot 19, 9700 ENAME
Bouwheer: Dhr. en Mevr. de Clippele - Blomme, Sleepstraat 75b, 9000 GENT

ARCHITECT: Christophe DEBRABANDER
Claessensdreef 111, 2950 KAPELLEN Td: 0479/66.76.40



ZIJGEVEL NW - Sch: 1/50
Dossier 04.11.N - 08.01.2005



SNED E - Sch: 1/50
 Dossier 04.11.N - 08.01.2005

DAKSAMENSTELLING (buiten > binnen):

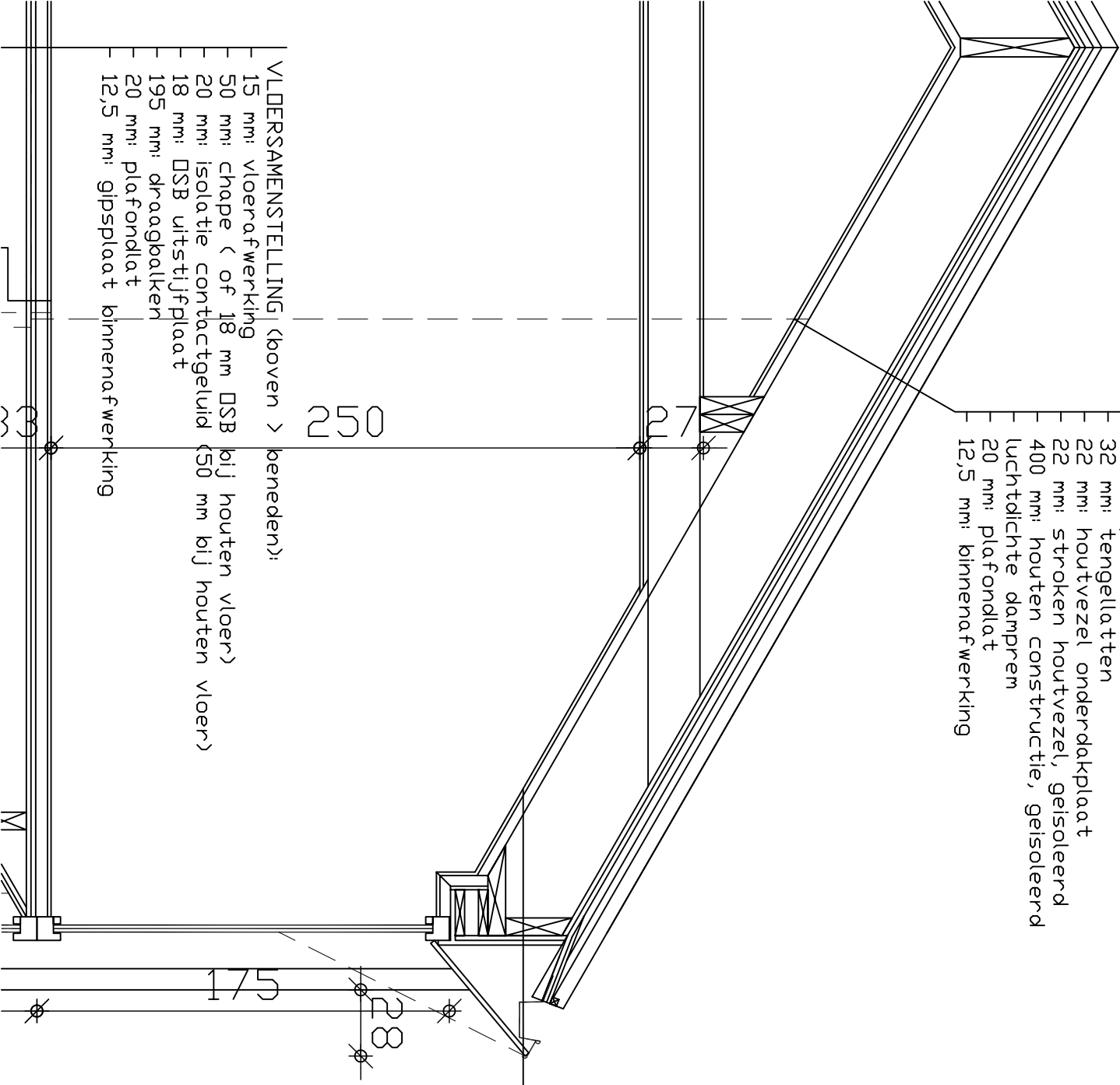
- 60 mm: dakpannen
- 32 mm: parlatten
- 32 mm: tengellatten
- 22 mm: houtvezel onderdakplaat
- 22 mm: stroken houtvezel, geïsoleerd
- 400 mm: houten constructie, geïsoleerd
- luchtdichte dampren
- 20 mm: plafondlat
- 12,5 mm: binnenafwerking

WANDSAMENSTELLING (binnen > buiten):

- 12,5 mm: binnenafwerking
- 45 mm: leidingenspouw
- luchtdichte dampren
- houten dakconstructie, geïsoleerd
- dragende randbalk op muurplaat
- 2 maal 18 mm houtvezel isolatieplaat
- draagstructuur overkraging: houten klossen
- hanggoot zink 10 cm op 15 cm (wand 0,8 mm)
- (LATER: 20 mm: volkern plaat gevelbekleding)

VLERSAMENSTELLING (boven > beneden):

- 15 mm: vloerafwerking
- 50 mm: chape (of 18 mm DSB bij houten vloer)
- 20 mm: isolatie contactgeluid (50 mm bij houten vloer)
- 18 mm: DSB uitstijfplaat
- 195 mm: draagbalken
- 20 mm: plafondlat
- 12,5 mm: gipsplaat binnenafwerking



- WANDSAMENSTELLING (binnen > buiten):
- 12,5 mm: gipsplaat binnenafwerking
 - 45 mm: leidingenspouw
 - 15 mm: uitstijfplaten & luchtdichting
 - 190 mm: houten constructie, geïsoleerd
 - 18 mm: houtvezelstroken, geïsoleerd
 - 18 mm: houtvezel buitenisolatie
 - 100 mm: rotswol spouwisolatie
 - 90 mm: gevelsteen metselwerk

- VLDERSAMENSTELLING (boven > beneden):
- 15 mm: vloerafwerking
 - 50 mm: chape (of 18 mm DSB bij houten vloer)
 - 20 mm: isolatie contactgeluid (50 mm bij houten vl
 - 18 mm: DSB uitstijfplaat
 - 195 mm: draagbalken
 - 20 mm: plafondlat
 - 12,5 mm: gipsplaat binnenafwerking

141
vanaf DSB

334
trapopening

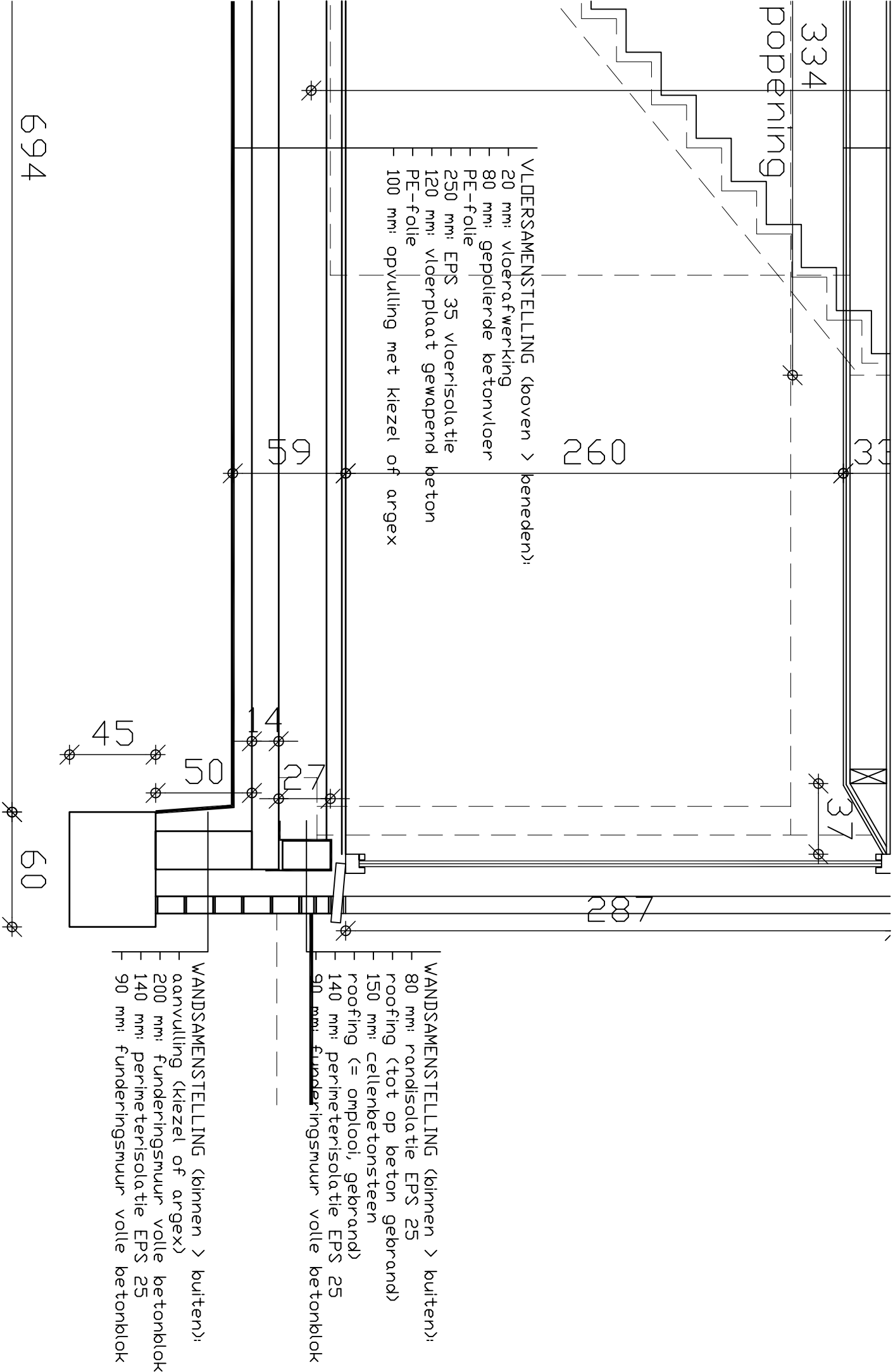
764

50

20

20

0



Bijlage 2: PassiefHuis ProjektPakket

PassiefHuis-ProjektPakket

Korte handleiding

Voor assistentie de muis hierheen bewegen

Indien in de cel B5 bij het overschrijden met de muis niets verschijnt, vink dan in het menu Tools, Options, in het register View onder Comments "View indicator only" aan (onder Excel 95 op de zelfde plaats als de notes-aanduiden)!

Betekenis van de veldopmaak

[Disclaimer](#)

Veldopmaak	Betekenis
78,8	Courier, blauw, vet op gele achtergrond
6619	Arial, zwart, standaard op witte achtergrond
15,0	Courier, violet, standaard op witte achtergrond
14,0	Arial, zwart, groot en vet, op groene achtergrond
In te vullen veld: Gelieve de gevraagde waarde hier in te vullen	
Berekeningsveld; gelieve niet te wijzigen	
Veld met betrekking tot ander rekenblad; normaal niets veranderen	
belangrijk resultaat	

Betekenis van de diverse rekenbladen (sheets)

nodig voor het certificaat?

