

## Woord vooraf

Beste lezer,

Deze thesis is het eindpunt van onze vier jaar durende opleiding tot industrieel ingenieur bouwkunde aan de Universiteit Hasselt en KULeuven. Gedurende het afgelopen jaar hebben we heel veel bijgeleerd. Niet alleen in verband met de EPB-regelgeving waar u zo meteen het fijne over te weten zal komen, maar ook inzake een onderzoek voeren en werken in team. Zeggen dat het schrijven van deze paper een leerrijke ervaring is geweest is dus zeker een understatement.

We hebben voor dit onderwerp gekozen omdat we zeer begaan zijn met de problematiek rond de opwarming van de aarde. Het efficiënt gebruiken van energie speelt hierbij een belangrijke rol en het leek ons dus interessant om dit meer in detail te bestuderen voor risicogeveallen, zoals bijvoorbeeld een kantoorgebouw met grote glaspartijen. Daarnaast zijn we echter wel van mening dat het comfort van de gebruikers behouden moet blijven. Dit is dus een andere factor die zeker ook in rekening gebracht moest worden.

Dit onderzoek was niet mogelijk geweest zonder de hulp van een aantal personen. We willen van dit moment dan ook gebruik maken om hen nog even extra te bedanken. Allereerst gaat onze dank uit naar onze interne promotor, ing. Pascal Vannitsen. Hij heeft er steeds over gewaakt dat het onderzoek in de goede richting bleef gaan door ons bij te sturen wanneer het nodig was. Zonder zijn gerichte vragen en rake opmerkingen zou deze thesis er heel anders uitgezien hebben. Hiernaast willen we ook graag energiedeskundige ing. Claude Pimpurniaux van het technisch controlebureau SECO cvba bedanken. Hij heeft het onderwerp aangebracht en er dus voor gezorgd dat we deze interessante materie konden onderzoeken.

Wie we zeker ook niet mogen vergeten zijn onze ouders. In de eerste plaats omdat ze ons de mogelijkheid gegeven hebben om deze studies te voltooien, maar ook voor hun onvoorwaardelijke steun en interesse gedurende deze periode. Ook onze vrienden hebben ons steeds geholpen waar mogelijk. Ze boden een luisterend oor en zorgden voor de nodige ontspanning, waarvoor dank.

Veel leesplezier!

Tom en Jeroen



# Inhoud

Woord vooraf .....	1
Tabellenlijst.....	7
Figurenlijst .....	9
Verklarende woordenlijst .....	11
Symbolenlijst.....	13
Abstract .....	17
Abstract in English.....	19
1 Inleiding .....	21
2 Literatuurstudie .....	23
2.1 Energiezuinige gebouwen .....	23
2.1.1 U- en R-waarden .....	23
2.1.2 K-peil.....	25
2.1.3 E-peil.....	26
2.1.4 Ventilatie .....	27
2.1.5 Oververhitting .....	27
2.1.6 Netto-energiebehoefte .....	31
2.1.7 Hernieuwbare energie .....	31
2.2 Passieve gebouwen.....	31
2.2.1 Warmteverliezen beperken door isolatie van het gebouw.....	32
2.2.2 Warmteverliezen beperken door een verbetering van de luchtdichtheid .....	32
2.2.3 Warmtewinsten optimaliseren door passieve energie .....	32
2.2.4 Luchtkwaliteit waarborgen door ventilatie met warmteterugwinning .....	33
3 Opbouw basisbestand in de EPB-software.....	35
3.1 Dimensionering kantoorgebouw .....	35
3.2 Opbouw scheidingsconstructies .....	35
3.3 Ramen .....	36
3.4 Verlichting.....	36
3.5 Hygiënische ventilatie .....	37
3.6 Verwarming.....	37
3.7 Koeling.....	37
3.8 Ventilatie .....	38
3.9 Fotovoltaïsche panelen.....	38