NAAM	Funktie	Korte beschrijving	
Resultaat	Objektgegevens; Samenvatting resultaten	Objektbeschrijving, Keuze van de berekeningsprocedure, Samenvatting van resultaten	Ja
Oppervlakte	Samenstelling van de oppervlakken	Bouwdeelloppervlakken, Koudebruggen, Beschermd oppervlakte; op de buitenmaten letten!	Ja
Klimaat	Keuze van de klimaatregio, of definitie van eigen klimaatdata		indien niet standaard
Energie verwarming	Jaarlijkse energiebehoefte voor verwarming	Berekening van de jaarlijkse energiebehoefte voor verwarming volgens de energiebilanmethode conform NBN EN 832: Transmissie + Ventilatie - η (Zonnepwinsten + InterneWarmtebronnen)	Ja
Behoeftte verwarming	Berekening van de verwarmingsbehoefte voor het gebouw	Berekening van het te installeren vermogen voor verwarming volgens een bilanmethode voor een ontwerpdag: maxTransmissie + maxVentilatie - η (MinimaleZonnepwinsten + InterneWarmtebronnen)	Ja
U-waarden	Berekening van de U-waarden van bouwdeelen	Berekening van de warmtetransmissiecoëfficiënten volgens NBN EN ISO 6946	Ja
U gemiddeld	Berekening van de gemiddelde U-waarde		evtl.
Bodem	Berekening van reductiefactoren bij de bodem	Indien een juistere waarde vereist is	indien gebruikt
Koude-bruggen	Samenstelling van koudebruggen	Invoer (geen berekening!) van lineaire warmtedoorgangsverliescoëfficiënten van koudebruggen; Omrekening van binnen- op buitenmaat en naar gewogen gemiddelde	evtl.
Venster	Bepaling van de U_w -waarde	Invoer van de geometrie, oriëntatie, lengte en breedte van de ramen, U_g en U-waarde van de ramen evenals de koudebrug-verliescoëfficiënten voor aansluitingen; daaruit: bepaling van U_w en globale straling	Ja
Schaduw	Bepaling van de beschaduwingscoëfficiënten en invloed van de oriëntatie	Invoer van de beschaduwingscoëfficiënten, bvb. balkon, naburig gebouw, latei en berekening van beschaduwingscoëfficiënten	Ja
Zomer	Inschatting van het zomerklimaat	Berekening van temperatuuroverschrijdingen als maatstaf voor het zomercomfort	Ja
Schaduw-Z	Bepaling van de beschaduwingscoëfficiënten in de zomersituatie		Ja
Ventilatie	Debiet; bilan toevoer/afvoer, input van de resultaten van de blower door-test	Berekening van de luchtdebieten uit de maximale minimumtoevoer-/afvoer volgens DIN 1946 Deel 6, het infiltratieventilatievoud en de effectieve warmte-opwekking, invoer van de resultaten van de blower door-test	Ja
Distributie+W W	Distributieverliezen; behoefte en verliezen warm water	Berekening van de warmteverliezen door distributie (verwarming; warm water); Berekening van de benuttingsbehoefte aan warm water en de opslagverliezen	Ja
ZonneWW	Warmwaterbereiding met zonne-installatie	Berekening van de dekkingsgraad door de zon voor de warm water behoefte	Indien zonne-installatie
Elektriciteit	Behoeftte elektriciteit	Berekening van de elektriciteitsbehoefte van passiefhuizen	Ja
Hulpstroom	Behoeftte hulpstroom	Berekening van de behoefte aan elektriciteit en energie van elektrische hulptoestellen	Ja
IWW	InterneWarmteWinsten		Neen
PE-kengetal	Primair energie- en CO ₂ -kengetal	Keuze van de warmteproductiesystemen, Berekening van de primaire energie- en CO ₂ -kengetallen uit de voorgaande gegevens	Ja
Kompakt	Rendement warmtebron Warmtepomp-kompaktaggregaat	Voor de berekening van het rendement van de warmte-opwekking voor verwarming en warm water, enkel met behulp van een elektrisch aangedreven warmtepomp-kompaktaggregaat onder de randvoorwaarden van het projekt	indien beschik-baar
Ketel	Rendement warmtebron Stookketel	Voor het berekenen van het rendement van de warmte-opwekking met gebruikelijke stookketels onder de randvoorwaarden van het projekt	indien beschik-baar
Afstands-warmte	Omrekening stadsverwarming	Berekening van de behoefte aan eindenergie en primaire energie (warmte)	indien beschik-baar
Maandproc	Maandelijkse procedure volgens NBN EN 832	Rekenwijze voor de maandelijkse procedure van de verwarmingsbehoefte volgens EN 832. Keuze uit het werkblad Objekt, indien volgens deze procedure gerekend dient te worden.	indien gekozen
Data	Databank	Tabel van de factoren voor primaire energie	Neen

Passivhaus ProjektierungsPaket PHPP 2003: Copyright Passivhaus Institut, Darmstadt (www.passiv.de)

Passiefhuis Kwaliteitsverklaring

Foto of
tekening

Object:	PH Ename	
Standplaats en klimaat:		Standaard België (Ukkel)
Straat, nr.:	Riedekens 59	
Postcode, plaats:	9700 Ename (Oudenaarde)	
Land:	Belgie (Vlaamse Ardennen)	
Type object:	ecologisch & passief woonhuis	
Bouwheer:	Katrien Blomme & Frederic de Clippele	
Straat, nr.:	Riedekens 59	
Plaats:	9700 Ename (Oudenaarde)	
Architect:	De Brabander Christophe	
Straat, nr.:	Dries 19	
Postcode, plaats:	9630 Zwalm	
Huistechniek:	Stroomop bvba	
Straat, nr.:	Twaalfde Liniestraat 42	
Postcode, plaats:	8520 Kuurne	
Bouwjaar:	2005	
Aantal wooneenheden:	1	
Bouwwolume:	467,0	m ³
Aantal personen:	3,2	

Kengetallen met betrekking tot de gebruiksoppervlakte				
Geconditioneerde nuttige oppervlakte:	112,0	m ²		
	Gebruikt:	Jaarprocedure	PH-Certificaat:	Voldaan?
Energiekengetal verwarming:	15	kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	✓
Resultaat blower-door test:	0,47	h ⁻¹	0,6 h ⁻¹	✓
Primair energie-kengetal (WW, verwarming en elektr.):	83	kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a)	✓
Primair energie-kengetal (WW, verwarming en ventilatie):	23	kWh/(m ² a)		
Behoefte verwarming:	12,4	W/m ²		
Temperatuuroverschrijdingen:	3%	meer dan	25	°C

Ondergetekende verklaart, dat de hier aangegeven waarden volgens de berekeningsprocedure PHPP op basis van de kengetallen van het gebouw geleverd werden. De berekeningen met PHPP worden geleverd in bijlage.

Berekend door: UGent Vakgroep Architectuur

Opgesteld op:

Handtekening:

PassiefHuis-ProjektPakket

BEPALING VAN OPPERVLAKTES

Object: PH Ename

Berekening: UGent Vakgroep Architectuur

Samenstelling

Groep Nr.	Groep	Oppervlakte	Een- heid	Opmerking
1	Woonoppervlakte	111,51	m²	Som van de netto vloeroppervlakte van de verblijfsruimtes
2	Venster oost	1,30	m²	
3	Venster zuid	24,86	m²	
4	Venster west	5,44	m²	
5	Venster noord	2,50	m²	
6	Venster horizontaal	0,00	m²	
7	Buitendeur	0,00	m²	
8	Buitenwand contact buitenlucht	165,6	m²	
9	Buitenwand contact bodem	17,0	m²	Oppervlaktes van vensters en deuren worden automatisch afgetrokken
10	Dak	84,6	m²	
11	Bodem	72,0	m²	
De rijen markeren om verdere groepen toe te voegen; overname in 'behoefte verwarming' zelf verrichten				
12	Koudebruggen contact lucht	0,00	m	Einheid in strekkende meter
13	Koudebruggen contact bodem	0,00	m	Einheid in strekkende meter
14	Scheidingswand buren	0,00	m²	geen warmteverlies, in beschouwing genomen voor berekening behoefte verwarming
Som wandoppervlakte beschermd volume		373,30	m²	

Invoer oppervlaktes[illegible]

De gele velden invullen om verdere toe te voegen. Gelieve enkel rijen te kopiëren en de namen van de groepen niet te wijzigen.

KLIMAATGEGEVENS

Tip: Bij gebruik van standaardgegevens is het invullen van deze sheet niet vereist

Regionale gegevens gebruiken?

Neen

Standaardklimaat

Regionaal klimaat; hier
aankruisen, indien gewenst

Klimaatfile:

Standaard België (Ukkel)

gekozen procedure
verwarmingsbehoefte:

Jaarprocedure

Maandelijkse gegevens:

Ukkel

Jaarlijkse gegevens:

0

Typeklimaat gebruiken?

Neen

Typeklimaat

Overdracht in jaarprocedure

H _T	205	d/a
G _t	72	kKh/a
oost	202	kWh/(m ² a)
zuid	309	kWh/(m ² a)
west	204	kWh/(m ² a)
oord	145	kWh/(m ² a)
ntaal	285	kWh/(m ² a)

Warmtelast

Warmtelastgegevens zijn reeds toegekend

Geen keuze mogelijk

Passiefhuis-ProjectPakket

Klimaat:	Standaard
Object:	PH Ename
Standplaats:	
Berekening:	UGent Vakgroep Architectuur

Binnentemperatuur:	20,0	°C
Type gebouw/benutting:	ecologisch & passief wo	
Beschermde oppervlakte A _{ES} :	112,0	m²
Standaard aantal personen:	3,2	Pers per m²

Bouwdeel	Temperatuurzone	Oppervlakte m ²	U-Waarde W/(m ² K)	Reductiefactor f _i	G _t kKh/a	kWh/a	Beschermde oppervlakte
1. Buitenwand contact buitenl	A	165,6	0,151	1,00	72,1	1803	
2. Buitenwand contact bodem	B	17,0	0,151	0,59	72,1	109	
3. Dak	A	84,6	0,099	1,00	72,1	603	
4. Bodem	B	72,0	0,114	0,59	72,1	350	
5.							
6.							
7.							
8. Venster	A	34,1	0,778	1,00	72,1	1914	
9. Koudebruggen buiten (lengte/m)	A			1,00			
10. Koudebruggen bodem (lengte/m)	B			0,59			
Som van alle hulpoppervlakken		373,3					kWh/(m ² a)

Transmissieverliezen Q_T

Systeem verluchting:

effectief warmteleveringsrendement η_{eff}

referentie luchtvolume V_L

$$\frac{A_{\text{EB}}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{vrije hoogte}}{\text{m}} = \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$112,0 \cdot 2,50 = 280,0$$

Systeem verluchting:

effectief warmteleveringsrendement
van de lucht-lucht warmtewisselaar (LLWW)

Warmteleveringsrendement van
de bodem-lucht warmtewisselaar (BLWW)

referentie luchtvolume V_L	112,0	*	2,50	=	280,0
η_{eff}	91%				
η_{BLWW}	27%				
$\eta_{L,\text{system}}$	1/h				
Φ_{WW}					
$\eta_{L,\text{Rest}}$	1/h				
referentie ventilatievoud n_L	0,499	(1 ·	0,93	) +	0,036 = 0,069

Ventilatieverliezen Q_L

V_L m ³	n_L 1/h	C_{Lucht} Wh/(m ³ K)	G_1 kWh/a	G_1 kWh/a	G_1 kWh/(m ² a)
280	0,069	0,33	72,1	457	4,1

Som warmteverliezen Q_v

$$\left(\overset{\text{Q}_T}{\text{kWh/a}} + \overset{\text{Q}_L}{\text{kWh/a}} \right) \overset{\text{Reductiefactor}}{\underset{\text{Nacht-/Weekend-}}{\text{verlaging}}} = \text{kWh/a} \quad \text{kWh/(m}^2\text{a)}$$

(4779 + 457) 1,0 = 5236 46,7

Oriëntatie van de oppervlakken

Reductiefactor g-waarde
vgl. sheet Venster (loodrechte instr.)

Oppervlakte

Globaalstr.
verwarmtijd

1. oost	0,38	*	0,52	*	1,30	*	273	=	71
2. zuid	0,64	*	0,52	*	24,86	*	273	=	2263
3. west	0,39	*	0,52	*	5,44	*	157	=	173
4. noord	0,39	*	0,52	*	2,50	*	157	=	79
5. horizontaal	0,40	*	0,00	*	0,00	*	285	=	0

Warmtewinsten zonnestraling Q_s

		kWh/(m ² a)
Som	2587	23,1

Interne Wärmebronnen Q_i

kh/d	Periode verw. d/a	specif. verm. q-l W/m²	A _{EB} m²	kWh/a	kWh/(m²a)
0,024	205	2,1	112,0	1154	10,3

Gratis warmte Q_F

$$Q_S + Q_I = \boxed{3742} \text{ kWh/a} \quad \boxed{33,4} \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$$

Verhouding gratis warmte/ verliezen

$$Q_F / Q_V = \boxed{0,71}$$
Benuttingsgraad warmtewinsten η_G
$$(1 - (Q_F/Q_V)^5) / (1 - (Q_F/Q_V)^6) = \boxed{94\%}$$

Wärmewinsten Q_G

$$\eta_G \cdot Q_F = \begin{matrix} \text{kWh/a} \\ \boxed{3512} \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{kWh/(m}^2\text{a)} \\ \boxed{31,4} \end{matrix}$$

Energiekengetal verwarming Q_H

$$Q_V - Q_G = \boxed{1724} \text{ kWh/a} \quad \boxed{15} \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$$

	kWh/(m²a)
Grenswaarde	15

(ja/nee)

Criterium voldaan?	ja
--------------------	----

Passiefhuis-ProjektPakket

BEHOEFTE VERWARMING

Object: PH Ename

Standplaats:

Weerregio (01 - 23): 1 Brussel standaard, Vlaanderen behalve regio kust

Type gebouw / benutting: ecologisch & passief v Binnen-temp. 20 °C

Beschermde oppervlakte A_{EB}: 112 m²

Klimaat: Brussel standaard, Vlaanderen behalve regio kust

Voor dit klimaatstation zijn de data vast. GEEN keuze in dit rekenblad.

Berekening: UGent Vakgroep Architectuur

Ontwerptemp. Straling: oost zuid west noord horizontaal

Weer 1: -3,1 °C

Weer 2: -2,2 °C

Bodemontwerptemp. 8,6 °C

Bouwdeel	Temperatuurzone	m²	W/(m²K)	Faktor altijd 1 (behalve "X")	TempVersch 1	TempVersch 2	P _T 1	P _T 2
					K	K	Watt	Watt
1. Buitenwand contact buit	A	165,6	0,151	1,0	23,1	22,2	577	555
2. Buitenwand contact bode	B	17,0	0,151	1,0	11,4	11,4	29	29
3. Dak	A	84,6	0,099	1,0	23,1	22,2	193	186
4. Bodem	B	72,0	0,114	1,0	11,4	11,4	93	93
5.	A			1,0	23,1	22,2		
6.	A			1,0	23,1	22,2		
7.	A			1,0	23,1	22,2		
8. Venster	A	34,1	0,778	1,0	23,1	22,2	613	589
9. Koudebruggen buiten (lengte/	A			1,0	23,1	22,2		
10. Koudebruggen bodem (lengte/	B			1,0	11,4	11,4		
11. Gemene wand	I			1,0	3	3		

Verw. behoefte transmissie P_T Som = 1506 resp. 1452

Systeem ventilatie:

effectief warmteleveringsrendement η_{WW} 91%

van de lucht-lucht warmtewisselaar (LLWW)

Warmteleveringsrendement van de bodem-lucht warmtewisselaar (BLWW) η_{BLWW} 27%

referentie luchtvolume V_L 112 m³

referentie ventilatievoud n_L 0,499

Φ_{WW} 0,93

n_{L,Rest} (behoefte verw.) 0,090

0,499 * (0,93) + 0,090 = 0,122

Verw. behoefte ventilatie P_L 280,0 * 0,122 * 0,33 * 23,1 resp. 22,2 = 261 resp. 251

Som verwarmingsbehoefte P_V P_T + P_L = 1767 resp. 1703

Oriëntatie van de oppervlakken	Oppervlakte m²	g-waarde (loodrechte instr.) (vgl. sheet Venster)	Reductiefactor	Straling 1 W/m²	Straling 2 W/m²	P _S 1 W	P _S 2 W
1. oost	1,3	0,52	0,38	23,3	15,3	6	4
2. zuid	24,9	0,52	0,64	23,3	15,3	193	127
3. west	5,4	0,52	0,39	10,0	4,7	11	5
4. noord	2,5	0,52	0,39	10,0	4,7	5	2
5. horizontaal	0,0	0,00	0,40	20,0	10,0	0	0
6.						0	0

Warmte-aanbod zon P_S Som = 216 resp. 138

Interne warmtelast P_I spec. Vermogen 1,6 W/m² * A_{EB} 112 m² = 179 resp. 179

Warmtewinsten P_G P_S + P_I = 395 resp. 318

P_V - P_G = 1372 resp. 1385

Behoeft vermogen verwarming P_H = 1385 W

Oppervlakt-specifiek vermogen P_H / A_{EB} = 12,4 W/m²

Invoer max. temp. toevoerlucht 52 °C

Temp. toevoerlucht zonder naverwarming θ_{pul,Min} 18 °C

Max. Temp. Pulsie θ_{pul,Max} 52 °C

ter vergelijking: warmte transporteerbaar via de toevoerlucht P_{pulsie,Max} = 1546 W specifiek: 13,8 W/m²

Passiefhuis-ProjektPakket

U - WAARDEN VAN DE BOUWDELEN

Object: PH Ename

Berekening: UGent Vakgroep Architect

1 Bodem						
Bouwdeel Nr. Beschrijving bouwdeel						
Warmteovergangswaardestand [m²K/W] binnen R _{si} : 0,13						
buiten R _{sa} : 0,00						
Deelvlak 1	λ [W/(mK)]	Deelvlak 2 (optioneel)	λ [W/(mK)]	Deelvlak 3 (optioneel)	λ [W/(mK)]	Som breedte Dikte [mm]
1. Parket	1,400					20
2. OSB	0,140					18
3. Papiervlokken	0,040	Houten liggers	0,140			190
4. ISOMO/EPS	0,032					150
5. Gewapand beton	1,700					120
6.						
7.						
8.						
		Opp.aandeel deelvlak 2		Opp.aandeel deelvlak 3		Som
		15,0%				49,8 cm
		U-waarde: 0,114		W/(m²K)		

2 Buitenwand						
Bouwdeel Nr. Beschrijving bouwdeel						
Warmteovergangswaardestand [m²K/W] binnen R _{si} : 0,13						
buiten R _{sa} : 0,04						
Deelvlak 1	λ [W/(mK)]	Deelvlak 2 (optioneel)	λ [W/(mK)]	Deelvlak 3 (optioneel)	λ [W/(mK)]	Som breedte Dikte [mm]
1. Fermacel	0,350					12,5
2. Leidingspouw met pluim	0,033			Houten liggers	0,140	40
3. OSB	0,140					15
4. Papiervlokken	0,040	Houten liggers	0,140			190
5. Papiervlokken	0,040	Houtvezel isolatiepl.	0,045			44
6. Houtvezel	0,052					22
7. Luchtsouw	0,370					20
8. Baksteen	1,000					88
		Opp.aandeel deelvlak 2		Opp.aandeel deelvlak 3		Som
		15,0%		13,0%		43,2 cm
		U-waarde: 0,151		W/(m²K)		

3 Hellend dak						
Bouwdeel Nr. Beschrijving bouwdeel						
Warmteovergangswaardestand [m²K/W] binnen R _{si} : 0,13						
buiten R _{sa} : 0,04						
Deelvlak 1	λ [W/(mK)]	Deelvlak 2 (optioneel)	λ [W/(mK)]	Deelvlak 3 (optioneel)	λ [W/(mK)]	Som breedte Dikte [mm]
1. Afwerking in hout	0,140					12,5
2. Leidingspouw	0,040			Houten liggers	0,140	40
3. Luchtdichting	0,200					1
4. Papiervlokken	0,040	Houten liggers	0,140			400
5. Papiervlokken	0,040	Houtvezel isolatiepl.	0,045			22
6. Houtvezel	0,052					22
7. Luchtsouw	0,370			Pannelatten	0,140	20
8. Pannen	1,000					20
		Opp.aandeel deelvlak 2		Opp.aandeel deelvlak 3		Som
		12,0%		12,0%		53,8 cm
		U-waarde: 0,099		W/(m²K)		

Passiefhuis-Projectpakket

U - WAARDE VAN DE BOUWDELEN

Object: PH Ename

4					
Bouwdeel Nr. Beschrijving bouwdeel					
Warmteovergangsweerstand [$\text{m}^2\text{K/W}$]			binnen R_{si} :		
			buiten R_{sa} :		
Deelvlak 1	λ [W/(mK)]	Deelvlak 2 (optioneel)	λ [W/(mK)]	Deelvlak 3 (optioneel)	λ [W/(mK)]
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
Opp.aandeel deelvlak 2			Opp.aandeel deelvlak 3		
U-waarde:					$\text{W/(m}^2\text{K)}$
Som breedte					
Dikte [mm]					
Som					
					cm

5					
Bouwdeel Nr. Beschrijving bouwdeel					
Warmteovergangsweerstand [m²K/W]		binnen R _{si} :			
		buiten R _{sa} :			
Deelvlak 1	λ [W/(mK)]	Deelvlak 2 (optioneel)	λ [W/(mK)]	Deelvlak 3 (optioneel)	λ [W/(mK)]
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
Opp.aandeel deelvlak 2			Opp.aandeel deelvlak 3		
U-waarde:			W/(m²K)		
Som breedte					
Dikte [mm]					
Som					
					cm

6					
Bouwdeel Nr. Beschrijving bouwdeel					
Warmteovergangsweerstand [m²K/W]		binnen R _{si} :			
		buiten R _{sa} :			
Deelvlak 1	λ [W/(mK)]	Deelvlak 2 (optioneel)	λ [W/(mK)]	Deelvlak 3 (optioneel)	λ [W/(mK)]
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
Opp.aandeel deelvlak 2			Opp.aandeel deelvlak 3		
U-waarde: W/(m²K)					
Som breedte					
Dikte [mm]					
Som					cm

Passiefhuis-ProjektPakket

GEMIDDELTE U - W A A R D E

Object: PH Ename

Berekening: UGent Vakgroep Architectuur

Beschrijving samengevat bouwdeel resp. bouwdeelbouwwijze					
Bouwdeel-nr.	Beschrijving bouwdeel	Oppervlakte in m ²	U-waarde in W/(m ² K)	=	W/K
			*	=	0,00
			*	=	0,00
			*	=	0,00
			*	=	0,00
			*	=	0,00
Som:		0,0			0,00

Gewogen gemiddelde U-waarde bouwdeelbouwwijze:

0,00	=	0,000
0,0		W/(m ² K)

Beschrijving samengevat bouwdeel resp. bouwdeelbouwwijze					
Bouwdeel-nr.	Beschrijving bouwdeel	Oppervlakte in m ²	U-waarde in W/(m ² K)	=	W/K
			*	=	0,00
			*	=	0,00
			*	=	0,00
			*	=	0,00
			*	=	0,00
Som:		0,0			0,00

Gewogen gemiddelde U-waarde bouwdeelbouwwijze:

0,00	=	0,000
0,0		W/(m ² K)

Beschrijving samengevat bouwdeel resp. bouwdeelbouwwijze					
Bouwdeel-nr.	Beschrijving bouwdeel	Oppervlakte in m ²	U-waarde in W/(m ² K)	=	W/K
			*	=	0,00
			*	=	0,00
			*	=	0,00
			*	=	0,00
			*	=	0,00
Som:		0,0			0,00

Gewogen gemiddelde U-waarde bouwdeelbouwwijze:

0,00	=	0,000
0,0		W/(m ² K)

Passiehuys-ProjektPakket

WARMTEVERLIEZEN NAAR DE BODEM

Object: PH Ename

Berekening: UGent Vakgroep Architectuur

Eigenschappen van de bodem			
Warmtegeleidingscoëfficiënt	λ	2,0	W/(mK)
Warmtecapaciteit	ρc	2,0	MJ/(m³K)
Periodische Indringdiepte	δ	3,17	m

Klimaatgegevens			
gem. binnentemperatuur	T_i	20,0	°C
gem. opp.-temp. bodem	$T_{e,m}$	10,6	°C
Amplitude van $T_{e,m}$	$T_{e,\Delta}$	7,4	°C
Lengte verwarmingsperiode	n	6,7	Maanden
graaduren buiten	G_i	72,1	kKh

Gebouwgegevens			
Oppervlakte bodemplaat	A	72,0	m²
Omtrek bodemplaat	P	34,0	m
Karakt. maat van de bodemplaat	B'	4,24	m
Gem. dikte buitenwand	w	0,5	m
U-waarde bodemplaat	U_f	0,114	W/(m²K)
Werkzame dikte v.d. bodem	d_t	18,0	m

Type bodemplaat (enkel één veld aankruisen)

☐	Verwarmde kelder of ingegraven bodemplaat	☐	Onverwarmde kelder
☒	Bodemplaat op volle grond	☐	Bodemplaat in contact met buitenlucht

Bij onderkeldering of ingegraven bodemplaat

Diepte kelder	z		m
U-waarde kelderwand	U_w		W/(m²K)
Bijkomend voor onverwarmde kelder			
Hoge kelderwand bovem maaiveld	h		m
Luchtwisseling in onverwarmde kelder	n	0,25	h⁻¹
Volume kelder	V		m³

Bij randisolatie van de bodemplaat op de bodem

Breedte/ diepte randisolatie	D	0,40	m
Dikte randisolatie	d_n	0,14	m
Warmtegeleidbaarheid randis.	λ_n	0,036	W/(mK)
Lengte perimeterisolatie	horizontaal		
(slechts 1 veld aankruisen)	loodrecht	☒	
Bij bodemplaat in contact met buitenlucht			
U-waarde bodem onderliggende ruimte	U_{Hohl}		W/(m²K)
Hoogte wand onderliggende ruimte	h		m
U-waarde wand onderliggende ruimte	U_w		W/(m²K)
Oppervlakte openingen voor verluchting	εP		m²
Windsnelheid op 10 m hoogte	v	4,0	m/s
Windafschermfactor	f_w	0,05	-

Bijkomende lineaire verliescoëfficiënt aan de rand (berekening met warmtestroomprogramma)

Ψ			W/(mK)
--------	--	--	--------

Verwarmde kelder of ingegraven bodemplaat

U-waarde bodem	U_{bf}		W/(m²K)
Werkzame dikte kelderwand	d_w		m
U-waarde wand	U_{bw}		W/(m²K)
Stationaire waarde	L_s		W/K
Faseverschuiving	β		Maanden
Buitenste harm. waarde	L_{pe}		W/K

Bodemplaat op de bodem

Warmtedoorgangcoëfficiënt	U_0	0,10	W/(m²K)
Werkzame dikte randisolatie	d'	7,64	m
Correctiewaarde	$\Delta\Psi$	-0,01	W/(mK)
Stationaire waarde	L_s	6,93	W/K
Faseverschuiving	β	2,25	Maanden
Buitenste harm. waarde	L_{pe}	3,81	W/K

Onverwarmde kelder

Stationaire waarde	L_s		W/K
Faseverschuiving	β		Monate
Buitenste harm. waarde	L_{pe}		W/K

Bodemplaat in contact met buitenlucht (hoogstend 0,5 m onder het maaiveld)

Werkz. dikte isol. onderlig.ruimte	d_g		m
U-waarde vloer onderlig. ruimte	U_g		W/(m²K)
U-waarde wand o. r. & verluchting	U_x		W/(m²K)
Stationaire waarde	L_s		W/K
Faseverschuiving	β		Maanden
Buitenste harm. waarde	L_{pe}		W/K

Tussenresultaten

Faseverschuiving	β	2,25	Maanden
Stationaire waarde	L_s	6,93	W/K
Buitenste harm. waarde	L_{pe}	3,81	W/K
Stationaire warmtestroom	Φ_{stat}	65,2	W
Periodische warmtestroom	Φ_{harm}	6,0	W
Warmteverlies gedurende stookperiode	Q_{tot}	350	kWh

Reductiefactor bodem voor de sheet "Energie verwarming"

0,591

Maandgemiddelde temperaturen in de bodem voor de maandprocedure

Maand	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Gemiddeld
T_{Bodem} °C	10,7	9,3	8,6	8,9	9,9	11,6	13,4	14,8	15,5	15,2	14,2	12,5	12,1

Ontwerptemp. bodem voor de sheet "Behoeftte verwarming"

8,6

Passiefhuis-ProjektPakket

Samenstelling van lineaire koudebruggen

Object: PH Ename
 Berekening: UGent Vakgroep Architectuur

Beschrijving	Buitenmaat-ref.	Lengte koudebrug	Temperatuur-specifiek warmte-verlies	m.b.t. buitenlucht: A; m.b.t. Bodem/kelder: B
	Ψ [W/mK]	l [m]	$l * \Psi$ [W/K]	
				A
				B
				A
				A
				A
				A
				A

	m	W/K	Ψ_{gem} in [W/mK]
Som:	0,00	0,000	
Som A:	0,00	0,000	0,000
Som B:	0,00	0,000	0,000

Berekening: UGent Vakgroep Architectuur

Berekening: UGent Vakgroep Architectuur

72,1

72,1	
Transmissie verliezen	Warmte-aanb. zonne-straling
kWh/a	kWh/a
88	71
1333	2263
337	173
157	79
0	0
1914	2587

PHPP 2003, Venster

Passiefhuis-ProjectPakket

Klimaat: Standaard

Object: PH Ename

Berekening: UGent Vakgroep Architectuur

Oriëntatie	Opp. beglazing m ²	Reductie- factor r _v
oost	0,75	83%
zuid	20,17	98%
west	3,78	69%
noord	1,51	79%
horizontaal	0,00	100%

[illegible]

Passiefhuis-ProjektPakket

ZOMERSITUATIE

Klimaat:

Object:

Standplaats:

spec. capaciteit Wh/K per m² woonopp

Boventemperatuurgrens: °C

Binnentemperatuur: °C

Type gebouw/ benutting:

Beschermd oppervlakte A_{EB}: m²

Standaard aantal personen: Pers

Bouwdeel	Temperatuurzone	Oppervlakte m²	U-waarde W/(m²K)	Reductiefactor f _{T,Zomer}	H _{Zomer} Warmtetransmissiewaarde
1. Buitenwand contact buitenlucht	A	165,6	0,15	0,92	= 23,0
2. Buitenwand contact bodem	B	17,0	0,15	1,00	= 2,6
3. Dak	A	84,6	0,10	0,92	= 7,7
4. Bodem	B	72,0	0,11	1,00	= 8,2
5.		0,0	0,00	1,00	= 0,0
6.		0,0	0,00	1,00	= 0,0
7.		0,0	0,00	1,00	= 0,0
8. Venster	A	34,1	0,78	1,00	= 26,5
9. Koudebruggen buiten (lengte/m)	A			0,92	=
10. Koudebruggen bodem (lengte/m)	B			1,00	=

Transmissiewaarde buiten H_{T,e}

Transmissiewaarde bodem H_{T,g}

W/K

W/K

Warmeoverdrachtsrendement van de platen-warmtewisselaar η_{ww}

werkzaam luchtvolume V_L m³

binnenmaat ruimtehoogte m

= m³

aankruisen: ☐ nat. verluchting (venster+kieren): Zomerverluchting luchtwisseling : 1/h

☐ enkel mechan. extr. 1/h

☐ extractie en pulsie zoals in de winter met de WW

☒ Pul/extr.zonderWW $\eta_{BL,WW}$ bodem-luchtWW η_{ww} $\eta_{L,Rest}$ 1/h

energetisch werkzame luchtwisseling n_L + * (1 -) +

Verl.geleidingswaarde buiten H_{V,e} m³ * 1/h * C_{Lucht} Wh/(m³K) = W/K

Verl.geleidingswaarde bodem H_{V,g} m³ * 1/h * C_{Lucht} Wh/(m³K) = W/K

Q_T W/K W/K

Q_L W/K W/K

kWh/a kWh/a

Oriëntatie van de opp.n	Hoek-faktor Zomer	Verv.-faktor Zomer	Reflectie-faktor	g-waarde (loodr. instr.)	Oppervlakte m²	Aandeel beglazing	Opening m²
1. oost	0,84	0,76	0,95	0,52	1,3	57%	0,2
2. zuid	0,84	0,47	0,95	0,52	24,9	81%	4,0
3. west	0,84	0,72	0,95	0,52	5,4	69%	1,1
4. noord	0,84	0,82	0,95	0,52	2,5	61%	0,5
5. horizontaal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Warmte-aanbod zonnestraling Q_S

Som m²/m²

specif. vermogen q_i W/m²

AEB m²

W

W/m²

Interne warmtebronnen Q_i

Temperatuuroverschrijdingen h_{θ ≥ θ_{max}} bij de boventemperatuurgrens θ_{max} = 25 °C

Conform berekening door: UGent Vakgroep Architectuur

Indien de "temperatuuroverschrijdingen boven 25 °C" 10% overschrijdt, zijn bijkomende maatregelen nodig om het zomercomfort te waarborgen.

BEREKENING VAN BESCHADUWINGSFAKTOREN VOOR DE ZOMERSITUATIE

Zomer!