4	Parameterstudie fictief kantoorgebouw .....	39
4.1	Invloed van de scheidingsconstructies .....	39
4.2	Invloed van de ramen .....	41
4.2.1	Oppervlakte .....	41
4.2.2	U-waarde van glas .....	46
4.2.3	U-waarde van profiel.....	47
4.2.4	Thermisch verbeterde afstandhouders .....	49
4.2.5	Beglazing met coating .....	50
4.2.6	Aantal ramen .....	51
4.2.7	Zonnetoetredingsfactor.....	55
4.2.8	Type raamprofiel .....	56
4.2.9	Zonnewering.....	57
4.3	Invloed van de verwarming.....	58
4.3.1	Elektrische warmtepomp.....	58
4.3.2	Externe warmtelevering .....	60
4.3.3	Condenserende waterketel.....	62
4.3.4	Warmeluchtgenerator .....	64
4.3.5	Niet-condenserende waterketel .....	65
4.3.6	Elektrische weerstandsverwarming .....	67
4.3.7	Gebouwegebonden warmtekrachtkoppeling (WKK) .....	67
4.4	Invloed van de koeling .....	67
4.4.1	<i>Geo-cooling</i> (open-systeem) .....	68
4.4.2	Compressiekoelmachine.....	68
4.4.3	Thermisch aangedreven koelmachine .....	68
4.5	Invloed van de verlichting.....	69
4.5.1	Aantal lichtarmaturen.....	69
4.5.2	Vermogen per lichtarmatuur .....	71
4.5.3	Lichtstroom .....	72
4.6	Invloed van de inertie .....	73
4.7	Invloed van de hygiënische ventilatie .....	74
4.8	Invloed van de ventilatie .....	76
4.9	Invloed van het fotovoltaïsch systeem .....	77

5	Oververhitting .....	81
5.1	Oppervlakte en oriëntatie van de ramen .....	81
5.1.1	Oppervlakteverandering: één gevel.....	82
5.1.2	Oppervlakteverandering: twee gevels .....	83
5.1.3	Oppervlakteverandering: drie gevels.....	84
5.1.4	Oppervlakteverandering: vier gevels.....	85
5.2	Zonnetoetredingsfactor.....	86
5.3	Thermisch verbeterde afstandshouders .....	87
5.4	Beglazing met coating.....	88
5.5	Type raamprofiel.....	90
5.6	Zonnewering .....	91
5.6.1	Positie van de zonnewering.....	92
5.6.2	Oriëntatie van de zonneweringen.....	92
5.6.3	Bedieningssysteem.....	93
6	Maximale raamoppervlakte.....	95
6.1	Optimale configuratie.....	95
6.2	Standaard configuratie.....	97
7	Conclusie.....	99
7.1	K-peil.....	99
7.2	E-peil.....	100
7.3	Oververhitting .....	103
7.4	Maximale raamoppervlakte.....	104
7.5	Opmerkingen in verband met dit onderzoek .....	105
	Bibliografie .....	107



## Tabellenlijst

Tabel 1: Maximaal toelaatbare U-waarden of minimaal te realiseren R-waarden in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest <sup>(1)</sup> , het Vlaams Gewest <sup>(2)</sup> , en het Waals Gewest <sup>(3)</sup> .....	24
Tabel 2: Overzicht EPB-eisen voor kantoorgebouwen in het Waals Gewest, het Brussels Hoofdstedelijk Gewest en het Vlaams Gewest vanaf 01/01/2017 .	25
Tabel 3: Invloed van de U-waarde van de gevelementen op het K- en E-peil .....	39
Tabel 4: Invloed van de U-waarde van het dak op het K- en E-peil .....	40
Tabel 5: Invloed van de R-waarde van de vloer op het K- en E-peil .....	41
Tabel 6: Invloed van de raamoppervlakte in één gevel op het K- en E-peil .....	42
Tabel 7: Invloed van de raamoppervlakte in twee gevels op het K- en E-peil.....	43
Tabel 8: Invloed van de raamoppervlakte in drie gevels op het K- en E-peil .....	44
Tabel 9: Invloed van de raamoppervlakte in vier gevels op het K- en E-peil .....	45
Tabel 10: Invloed van de $U_g$ -waarde op het K- en E-peil .....	46
Tabel 11: Invloed van de $U_f$ -waarde op het K- en E-peil.....	48
Tabel 12: Invloed van thermisch verbeterde afstandhouders op het K- en E-peil.....	50
Tabel 13: Invloed van coating op het K- en E-peil .....	50
Tabel 14: Configuratie van de rechthoekige ramen zoals ingegeven in de software .....	52
Tabel 15: Invloed van het aantal rechthoekige ramen in één gevel op het K- en E-peil.....	53
Tabel 16: Invloed van het aantal rechthoekige ramen in vier gevels op het K- en E-peil.....	53
Tabel 17: Configuratie van de quasi vierkante ramen zoals ingegeven in de software.....	54
Tabel 18: Invloed van het aantal quasi vierkante ramen op het K- en E-peil .....	55
Tabel 19: Invloed van de g-waarde op het K- en E-peil .....	56
Tabel 20: Invloed van het type raamprofiel op het K- en E-peil.....	56
Tabel 21: Waardes bij ontstentenis van de reductiefactor van de zonnewering .....	58
Tabel 22: Invloed van het transportmedium van een elektrische warmtepomp op het E-peil ....	59
Tabel 23: Invloed van het type warmtebron van een elektrische warmtepomp op het E-peil ....	59
Tabel 24: Invloed van het type energiedrager van externe warmtelevering op het E-peil.....	60
Tabel 25: Invloed van het type opwekkingsrendement van externe warmtelevering op het E-peil .....	61
Tabel 26: Invloed van het type energiedrager van een condenserende waterketel op het E-peil	62
Tabel 27: Invloed van het rendement van een condenserende waterketel op het E-peil.....	63
Tabel 28: Invloed van het type energiedrager van een warmeluchtgenerator op het E-peil .....	65
Tabel 29: Invloed van het rendement van een niet-condenserende waterketel op het E-peil.....	66
Tabel 30: Invloed van het type energiedrager van een thermisch aangedreven koelmachine op het E-peil .....	69
Tabel 31: Invloed van het aantal lichtarmaturen op het K- en E-peil .....	70
Tabel 32: Invloed van de spreiding van het aantal lichtarmaturen op het E-peil .....	71
Tabel 33: Invloed van het vermogen van de lichtarmaturen op het K- en E-peil.....	71
Tabel 34: Invloed van de lichtstroom op het E-peil .....	73
Tabel 35: Invloed van het toe- en afvoerdebiet van de hygiënische ventilatie op het E-peil.....	75
Tabel 36: Startwaardes van de oppervlakte en oriëntatie van de ramen .....	82
Tabel 37: Invloed van de raamoppervlakte in één gevel op de oververhitting .....	82
Tabel 38: Invloed van de raamoppervlakte in twee gevels op de oververhitting .....	83
Tabel 39: Invloed van de raamoppervlakte in drie gevels op de oververhitting .....	84
Tabel 40: Invloed van de raamoppervlakte in vier gevels op de oververhitting .....	85

Tabel 41: Invloed van de g-waarde op de oververhitting.....	87
Tabel 42: Invloed van thermisch verbeterde afstandshouders op de oververhitting .....	88
Tabel 43: Invloed van coating op de oververhitting.....	88
Tabel 44: Invloed van de coating op de oververhitting: vergelijking .....	89
Tabel 45: Invloed van het type raamprofiel op de oververhitting .....	90
Tabel 46: Invloed van de zonnewering op de oververhitting.....	91
Tabel 47: Invloed van de zonnewering op de oververhitting.....	93
Tabel 48: Bepaling van de maximale raamoppervlakte m.b.v. de optimale configuratie .....	96
Tabel 49: Bepaling van de maximale raamoppervlakte m.b.v. de standaard configuratie en vereenvoudigde manier van ingeven.....	97
Tabel 50: Bepaling van de maximale raamoppervlakte m.b.v. de standaard configuratie en niet-vereenvoudigde manier van ingeven.....	98
Tabel 51: Bepaling van de maximale raamoppervlakte m.b.v. de standaard configuratie en niet-gebruikte gevels op 30% .....	98
Tabel 52: Variatie van het K-peil bij een variatie van de U-waarde van de scheidingsconstructies .....	99
Tabel 53: Variatie van het E-peil bij een variatie van de U-waarde van de scheidingsconstructies .....	101
Tabel 54: Overzicht van de wijziging van het E-peil naargelang de keuze van het verwarmingstoestel .....	102
Tabel 55: Overzicht van de wijzigingen van het E-peil naargelang de keuze van het koelsysteem .....	102
Tabel 56: Maximale raamoppervlakte.....	105