Resultaat uit de sheet Zomer:
Temperatuuroverschrijdingen $h\vartheta \geq \vartheta_{\max}$ **3,5%**

Invoervelden

Passiefhuis-ProjektPakket

G E G E V E N S V E N T I L A T I E

Object:	PH Ename		
Berekening:	UGent Vakgroep Architectuur		
Beschermde oppervlakte A_{EB}	m ²		112
Hoogte van de ruimte h	m		2,5
Luchtvolume vent. ruimte ($A_{EB} \cdot h$) = V_{RLT}	m ³		280

(Rekenblad Oppervlakte)

(Rekenblad Energie verwarming)

(Rekenblad Energie verwarming)

Ontwerp ventilatie-installatie standaard-gebruikswijze

Opp. per persoon	m²/P	35					
Aantal personen	P	3,2					
Verse lucht per persoon	m³/(P*h)	30					
Behoeftte aan verse lucht	m³/h	96					
Extractieruimtes			Keuken	Bad	Douche	WC	
Aantal			1	1		1	
Extractiebehoefte per ruimte	m³/h	60	40	20	20		
Totale extractiebehoefte	m³/h	120					

Ontwerpdebiet (maximum)	m ³ /h	233
-------------------------	-------------------	-----

Berekening van het gemiddeld ventilatievoud

Gebruikswijzen	dag. gebruiks-tijden	Factoren m.b.t. maximum dimensieloos	Luchtdebiet m ³ /h	Ventilatievoud 1/h
Maximum	2,0	1,00	233	0,83
Standaard	7,0	0,70	163	0,58
Basis verl.	15,0	0,50	117	0,42
Minimum		0,00	0	0,00
x Woongebouw			gem. luchtwisselingsdebiet (m ³ /h)	gem. ventilatievoud (1/h)
Gemiddelde waarde			140	0,50

Infiltratieluchtwisseling volgens EN 832

Windbeschuttingscoëfficiënten e en f volgens EN 832		
Coëfficiënt e voor afschermklasse	versch. geëxposeerde zijden	één geëxposeerde zijde
geen afscherming	0,10	0,03
matige afscherming	0,07	0,02
sterke afscherming	0,04	0,01
Coëfficiënt f	15	20

Windbeschuttingscoëfficiënt e	voor jaarlijkse behoefte	voor behoefte verw.:
Windbeschuttingscoëfficiënt f	0,07	0,18
Ventilatievoud blower-door test n_{50}	15	15
	1/h	0,47
		0,47
		306
		m ³

Type ventilatie-installatie

x Passiefhuis-balansventilatie	gelieve aan te kruisen	voor jaarlijkse behoefte	voor behoefte verw.:
Zuiver extractie			
Extractie-overschot	1/h	0,00	0,00
Infiltratieventilatievoud $n_{L,Rest}$	1/h	0,036	0,090

Effectief verwarmingsrendement van de ventilatie-installatie met warmterugwinning

x	Toestel binnen het beschermd volume					
	Toestel buiten het beschermd volume					
Verwarmingsrendement toestel		$\eta_{eff,WTW}$	92%			
Gel.waarde buitenluchtkanaal		Ψ	W/(mK)	0,140	Berekening zie bijberekening	
Lengte buitenluchtkanaal			m	2		
Gel.waarde expulsiekanaal		Ψ	W/(mK)	0,140	Berekening zie bijberekening	
Lengte expulsiekanaal			m	2		
Temperatuur technische ruimte			°C	20	Binnenruimtetemperatuur (°C)	20
(enkel invoeren indien het toestel buiten het beschermd volume ligt)					Gem. buitentemp. (°C)	5,3

Effectief verwarmingsrendement $\eta_{WTW,eff}$	91%
---	-----

Passiefhuis-ProjectPakket

Warmtedistributie en systeem warm water

Object:	PH Ename		
Berekening:	UGent Vakgroep Architectuur		
Standplaats:			
Binnentemperatuur:	20	°C	
Type gebouw/ benutting:	ecologisch & passief woonhuis		
Beschermde oppervlakte A _{EB} :	112	m ²	
Standaard aantal personen:	3,2	Pers	
Aantal wooneenheden:	1		
Jaarlijkse verwarmingsbehoefte q _{verw} :	1724	kWh/a	
Lengte verwarmingsperiode:	205	d	
gemiddeld vermogen verwarming P _{gem} :	0,4	kW	
Grensbenutting bijkomende warmtewinsten:	73%		

		Delen			
		warmer zone	koude zone		Totaal
		1	2	3	
Lengte distributieleidingen	L _H (Project)				m
Warmteverliescoëfficiënt per m leiding	Ψ (Project)				W/(mK)
Temperatuur in de ruimte, waardoor de leiding gaat	ϑ _X Verdeelruimte	20			°C
Ontwerp-aanvoertemperatuur	ϑ _V aanvoer, ontwerp				°C
Ontwerp-verwarmingsbehoefte van het systeem	P _{verw} (beschikb. of berek.)				kW
Aanvoertemperatuurregeling J/N					
Ontwerp-retourtemperatuur	J _R				°C
Jaarlijkse warmteafgifte per m leiding	q* _{HL}				Som 1,2,3 kWh/(m²a)
Evtl. benuttingsgraad van deze warmte-afgifte	η _G				-
Jaarlijkse verliezen	Q _{HL}	0	0	0	kWh/a
Specif. verliezen	q _{HL}				kWh/(m²a)
Inverse rendement warmteditributie	e _{a,HL}				100%

Warm water: standaard-gebruikswarmte			
Verbruik warm water (60 °C) per pers. per dag	V _{WW} (Project oder Mittelwert 25 Liter/P/d)	25,0	Liter/Pers/d
Gem. temp. koud water aanvoer	ϑ _{DW} Drikwatertemperatuur (10 °)	10,0	°C
Gebruikswarmte warm water	Q _{TWW}	1694	kWh/a
Spec. gebruikswarmte warm water	q _{TWW}		kWh/(m²a)
			15,1

		warmer zone	koude zone	
Lengte circulatieleidingen (aanvoer en retour)	L _Z (Project)	20,0		m
Warmteverliescoëfficiënt per m leiding	Ψ (Project)	0,140		W/m/K
Temperatuur in de ruimte, waardoor de leiding gaat	ϑ _X Verdeelruimte	20		°C
Ontwerp-aanvoertemperatuur	ϑ _V aanvoer, ontwerp	60,0		°C
Bedrijfstijd per dag van de circulatie	t _{d,circ} (Project)	18,0		h/d
Ontwerp-retourtemperatuur	J _R	55		°C
Bedrijfstijd per jaar van de circulatie	t _{circ}	6570		h/a
Jaarlijkse warmte-afgifte per m leiding	q* _Z	34,5		kWh/m/a
Evtl. benuttingsgraad van de warmte-afgifte	η _{G,WW}	40,8%		-
Jaarlijkse warmteverliezen circulatieleidingen	Q _Z	408		kWh/a

		warmer zone	koude zone	
Totale lengte van de afzonderlijke leidingen	L _U (Project)	20,00		m
Leidingdiameter buiten	d _{U,leiding} (Project)	0,020		m
Warmteafgifte per aftapping	q _{apart}	0,2308		kWh/aftapping
Bezettingcoëfficiënt	η _{lap}	3504		aftappingen/a
Jaarlijkse warmte-afgifte	q _U	808,8		kWh/a
Evtl. benuttingsgraad van deze warmte-afgifte	η _{G,U}	40,8%		-
Jaarlijkse warmteverliezen aparte leidingen	Q _U	478,4		kWh/a
				Som 1,2,3
Gem. warmte-afgifte opslag	P _S	64,0		W
Evtl. benuttingsgraad van deze warmte-afgifte	η _{G,S}	40,8%		
Jaarlijkse warmteverliezen opslag	Q _S	331,7		kWh/a
				Som 1,2,3
Totale verliezen van het systeem warm water	Q _{WV}			1218 kWh/a
Specif. verliezen van het systeem warm water	q _{WV}			kWh/(m²a)
Inverse rendement WW-verdeling en -opslag	e _{a,WL}			171,9%
Tot. warmtevraag van het systeem WW	q _{WW}			2912 kWh/a
Tot. spec. warmtevraag van het systeem WW	q _{WW}			kWh/(m²a)
				26,0

Passiefhuis-ProjectPakket

WARM WATER UIT ZONNE-ENERGIE

Object:	PH Ename	Type gebouw/ benutting:	ecologisch & passief woc
Standplaats:		Beschermde oppervlakte A_{EB} :	112,0 m ²
Berekening:	UGent Vakgroep Architectuur	Standaard aantal personen	3 Pers

WW-warmtebehoefte kWh/a	Q_{gWW}	2912	(Sheet Distributie + WW)	
Bouwwijze zonnecollector	(Project)		Vakke plaatcollector	Vacuümcollector
	genau ein Feld ankreuzen		x	
Oppervlakte collector	(Projekt A_{Koll})	10,0	m ²	
effectief aantal personen	n_{Pers}	3,20	Personen	
Spec. oppervlakte collector	A_{Koll} / n_{Pers}	3,1	m ² /Pers	
Helling t.o.v. de horizontale		45	°	
ingeschatte zonnedeckingsgraad voor WW		71%		
Bijdrage zonnewarmte voor gebruikswarmte		2061	kWh/a	18 kWh/(m ² a)

Passiefhuis-ProjektPakket

BEHOEFTE ELEKTRICITEIT

Object: PH Ename

Berekening: UGent Vakgroep Architectuur

Kolom Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	8a	9	10	11	12	13	14
Gebruik	aanwezig? (1/0)	In het beschermd volume? (1/0)	Normverbruik	Benuttingsfactor	Frequentie	Projectfactor	Verbruik (kWh/a)	Aandeel elektrisch	Aandeel niet-elektrisch	Behoeft elektriciteit (kWh/a)	Behoeft meer/minder	Inverse rendement	Zonne-dekkingsgraad	Behoeft niet-elektrisch (kWh/a)	Behoeft primaire energie (kWh/a)
Vaatwas	1	1	1,20 kWh/geb.	1,00	65	3,2 P	250	50%		125					371
Warm water aansluiting								50%							71
Wassen	1	1	1,10 kWh/geb.	1,00	57	3,2 P	201	55%		110					328
Warm water aansluiting								45%							42
Drogen met:	1	1	3,50 kWh/geb.	1,00	57	3,2 P	638	100%		638					1896
Condensatiedroger							0	0%							0
Energieverbr. door verdamping	0	1	3,13 kWh/geb.	0,70	57	3,2 P	0	100%		0					0
Koelen	0	1	0,78 kWh/d	1,00	365	1 HH	0	100%		0					0
Diepvriezen	0	1	0,88 kWh/d	1,00	365	1 HH	0	100%		0					0
of combinatie	1	1	1,00 kWh/d	1,00	365	1 HH	365	100%		365					1084
Koken met:	1	1	0,25 kWh/geb.	1,00	500	3,2 P	400	100%		400					1188
Elektriciteit								0%						0	0
Verlichting	1	1	36 W	1,00	2,90 kh/(P*a)	3,2 P	329	100%		329					978
Elektronika	1	1	80 W	1,00	0,55 kh/(P*a)	3,2 P	141	100%		141					418
Huishoudtoestellen en	1	1	50 kWh	1,00	1,00	3,2 P	160	100%		160					475
Som hulpstroom							635			635					1885
Som							3119 kWh			2904 kWh				105 kWh	8736 kWh
Kengetal										25,9 kWh/(m²a)				0,9 kWh/(m²a)	78,0 kWh/(m²a)
Aanbevolen maximale waarde										18					55

Passiefhuis-ProjektPakket

Object: PH Ename

HULPSTROOM

Berekening: UGent Vakgroep Architectuur

1	Woonoppervlakte	112	m²	Looptijd vent.-inst. winter		4,91	kh/a	Fakt. prim. energie elektriciteit		2,97	kWh/kWh
2	Verwarmingstijd	205	d	Looptijd vent.inst. zomer		3,85	kh/a	Behoeftte verwarming		15	kWh/(m²a)
3	Luchtvolume	280	m³	Volumewisselingen		0,50	h⁻¹	Nom. thermisch vermogen ketel		15	kW
4	Woningen	1	HH	Vorstbeveiliging WTW vanaf		-3,0	°C	Warmtevraag verwarmingssysteem		2912	kWh/a
5	Bruto bouwvolume	467	m³					Ontwerp-aanvoertemperatuur		0	°C