## Figurenlijst

Figuur 1: Evolutie tot BEN-eis .....	23
Figuur 2: Ventilatie met warmteterugwinning .....	33
Figuur 3: Grafische voorstelling van de invloed van de U-waarde van de gevelementen op het K- en E-peil.....	39
Figuur 4: Grafische voorstelling van de invloed van de U-waarde van het dak op het K- en E-peil.....	40
Figuur 5: Grafische voorstelling van de invloed van de R-waarde van de vloer op het K- en E-peil.....	41
Figuur 6: Grafische voorstelling van de invloed van de raamoppervlakte in één gevel op het K- en E-peil .....	42
Figuur 7: Grafische voorstelling van de invloed van de raamoppervlakte in twee gevels op het K- en E-peil.....	43
Figuur 8: Grafische voorstelling van de invloed van de raamoppervlakte in drie gevels op het K- en E-peil .....	44
Figuur 9: Grafische voorstelling van de raamoppervlakte in vier gevels op het K- en E-peil ....	45
Figuur 10: Grafische voorstelling van de invloed van de $U_g$ -waarde op het K-peil .....	47
Figuur 11: Grafische voorstelling van de $U_g$ -waarde op het E-peil .....	47
Figuur 12: Grafische voorstelling van de invloed van de $U_f$ -waarde op het K-peil.....	48
Figuur 13: Grafische voorstelling van de invloed van de $U_f$ -waarde op het E-peil .....	48
Figuur 14: Profiel FIN-Project Classic-line van FINSTRAL® .....	52
Figuur 15: Grafische voorstelling van de invloed van het aantal rechthoekige ramen in vier gevels op het K- en E-peil.....	54
Figuur 16: Grafische voorstelling van de invloed van het opwekkingsrendement van externe warmtelevering op het E-peil .....	61
Figuur 17: Grafische voorstelling van de invloed van het rendement van een condenserende waterketel op het E-peil.....	63
Figuur 18: Grafische voorstelling van de invloed van het rendement van een niet-condenserende waterketel op het E-peil.....	66
Figuur 19: Grafische voorstelling van de invloed van het aantal lichtarmaturen op het K- en E-peil.....	70
Figuur 20: Grafische voorstelling van de invloed van het vermogen van de lichtarmaturen op het K- en E-peil.....	72
Figuur 21: Grafische voorstelling van de invloed van de lichtstroom op het E-peil.....	73
Figuur 22: Grafische voorstelling van de invloed van het toe- en afvoerdebiet van de hygiënische ventilatie op het E-peil .....	75
Figuur 23: Grafische voorstelling van de invloed van het toevoerdebiet van ventilatie op het E-peil.....	76
Figuur 24: Grafische voorstelling van de invloed van het afvoerdebiet van ventilatie op het E-peil.....	76
Figuur 25: Grafische voorstelling van de invloed van het rendement van een warmteterugwinapparaat op het E-peil .....	77
Figuur 26: Grafische voorstelling van de invloed van de oppervlakte van de PV-panelen op het E-peil.....	78

Figuur 27: Grafische voorstelling van de invloed van het piekvermogen van de PV-panelen op het E-peil, in stappen van 1 m <sup>2</sup> .....	78
Figuur 28: Grafische voorstelling van de invloed van het piekvermogen van de PV-panelen op het E-peil, in stappen van 50 m <sup>2</sup> .....	79
Figuur 29: Grafische voorstelling van de invloed van de raamoppervlakte in één gevel op de oververhitting.....	82
Figuur 30: Grafische voorstelling van de invloed van de raamoppervlakte in twee gevels op de oververhitting.....	84
Figuur 31: Grafische voorstelling van de invloed van de raamoppervlakte in drie gevels op de oververhitting.....	85
Figuur 32: Grafische voorstelling van de invloed van de raamoppervlakte in vier gevels op de oververhitting.....	86
Figuur 33: Grafische voorstelling van de invloed van de g-waarde op de oververhitting.....	87
Figuur 34: Grafische voorstelling van de invloed van de coating op de oververhitting.....	89