Kolom Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gebruik	aanwezig (1/0)	in het beschermd volume? (1/0)	Normverbruik	Benuttingsfactor	Bedrijfstijd	Projectfaktor	Behoeftte elektriciteit (kWh/a)	Beschikbaarheid als interne warmte	gebruikt in tijdsparre (kh/a)	interne warmtebron (W)	Behoeftte prim. energie (kWh/a)
Ventilatie-installatie											
Ventilatie in de winter	1	1	0,36	Wh/m³ * 0,50	h⁻¹ * 4,9	kh/a * 280	m³ = 247	* 0,0	/ 4,91	= 0	734
Ventilatie in de zomer	1	1	0,36	Wh/m³ * 0,50	h⁻¹ * 3,9	kh/a * 280	m³ = 194	geen zomerbijdrage voor interne WB			576
Ontdooiing WTW	0	0	363	W * 1,00	* 0,1	kh/a * 1	= 0	* 1,0	/ 4,91	= 0	0
Verwarmings-installatie											
regeling/geen regeling (1/0)											
Invoerwaarde nominaal opgenomen pompvermogen				W	0						
Circulatiepomp	0	0	102	W * 1,0	* 4,9	kh/a * 1	= 0	* 1,0	/ 4,91	= 0	0
el. opgenomen vermogen van de ketel bij 30% belasting											
Hulpenergie ketel verw.	0	0	55	W * 1,00	* 0,00	kh/a * 1	= 0	* 1,0	/ 4,91	= 0	0
Warmwater-installatie											
Invoerwaarde gem. opgenomen pompvermogen											
Circulatiepomp	1	0	28	W * 1,00	* 4,6	kh/a * 1	= 128	* 0,6	/ 8,76	= 0	381
Invoerwaarde nominaal opgenomen pompvermogen											
Opslagpomp WW	0	0	53	W * 1,00	* 0,2	kh/a * 1	= 0	* 1,0	/ 4,91	= 0	0
el. opgenomen vermogen van de ketel bij 100% belasting											
Hulpenergie ketel WW	0	0	165	W * 1,00	* 0,0	kh/a * 1	= 0	* 1,0	/ 4,91	= 0	0
Invoerwaarde nominaal opgenomen vermogen v.d. zonnepomp											
Hulpstroom zon-inst.	1	1	37	W * 1,00	* 1,8	kh/a * 1	= 66	* 0,6	/ 8,76	= 5	195
Hulpstroom overige											
Hulpstroom overige	0	1	30	kWh/a * 1,00	* 1,0	HH * 1	= 0	* 1,0	/ 8,76	= 0	0
Som							635			5	1885
Kengetal							kWh/(m²a)	gedeeld door woonoppervlakte:	5,7		16,8

Passiefhuis-ProjektPakket

INTERNE WARMTEWINSTEN

Object: PH Ename

Berekening: UGent Vakgroep Architectuur

Berekening interne warmtewinsten		Personen		P		Behoeftte verw.		kWh/(m²a)			
		Woonopp.		m²		Verw.periode		d/a			
Kolom Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Gebruik	aanwezig (1/0) resp. Aantal personen	in het beschermd volume (1/0)	Normverbruik	Benuttingsfaktor	Frequentie	Gebruiksenergie (kWh/a)	Bij elektrisch bilan meegerekend?	Beschikbaarheid	gebruikt in tijdsperiode (kh/a)	interne warmtebronnen (W)	
Vaatwassen	1	1	1,20 kWh/geb.	1,00	65 /(P*a)	250	*	0,30	/ 8,76	= 9	
Wassen	1	1	1,10 kWh/geb.	1,00	57 /(P*a)	201	*	0,30	/ 8,76	= 7	
Drogen met: Condensatiedroger	1	1	3,50 kWh/geb.	1,00	57 /(P*a)	638	*	0,70	/ 8,76	= 51	
Energieverbr. door verdamping	0	1	0,00			0		0,80			
Koelen	0	1	-3,13 kWh/geb.	0,70	57 /(P*a)	0	*(1- 1) *	0,00	/ 8,76	= 0	
Diepvriezen	0	1	0,78 kWh/d	1,00	365 d/a	0	*	1,00	/ 8,76	= 0	
of combinatie	1	1	0,88 kWh/d	1,00	365 d/a	0	*	1,00	/ 8,76	= 0	
Koken	1	1	1,00 kWh/d	1,00	365 d/a	365	*	1,00	/ 8,76	= 42	
	1	1	0,25 kWh/geb.	1,00	500 /(P*a)	400	*	0,50	/ 8,76	= 23	
Verlichting	1	1	36 W	1,00	2,9 kh/(P*a)	329	*	1	/ 8,76	= 38	
Elektronika	1	1	80 W	1,00	0,55 kh/(P*a)	141	*	1	/ 8,76	= 16	
Huishoudtoestellen	1	1	50 kWh	1,00	1,0 /(P*a)	160	*	1	/ 8,76	= 18	
Hulptoestellen (z. sheet Hulpstroom)										= 5	
Personen	3	1	80 W/P	1,00	8,76 kh/a	2243	*	0,55	/ 8,76	= 141	
Koud water	3	1	-5 W/P	1,00	8,76 kh/a					= -16	
Verdamping	3	1	-25 W/P	1,00	8,76 kh/a	-701	*	1,0	/ 8,76	= -80	
Som									W	252	
Kengetal									W/m²	2,25	
Wärmeangebot aus internen Quellen						205 d/a			kWh/(m²a)	11,1	

Passiefhuis-ProjektPakket

KENGETAL PRIMAIRE ENERGIE

Object: PH_Ename		Type gebouw/ benutting: ecologisch & passief woonhuis	
Standplaats:		Beschermde oppervlakte AEB: 112 m²	
Berekening: UGent Vakgroep Architectuur		Q _H +Q _{HL} : 15 kWh/(m²a)	

	Eindenergie kWh/(m²a)	Primaire energie kWh/(m²a)	Emissie CO ₂ -equivalent kg/(m²a)
Elektriciteitsbehoeftes (zonder warmtepompen)			
Aandeel dekking behoefte verwarming (Project)	0%	PE-Kengetal	CO ₂ -emissiefactor (CO ₂ -equivalent)
Aandeel dekking behoefte warm water (Project)	0%	kWh/kWh	g/kWh
		2,97	689
Verwarming, direct elektrisch Q _{H,de}	0,0	0,0	0,0
Bereiding warm water, direct elektrisch Q _{WW,de} (Sheet Distributie+WW, ZonneWW)	0,0	0,0	0,0
Elektriciteitsbehoeftes huishoudtoestellen Q _{EH} (Sheet Elektriciteit)	20,3	60,2	14,0
Elektriciteitsbehoeftes hulpstroom	5,7	16,8	3,9
Som elektriciteitsbehoeftes (zonder warmtepompen)	25,9	77,0	17,9
Warmtepomp			
Aandeel dekking behoefte verwarming (Project)	0%	PE-Kengetal	CO ₂ -emissiefactor (CO ₂ -equivalent)
Aandeel dekking behoefte warm water (Project)	0%	kWh/kWh	g/kWh
		2,97	689
Energievector aanvullende verwarming	Elektriciteit	2,97	689
COP warmtepomp (jaar)	3,20		
Inv. rendement warmteproductie	2,20		
Elektriciteitsbehoeftes warmtepomp Q _{WP}	0,0	0,0	0,0
Niet-elektrische behoeftes huishoudtoestellen	0,0	0,0	0,0
Som warmtepomp	0,0	0,0	0,0
Kompaktaggregaat met elektrische warmtepomp			
Aandeel dekking behoefte verwarming (Project)	0%	PE-Kengetal	CO ₂ -emissiefactor (CO ₂ -equivalent)
Aandeel dekking behoefte warm water (Project)	0%	kWh/kWh	g/kWh
		2,97	689
Energieërger Ergänzungsheizung	Elektriciteit	2,97	689
COP warmtepomp winter (Sheet Kompakt)	0,0		
COP warmtepomp zomer (Sheet Kompakt)	0,0		
Inv. rendement warmteproductie (Nazicht) (Sheet Kompakt)	0,0		
Inv. rendement warmteproductie (Project) (Sheet Kompakt)	0,0		
Elektriciteitsbehoeftes warmtepomp (Nazicht) Q _{WP}	0,0	0,0	0,0
Elektriciteitsbehoeftes warmtepomp (Project) Q _{WP}	0,0	0,0	0,0
Niet-elektrische behoeftes huishoudtoestellen (Nazicht) (Sheet Elektriciteit)	0,0	0,0	0,0
Som Kompaktaggregaat (Nazicht)	0,0	0,0	0,0
Som kompaktaggregaat (Project)	0,0	0,0	0,0
Ketel			
Aandeel dekking behoefte verwarming (Project)	0%	PE-Kengetal	CO ₂ -emissiefactor (CO ₂ -equivalent)
Aandeel dekking behoefte warm water (Project)	0%	kWh/kWh	g/kWh
		1,07	229
Bouwwijze warmteproductie (Sheet Ketel)			
Inv. rendement warmteproductie (Sheet Ketel)	0%		
Jaarlijkse energiebehoefte (Sheet Ketel)	0,0	0,0	0,0
Niet-elektrische behoeftes huishoudtoestellen (Sheet Elektriciteit)	0,0	0,0	0,0
Som Stookolie/ Gas	0,0	0,0	0,0
Afstandswarmte			
Aandeel dekking behoefte verwarming (Project)	0%	PE-Kengetal	CO ₂ -emissiefactor (CO ₂ -equivalent)
Aandeel dekking behoefte warm water (Project)	0%	kWh/kWh	g/kWh
		1,43	311
Warmtebron (Sheet Afstandswarmte)			
Inv. rendement warmteproductie (Sheet Afstandswarmte)	105%		
Warmtebehoefte afstandswarmte (Sheet Afstandswarmte)	0,0	0,0	0,0
Niet-elektrische behoeftes huishoudtoestellen (Sheet Elektriciteit)	0,0	0,0	0,0
Som afstandswarmte	0,0	0,0	0,0
Overige			
Aandeel dekking behoefte verwarming (Project)	100%	PE-Kengetal	CO ₂ -emissiefactor (CO ₂ -equivalent)
Aandeel dekking behoefte warm water (Project)	100%	kWh/kWh	g/kWh
		0,20	55
Warmtebron (Project)	andhout (pellets)		
Inv. rendement warmteproductie (Project)	135%		
Jaarlijkse energiebehoefte verwarming	20,8	4,2	1,1
Jaarlijkse energiebehoefte warm water	10,3	2,1	0,6
Nichtelektrischer Bedarf Haushaltsgeräte	1,3	0,3	0,1
Som overige	32,3	6,5	1,8
Verwarming, warm water, hulpstroom en huishoudelektriciteit			
	58,2	83,5	19,6
Totaal PE-kengetal	83,5	kWh/(m²a)	
Totale emissie CO₂-equivalent	19,6	kg/(m²a)	(ja/heen)
Eis primaire energie	120	kWh/(m²a)	ja
Verwarming, warm water, hulpstroom (geen huishoudtoepassingen)			
	36,7	23,0	5,6
PE-Kengetal huistechniek	23,0	kWh/(m²a)	
Totale emissie CO₂-equivalent	5,6	kg/(m²a)	

Passiefhuis-ProjektPakket

PASSIEFHUIS-KOMPAKTTOESTEL MET EXPULSIEWARMTEPOMP

(Opstelling enkel binnen het beschermd volume)