## Verklarende woordenlijst

BEN	bijna-energieneutraal
Bypass	onderdeel van een warmteterugwinapparaat waarbij de warme en koude lucht langs elkaar worden gevoerd
Condenserende waterketel	waterketel waarbij de rookgassen en het retourwater elkaar kruisen waardoor extra warmte uit de waterdamp van de rookgassen wordt gehaald. Hierdoor wordt de waterdamp gecondenseerd en worden hogere rendementen bereikt dan bij niet-condenserende waterketels
EPB	energieprestatie en binnenklimaat
E-peil	maat voor de energieprestatie van een gebouw, of van gebouwdelen afzonderlijk, en de vaste installaties die zich hierin bevinden
EPN-eenheid	geheel van samenhorende ruimtes bij niet-residentiële gebouwen, met als uitzondering industrie
Free-chilling	gebruik maken van de passieve koude van bijvoorbeeld buitenlucht ter verlaging van de binnentemperatuur
g-waarde	zonnetoetredingsfactor van de beglazing. Dit is de verhouding van de hoeveelheid binnenkomende zonnestraling en de hoeveelheid invallende zonnestraling
K-peil	maximale peil van de volledige warmte-isolatie van een gebouw in zijn geheel
NE	hernieuwbare energie
Niet-condenserende waterketel	waterketel waarbij het retourwater niet langs de rookgassen wordt gevoerd waardoor geen condensatie van de waterdamp mogelijk is. Dit levert doorgaans lagere rendementen op dan bij condenserende waterketels
n50-waarde	luchtverliezen in een gebouw bij eenheidsdrukverschil van 50 Pa
PV-panelen	fotovoltaïsche panelen
R-waarde	warmteweerstand van een constructie, uitgedrukt in $m^2K/W$
Scrollcompressor	type compressor, opgebouwd uit een beweegbare spiraal en een stationair spiraal waartussen compressie van het koelmiddel mogelijk is
U-waarde:	warmtegeleiding van een constructie, uitgedrukt in $W/m^2K$
$U_f$ -waarde	warmtegeleiding van het raamprofiel, uitgedrukt in $W/m^2K$
$U_g$ -waarde	warmtegeleiding van het glas, uitgedrukt in $W/m^2K$
WKK	warmtekrachtskoppeling
WTW-apparaat	warmteterugwinapparaat
30%-deellast	installatie op slechts 30% van zijn totale capaciteit



## Symbolenlijst

$a_{c,m}$	maandelijkse gebruiksfactor van de zonnewering
$A_g$	oppervlakte van de beglazing, in m <sup>2</sup>
$A_{g,j}$	beglaasde oppervlakte van venster j, in m <sup>2</sup>
$A_{tot}$	totale oppervlakte van de raam, in m <sup>2</sup>
$d$	dikte van het constructiemateriaal of –element, in m
$E_{char\ ann\ prim\ en\ cons}$	karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik van de EPN-eenheid, in MJ
$E_{char\ ann\ prim\ en\ cons,ref}$	referentiewaarde voor het karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik, in MJ
$E_{EPNR}$	peil van primair energieverbruik van de EPN-eenheid
$E_{p,aux,m}$	maandelijks primair hulpenergieverbruik, in MJ
$E_{p,cogen,m}$	maandelijkse besparing aan primaire energie ingevolge elektriciteitsproductie van gebouwgebonden warmtekrachtkoppeling, in MJ
$E_{p,cool,m}$	maandelijks primair energieverbruik voor koeling, in MJ
$E_{p,heat,m}$	maandelijks primair energieverbruik voor verwarming, in MJ
$E_{p,light,m}$	maandelijks primair energieverbruik voor verlichting, in MJ
$E_{p,pv,m}$	maandelijkse besparing aan primaire energie ingevolge elektriciteitsproductie met een fotovoltaïsche installatie, in MJ
$E_{p,water,m}$	maandelijks primair energieverbruik voor de bereiding van warm tapwater, in MJ
$F_c$	reductiefactor voor zonnewering
$f_p$	conventionele omrekenfactor naar primaire energie
$g_{g,\pm}$	zonnetoetredingsfactor van de beglazing bij normale inval
$g_{m,j}$	maandelijkse zonnetoetredingsfactor van venster j
$h$	uur
$H_{T,overh,seci,m}$	warmteoverdrachtscoëfficiënt van energiesector i door transmissie voor evaluatie van het oververhittingsrisico, in W/K
$H_{V,overh,seci,m}$	warmteoverdrachtscoëfficiënt van energiesector i door ventilatie voor evaluatie van het oververhittingsrisico, in W/K
$I_{overh,seci}$	indicator voor oververhitting van energiesector i
$I_{s,m,j,shad}$	bezinning op venster j voor de beschouwde maand rekening houdend met de beschaduwing van vaste obstakels, in MJ/m <sup>2</sup>
$K$	graden Kelvin
$l_g$	lengte waarover $\Psi_g$ bepaald is, in m
$lm$	lumen
$m$	meter
$MJ$	megajoule
$\eta_{util,cool,fc\ f,m}$	maandelijkse benuttingsfactor voor de warmteverliezen van functioneel deel f voor de koelberekeningen