Object:	PH Ename		Type gebouw/ benutting:	ecologisch & passief woonhuis	
landplaats:			Beschermde oppervlakte A _{EB} :	112	m ²
iererekening:	UGent Vakgroep Architectuur				
Aandeel dekking behoefte verwarming	(Sheet PE-Kengetal)		0%		
Behoeftte verwarming + leidingsverliezen	Q _H +Q _{HL} : (Sheet Distributie+WW)		1724	kWh	
Zonnedekkingsgraad ruimtewarmte	η _{Solar, H} (bijzondere berekening)		0%		
Werkzame behoefte verwarming	Q _{H,WI} =Q _H *(1-η _{Solar, H})		0	kWh	
Aandeel dekking behoefte warm water	(Sheet PE-Kengetal)		0%		
Tot. warmtevraag van het WW-systeem	Q _{gWW} (Sheet Distributie+WW)		2912	kWh	
Zonnedekkingsgraad WW-bereiding	η _{Solar, WW} (Sheet ZonneWW)		71%		
Werkzame behoefte warm water	Q _{WW,WI} =Q _{WW} *(1-η _{Solar, H})		0	kWh	
Primaire energie-faktor elektriciteit	(Sheet Data)		2,97	kWh/kWh	
CO ₂ -Emissiefaktor (CO ₂ -equivalent) Elektriciteit			689	g/kWh	
COP warmtepomp winter	COP _{Winter} (Fabrikant)				
COP warmtepomp zomer (WW-productie)	COP _{Zomer} (Fabrikant)				
Maximaal vermogen warmtepomp (verwarming)	P _{WP max} (Fabrikant)			kW	
Lengte van de verwarmingsperiode	H _t		0	d	
Vermogen warm water	P _{WW} (Sheet Distributie+WW)		0, 33	kW	
Maximaal vermogen (WW+verwarming)	P _{max} = P _{WW} +P _H		1, 72	kW	
Warmtelevering direct elektrisch	Q _{E,dir}			kWh/a	
Warmtelevering WP verwarming	Q _{WP,verw}			kWh/a	
Warmtelevering WP warm water winter	Q _{WP,WW,Winter}			kWh/a	
Warmtelevering WP warm water zomer	Q _{WP,WW,Zomer}			kWh/a	
Inverse rendement warmteproductie WW & verwarming			0,00		
Eindenergiebehoefte warmtelevering verwarming	Q _{End}			kWh/a	
Jaarlijkse behoefte primaire energie					
Jaarlijkse emissie CO₂-equivalent				kg/a	
				kg/(m ² a)	

Passiefhuis-ProjectPakket

INVERSE RENDEMENT WARMTEPRODUCTIE KETEL

Object:	PH Ename	Type gebouw/ benutting:	ecologisch & passief woonhuis	
landplaats:		Beschermde oppervlakte A _{EB} :	112	m²
ierekening:	UGent Vakgroep Architectuur			
Aandeel dekking behoefte verwarming	(Sheet PE-kengetal)		0%	
Heizwärmebedarf+Leitungsverluste	Q _H +Q _{HL} (Sheet Distributie+WW)		1724	kWh
Zonnedeckingsgraad ruimtewarmte	η _{Solar, H} (bijzondere berekening)			
Werkzame behoefte verwarming	Q _{H,WI} =Q _H *(1-η _{Solar, H})		0	kWh
Aandeel dekking behoefte warm water	(Sheet PE-kengetal)		0%	
Tot. warmtevraag van het WW-systeem	Q _{gWW} (Sheet Distributie+WW)		2912	kWh
Zonnedeckingsgraad WW-bereiding	η _{Solar, WW} (Sheet ZonneWW)		71%	
Werkzame behoefte warm water	Q _{WW,WI} =Q _{WW} *(1-η _{Solar, H})		0	kWh
Bouwwijze warmteproductie	(Project)		Geen	
Primaire energie-faktor	(Sheet Data)		1,07	kWh/kWh
CO ₂ -Emissiefaktor (CO ₂ -equivalent)			229	g/kWh
Beschikbaar gestelde gebruikswarmte	Q _{Nutz}			kWh/a
Max. vermogen verwarming voor verwarming van het gebouw	P _{GB} (Sheet Behoeftte verwarming)		1,39	kW
Invoer van kengetallen (J) of standaardwaarden (N)	n			
Werkingsgraad ketel bij 30% belasting	η _{30%} (Project)	Project-kengetal	94%	Standaardwaarde
Werkingsgraad ketel bij nominale belasting	η _{100%} (Project)		93%	93%
Werkingswarmteverlies van de ketel bij 70 °C	q _{B,70} (Project)		1,4%	1,4%
Gemiddelde retourtemperatuur bij meting op 30% belasting	ϑ _{30%}			
Ontwerpvermogen	P _{Nenn} (Kenplaat)		15	15
Opstelling van de ketel (binnen/ buiten)			Buiten	Buiten
Lengte van de periode voor verwarming	t _{HZ}		0	
Lengte van de periode voor drinkwater	t _{DW}		8760	
Ontwerp-aanvoertemperatuur	ϑ _{Vor} (Sheet distributie+WW)			
Gemiddelde keteltemperatuur verwarming	ϑ _{km} (Tabelwaarde)			
Gemiddelde keteltemperatuur (zomer) WW	ϑ _{km, WW} = 35+0.002*A _{EB}			
Werkingswarmteverlies bij gemiddelde keteltemperatuur verw.	q _{B,ϑ} = q _{B,70} *(ϑ _{km} -20)/(70-20)			
Werkingswarmteverlies bij gemiddelde keteltemperatuur WW	q _{B,ϑ, WW} = q _{B,70} *(ϑ _{km, WW} -20)/(70-20)			
Gemiddeld vermogen gebruikswarmte WW	P _{TW} = q _{TW} /t _{Betrieb}			
Belastingsgraad van de ketel verwarming	φ _H = 0.3 * P _{GB} /P _{Nenn}			
Belastingsgraad van de ketel WW	φ _{TW} = P _{TW} /P _{Nenn}			
Warmteverliesfaktor verwarming (opstelling binnen/ buiten)	f _c = 25*q _{B,ϑ} oder 1			
Ketelwerkingsgraad verwarming (correctie binnen/ buiten)	η _K = η _{30%} +q _{B,ϑ} *(1-f _c)/φ _H			
Vermogenfaktor ketel verwarming (benutting en bedrijfstemp.)	f _φ = (1+(1/0.3-1)*q _{B,ϑ}) / (1+(1/φ _H -1)*q _{B,ϑ})			
Ketelwerkingsgraad verwarming (toeslag benutting cond.)	η _K = η _K +0.003*(ϑ _{30%} -ϑ _{km})			
Aandeel van de werkingsverliezen buiten de verwarmingsperiode	f _{TW} = 1-t _{HZ} /t _{TW}			
Vermogenfaktor van de ketel WW	f _{φ, TW} = (1+(1/φ _{TW} -1)*f _{TW} *q _{B,ϑ})			
Inverse vermogen warmteproductie bereiding warm water	e _{H,g,K} = 1/(f _φ *η _K)		0%	
Inverse vermogen warmteproductie verwarming	e _{TW,g,K} = f _{φ, TW} /η _{100%}		0%	
Inverse vermogen warmteproductie WW+verwarming	e _{g,K}		0%	
Eindenergiebehoefte warmtelevering verwarming	Q _{End, HE} = Q _{H,WI} * e _{H,g,K}	kWh/a	0	kWh/(m²a)
Eindenergiebehoefte warmtelevering WW	Q _{End, TW} = Q _{WW,WI} * e _{TW,g,K}		0	
Eindenergiebehoefte warmtelevering totaal	Q _{End} = Q _{End,TW} + Q _{End,TW}		0	0,0
Jaarlijkse behoefte primaire energie			0	0,0
Jaarlijkse emissie CO ₂ -equivalent		kg/a	0	0,0

Passiefhuis-ProjektPakket

JAARLIJKSE GEBRUIKSGRAAD VAN AFSTANDSWARMTE

Object:	PH Ename		Type gebouw/ benutting:	ecologisch & passief woonhuis	
Standplaats:			Beschermde oppervlakte A _{EB} :	112	m ²
Berekening:	UGent Vakgroep Architectuur				
Aandeel dekking behoefte verwarming		(Sheet PE-kengetal)		0%	
Behoeftte verwarming kWh/a	Q _H	(Sheet Distributie+WW)		1724	kWh
Zonnedekkingsgraad ruimtewarmte	η _{Solar, H}	(bijzondere berekening)			
Werkzame behoefte verwarming	$Q_{H,WI}=Q_H \cdot (1-\eta_{Solar, H})$			0	kWh
Aandeel dekking behoefte warm water		(Sheet PE-kengetal)		0%	
Behoeftte warm water	Q _{WW}	(Sheet Distributie+WW)		2912	kWh
Zonnedekkingsgraad WW-bereiding	η _{Solar, WW}	(Sheet ZonneWW)		71%	
Werkzame behoefte warm water	$Q_{WW,WI}=Q_{WW} \cdot (1-\eta_{Solar, H})$			0	kWh
Warmtebron				Gas-BWP 0%WKK	
Primaire energie-faktor		(Sheet Data)		1,43	kWh/kWh
CO ₂ -emissiefaktor (CO ₂ -equivalent)		(Sheet Data)		311,0	g/kWh
Inverse rendement warmte-overdrachtstation	e _{a,WÜ}			105%	
			kWh/a		kWh/(m ² a)
Eindenergiebehoefte warmtelevering	$Q_{End} = Q_{nutz} \cdot e_{a,WÜ}$		0		0,0
Jaarlijkse behoefte primaire energie			0		0,0
			kg/a		kg/(m ² a)
Jaarlijkse emissie CO₂-equivalent			0		0,0

Passiefhuis-ProjektPakket

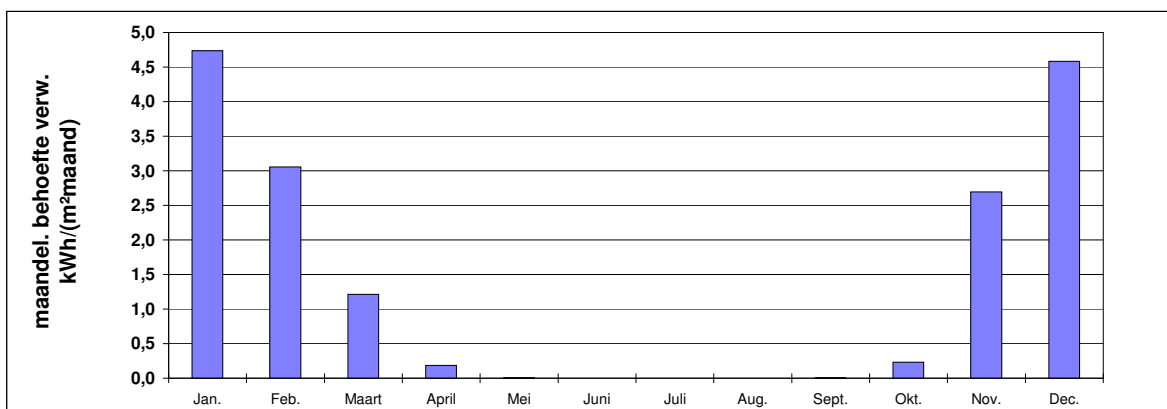
ENERGIEKENGETALLEN VERWARMING

MAANDELIJKE PROCEDURE

Klimaat: Standaard België (Ukkel)
 Object: PH Ename
 Standplaats:
 Berekening: UGent Vakgroep Architectuur

Binnentemperatuur: 20 °C
 Type gebouw/Benutting: ecologisch & passief woonhuis
 Beschermd oppervlakte A_{Est}: 112 m²
 Standaard aantal personen: 3 Pers

	Jan.	Feb.	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.	Jaar	
verw. graaduren buiten	13,0	11,6	10,6	8,4	5,4	3,7	2,0	2,2	4,5	7,2	10,3	12,2	91	kKh
verw. graaduren bodem	6,9	7,2	8,5	8,0	7,5	6,1	4,9	3,9	3,3	3,5	4,2	5,6	69	kKh
Verliezen buiten	862	770	704	559	357	245	130	144	301	473	683	810	6037	kWh
Verliezen bodem	74	77	91	86	81	65	53	42	35	38	45	60	748	kWh
Zonnewinsten oost	7	10	15	20	25	24	24	23	18	13	7	5	191	kWh
Zonnewinsten zuid	209	313	486	642	786	757	779	738	570	424	235	163	6100	kWh
Zonnewinsten west	12	22	40	63	85	88	89	76	51	33	15	10	583	kWh
Zonnewinsten noord	5	10	18	29	39	40	41	35	23	15	7	4	267	kWh
Zonnewinsten horiz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Interne warmtebronnen	175	158	175	169	175	169	175	175	169	175	169	175	2060	kWh
Zonne-benuttingsgraad	100%	98%	90%	68%	39%	29%	16%	18%	40%	74%	99%	100%	53%	
Behoeftte verwarming	530	342	136	21	1	0	0	0	1	26	302	513	1871	kWh
spec. behoefte verw.	4,7	3,1	1,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	2,7	4,6	16,7	kWh/m ²



Tabel van de primaire energie-factoren en CO ₂ -equivalent emissiefactoren van verschillende energievectoren (D)				
Energievector		Energievector	GEMIS PE kWh _{prim} /kWh _{End}	CO ₂ GEMIS 3.0 g/kWh _{End}
	1	geen		
	2	stookolie	1,08	293
	3	aardgas	1,07	229
Brandstof	4	steenkool	1,07	396
	5	brandhout	0,20	55
Elektriciteit	6	elektriciteit-mix	2,97	689
	7	verwarmingselektriciteit	2,72	1018

	1	geen		
Stadsverwarming	2	StK WKP 70% WKK	0,71	214
	3	StK WKP 35% WKK	1,10	306
	4	StK WP 0% WKK	1,49	398
Gas-WKK	5	Gas-BWKP 70%WKK	0,62	-84
	6	Gas-BWKP 35%WKK	1,03	113
	7	Gas-BWP 0%WKK	1,43	311
Stookolie-EL-WKK	8	Stookolie-BWKP 70% WKK	0,65	75
	9	Stookolie-BWKP 35% WKK	1,06	238
	10	Stookolie-BWP 0% WKK	1,44	401

Warmteproductie		
Nr.	Type	
1	Geen	
2	Condenserende ketel gas	
3	Cond. ketel stookolie	
4	LT-ketel gas	
5	LT-ketel stookolie	

Spoelen	Wassen
1	Warm water aansluiting
2	Koud water aansluiting

Wasdrogen		Beschikbaarheid elektriciteit	Beschikbaarheid verdamping
1	Waslijn	1	1
2	Droogkast (koud!)	1	1
3	Droogkast (koud!) in extractie	0,9	0,9
4	Condensatiedroger	0,7	0
5	Extractiedroger elektriciteit	1	1
6	Extractiedroger gas	1	1

Koken	Aandeel elektrisch
1	Elektriciteit 100%
2	Gas 0%

Dit aangekochte exemplaar van PHPP 2003 Benelux is eigendom van:

UGent Vakgroep Architectuur

En werd aangekocht sedert:

11/10/2004

Het rekenpakket kan door de eigenaar worden gebruikt voor ontwerpdoeleinden.

De kopieerrechten van dit rekenpakket zijn eigendom van PHP vzw en Passivhaus Institut Darmstadt.

Controles en certificaties kunnen worden aangevraagd bij Passiefhuis-Platform vzw en Passivhaus Dienstleistung GmbH.

Bibliografie

Bibliografie

Normen en richtlijnen:

- [01] NBN EN 12831, “Verwarmingssystemen in gebouwen – Methode voor de berekening van de ontwerpwarmtebelasting”, Belgisch Instituut voor Normalisatie, Brussel, augustus 2003
- [02] NBN D 50-001, “Ventilatievoorzieningen in woongebouwen”, Belgisch Instituut voor Normalisatie, Brussel, oktober 1991
- [03] Transmissie Referentie document, “Berekening van de warmtedoorgangscoefficiënt van wanden van gebouwen (U-waarde) en van de warmteverliescoëfficiënt door transmissie in gebouwen (H-waarde), oktober 2006
- [04] NBN B 62-003, “Berekening van de warmteverliezen van gebouwen”, Belgisch Instituut voor Normalisatie, Brussel, december 1986

Folders/brochures:

- [05] Passiefhuis-Platform vzw, folder “Passiefhuis-Platform vzw – De REFLEX voor energiebewust bouwen”, Berchem
- [06] Passiefhuis-Platform vzw, “PHP-technologiewijzer 2005-004: Ventilatie 1: *luchtkwaliteit*”, Berchem, 2005
- [07] Passiefhuis-Platform vzw, “PHP-technologiewijzer 2005-005: Ventilatie 2: *ventilatiesystemen*”, Berchem, 2005
- [07] Passiefhuis-Platform vzw, “PHP-technologiewijzer 2005-006: Ventilatie 3: *ventilatie en energiegebruik*”, Berchem, 2005
- [09] Centrum Duurzaam Bouwen, “Bouwen voor/aan de toekomst - 24 duurzame tips voor de 21ste eeuw”, Diensten voor het Algemeen Regeringsbeleid. Stafdienst van de Vlaamse Regering. Duurzame Ontwikkeling, Brussel, maart 2007

Andere werken:

- [10] Dhr. Wolfgang Feist e.a., “PassiefHuis-ProjectPakket 2003 Benelux – Bepalingen voor de beproeving van de kwaliteit van passiehuizen”, Darmstadt/Berchem, 2006
- [11] Commission of the European Communities, Directorate General XII for Science, Research and Development, “Test Reference Years Try. Weather Data Sets for Computer Simulations of Solar Energy Systems and Energy Consumption in Buildings”, 1985
- [12] A. Vandepitte, “Analyse van binnenklimaatmetingen in woningen”, scriptie tot het behalen van de academische graad van burgerlijk ingenieur-architect, Universiteit Gent, 2006, pag. 71-110

Artikels:

- [13] H. Hens, V. De Meulenaer, J. Van der Veken, G. Verbeeck, "Balanced ventilation with heat recovery: does it really enhance energy efficiency?", uit: 12th Symposium for Building Physics: 12 _ Bauklimatisches Symposium, Dresden, maart 2007
- [14] M. Steeman, A. Janssens, "3D Dynamic Modelling of Passive Cooling Techniques: Earth-to-Air Heat Exchangers", Rehva Journal, september 2006
- [15] P. Van den Bossche, "De bomen door het bos. Warmteterugwinapparaten", de Koevoet, nr. 137, december 2006, pag. 18-20
- [16] T. Van Gerven, "CO₂-vastlegging in de strijd tegen broeikasgassen", Het Ingenieursblad, 2 februari 2007, pag. 18
- [17] "Epr kan energieverbruik van nieuwe gebouwen met 30% doen slinken", Bouwkroniek, 18 maart 2005, pag. 20-21
- [18] "Epr waarborgt energiezuinige, gezonde gebouwen met meer comfort", Bouwkroniek, 1 april 2005, pag. 20-23
- [19] C. Verrecas, "Wonen en werken in een comfortabele woning", Casas, nr. 298, maart 2007, pag. 56-61
- [20] "Stijgende energiefactuur moet Belg naar passiefhuis loodsen", De Tijd, 26 februari 2007
- [21] M. De Paepe, A. Janssens, "Thermo-hydraulic design of earth-air heat exchangers", Energy and Buildings, nr. 35, 2003, pag: 389-397

Websites:

- [22] energie.wallonie.be
- [23] www.passiefhuisplatform.be
- [24] vlaanderen.be
- [25] www.wikipedia.be



Grafieken en tabellen



Grafieken

Grafiek 1: Jaarsimulatie warmtevraag	35
Grafiek 2: Weeksimulatie warmtevraag (4 tot 10 januari)	36
Grafiek 3: Invloed grondbuis	37
Grafiek 4: Invloed zonnepanelen	39
Grafiek 5: Dagsimulatie zonder zonnepanelen	40
Grafiek 6: Dagsimulatie met zonnepanelen	40
Grafiek 7: Volgens PHPP	42
Grafiek 8: Overzicht warmtevraag	44
Grafiek 9: Warmterecuperatie volgens PHPP (winter)	46
Grafiek 10: Warmterecuperatie volgens PHPP (zomer)	47
Grafiek 11: Werkelijke warmterecuperatie (winter)	48
Grafiek 12: Werkelijke warmterecuperatie (zomer)	49
Grafiek 13: Weeksimulatie	50
Grafiek 14: Door installatie met nominaal ventilatiedebiet	55
Grafiek 15: Door installatie met variabel debiet	56
Grafiek 16: Simulatie zonder batterij gedurende de winterperiode	57
Grafiek 17: Zonder verwarmingsbatterij	58
Grafiek 18: Simulatie met batterij gedurende de winterperiode	59
Grafiek 19: Simulatie met batterij (koudste week)	60
Grafiek 20: Zonetemperaturen bij variabel debiet	61
Grafiek 21: Invloed pelletkachel op binnentemperaturen	62
Grafiek 22: Resultaten uit de simulatie	63
Grafiek 23: Meetresultaten	63
Grafiek 24: Doorheen installatie, zonder voorzorgsmaatregelen	67
Grafiek 25: Zonetemperaturen zonder voorzorgsmaatregelen	68
Grafiek 26: Invloed bypass warmtewisselaar bij nominaal debiet	69
Grafiek 27: Temperaturen bij <i>Variabel debiet</i>	70
Grafiek 28: Temperaturen bij nachtkoeling	71
Grafiek 29: Invloed luifel (variabel debiet)	73
Grafiek 30: Warmtevraag zonder zonnepanelen	77
Grafiek 31: Invloed bypass op grondbuis	77
Grafiek 32: Invloed bypass op werkelijke warmtevraag	78
Grafiek 33: Enkel gelijkvloers actief verwarmd	79
Grafiek 34: Koudste week van het jaar	80

Tabellen

Tabel 1: Algemene nominale ventilatiedebieten	5
Tabel 2: Vloer op volle grond (85%)	17
Tabel 3: Vloer op volle grond (15%)	17
Tabel 4: Buitenwand (85%)	18
Tabel 5: Buitenwand (15%)	18
Tabel 6: Dak (88%)	19
Tabel 7: Dak (88%)	19
Tabel 8: Binnenvloer en –wanden (deel I)	20
Tabel 9: Binnenvloer en –wanden (deel II)	21
Tabel 10: U-waarden	21
Tabel 11: Transmissieverliezen gelijkvloers	22

Tabel 12: Transmissieverliezen slaapkamer	22
Tabel 13: Transmissieverliezen badkamer	23
Tabel 14: Transmissieverliezen overloop	23
Tabel 15: Transmissieverliezen polyvalente ruimte	23
Tabel 16: Infiltratieverliezen	24
Tabel 17: Totale warmteverliezen	24
Tabel 18: Opwarmcapaciteit	25
Tabel 19: Nominale debieten	27
Tabel 20: Pulsietemperaturen	28
Tabel 21: Transmissie- en infiltratieverliezen	34
Tabel 22: Totale warmteverlies (stationair)	34
Tabel 23: Piekwaarden dynamische warmtevraag	36
Tabel 24: Invloed grondbuis	38
Tabel 25: Invloed zonnewinsten	39
Tabel 26: Invloed interne warmtewinsten	41
Tabel 27: Volgens PHPP	42
Tabel 28: Overzicht warmtevraag	43
Tabel 29: Warmterecuperatie volgens PHPP	47
Tabel 30: Werkelijke warmterecuperatie	49
Tabel 31: Nominale debieten	54
Tabel 32: Variabel debiet	54
Tabel 33: Werkelijk schema	54
Tabel 34: Minimale temperaturen	56
Tabel 35: Extreme temperaturen bij nominaal debiet	59
Tabel 36: Maximaal vermogen en verbruik gedurende de winterperiode	60
Tabel 37: Ventilatieschema <i>Nachtkoeling</i>	66
Tabel 38: Zonder voorzorgsmaatregelen	68
Tabel 39: Invloed bypass bij nominaal debiet	70
Tabel 40: Variabel debiet	71
Tabel 41: Nachtkoeling	71
Tabel 42: Invloed luifel	72
Tabel 43: Temperatuursspreiding	80