$\eta_{util,heat,fct,f,m}$	maandelijkse benuttingsfactor voor de warmtewinsten van functioneel deel f voor de verwarmingsberekeningen
$\eta_{util,overh,sec i,m}$	benuttingsfactor van de maandelijkse warmtewinsten van energiesector i, voor de evaluatie van het oververhittingsrisico
$Pa$	Pascal
$p_{cool,fct f}$	conventionele waarschijnlijkheid op het plaatsen van actieve koeling in functioneel deel f
$Q_{cool,final,sec i,m,npref}$	maandelijks eindenergieverbruik van de niet-preferente koudeleveranciers van energiesector i, MJ
$Q_{cool,final,sec i,m,pref}$	maandelijks eindenergieverbruik van de preferente koudeleveranciers van energiesector i, in MJ
$Q_{cool,net,fct f,m}$	maandelijkse netto energiebehoefte voor ruimtekoeling van functioneel deel f, in MJ
$Q_{excess norm,sec i,m}$	maandelijkse genormaliseerde overtollige warmtewinsten van energiesector i t.o.v. de insteltemperatuur voor koeling, in MJ
$Q_{g,cool,fct f,m}$	maandelijkse warmtewinsten van functioneel deel f door bezonning en interne warmteproductie voor de koelberekeningen, in MJ
$Q_{g,heat,fct f,m}$	maandelijkse warmtewinsten door bezonning en interne warmteproductie van functioneel deel f voor de verwarmingsberekeningen, in MJ
$Q_{g,overh,sec i,m}$	maandelijkse warmtewinsten door bezonning en interne warmteproductie in energiesector i voor de evaluatie van het oververhittingsrisico, in MJ
$Q_{heat,final,sec i,m,npref}$	maandelijks eindenergieverbruik van de niet-preferente warmte-opwekker(s) van energiesector i, in MJ
$Q_{heat,final,sec i,m,pref}$	maandelijks eindenergieverbruik van de preferente warmte-opwekker(s) van energiesector i, in MJ
$Q_{heat,net,fct f,m}$	netto energiebehoefte voor ruimteverwarming, zonder rekening te houden met tussentijdse temperatuurverlagingen, van functioneel deel f voor de maand m, in MJ
$Q_{hum,final,sec i,m,npref}$	maandelijks eindenergieverbruik van de niet-preferente warmte-opwekker(s) van bevochtigingstoestel j, in MJ
$Q_{hum,final,sec i,m,pref}$	maandelijks eindenergieverbruik van de preferente warmte-opwekker(s) van bevochtigingstoestel j, in MJ
$Q_{i,cool,fct f,m}$	maandelijkse interne warmteproductie van functioneel deel f voor de koelberekeningen, in MJ
$Q_{i,heat,fct f,m}$	maandelijkse interne warmteproductie van functioneel deel f voor de verwarmingsberekeningen, in MJ
$Q_{L,cool,fct f,m}$	maandelijks warmteverlies door transmissie en ventilatie van functioneel deel f voor de koelberekeningen, in MJ
$Q_{L,heat,fct f,m}$	maandelijks warmteverlies door transmissie en ventilatie van functioneel deel f voor de verwarmingsberekeningen, in MJ
$Q_{s,cool,fct f,m}$	maandelijkse zonnewarmtewinsten van functioneel deel f voor de koelberekeningen, in MJ

$Q_{s,heat,fct,f,m}$	maandelijkse zonnewarmtewinsten van functioneel deel f voor de verwarmingsberekeningen, in MJ
$R$	warmtegeleidingsweerstand, in m <sup>2</sup> K/W
$R_{dak}$	warmtegeleidingsweerstand van de dakconstructies, in m <sup>2</sup> K/W
$R_{vloer}$	warmtegeleidingsweerstand van de vloerconstructies, in m <sup>2</sup> K/W
$U$	warmtedoorgangscoefficiënt, in W/m <sup>2</sup> K
$U_{buitenschrijnwerk}$	warmtedoorgangscoefficiënt van het buitenschrijnwerk, in W/m <sup>2</sup> K
$U_{dak}$	warmtedoorgangscoefficiënt van de dakconstructies, in W/m <sup>2</sup> K
$U_f$	warmtedoorgangscoefficiënt van het profiel, in W/m <sup>2</sup> K
$U_g$	warmtedoorgangscoefficiënt van de beglazing, in W/m <sup>2</sup> K
$U_{gevel}$	warmtedoorgangscoefficiënt van de gevel, in W/m <sup>2</sup> K
$U_{muur}$	warmtedoorgangscoefficiënt van de muurconstructies, in W/m <sup>2</sup> K
$U_{vloer}$	warmtedoorgangscoefficiënt van de vloerconstructies, in W/m <sup>2</sup> K
$W$	Watt
$Wp$	Wattpiek
$\lambda$	warmtegeleidingscoefficient, in W/mK
$\Psi_g$	lineaire warmtedoorgangscoefficiënt ten gevolge van de gecombineerde effecten van de beglazing, de afstandhouder en het raamprofiel, in W/mK





## **Abstract**

De strenger wordende energieprestatie-eisen vragen een hoge graad aan isolatie in de gebouwschil en een optimalisering van de energie-efficiëntie. Dit onderzoek beschrijft dan ook de invloed van de verschillende EPB-grootheden en maakt het mogelijk om meer kennis te verwerven over de mogelijkheden bij het ontwerp van nieuwbouwprojecten. Hierbij schenkt deze masterproef aandacht aan zowel het ontwerp van kantoorgebouwen met gevels in glas, gelegen in het Vlaamse Gewest, als aan het comfort van de gebruiker.

Simulaties, uitgevoerd in de software 3G met een realistisch basisbestand, bepalen welke parameters invloed hebben op het K- en E-peil. Door de EPB-parameters toe te passen op een gelijkaardig woongebouw wordt dan rekening gehouden met een indicator ter beperking van het risico op oververhitting.

Uit dit onderzoek blijkt dat het K-peil maatgevend is om de maximale raamoppervlakte van het kantoorgebouw te bepalen. Een juiste configuratie van de technieken houdt het E-peil hierbij voldoende laag. Opvallend is dat een verlaging van dit E-peil steeds mogelijk is door het voorzien van hernieuwbare energiebronnen. Ook de oververhitting vormt bij kantoorgebouwen met grote glaspartijen een aandachtspunt maar door een lage zonnetoetredingsfactor van de beglazing en de aanwezigheid van een zonnewering kan het comfort van de gebruiker gegarandeerd worden. Voor bouwheren kan dit onderzoek dus een globaal beeld op de verschillende eisen leveren en kan een ontwerp conform de EPB-eisen bepaald worden.



## **Abstract in English**

The energy regulations, that are becoming more strict, require a high level of insulation and an optimization of the energy-efficiency. This thesis deals with the influence of the different energy-parameters and makes it possible to achieve more knowledge regarding the possibilities in the design of new office buildings. Hereby this thesis gives attention to both the design of office buildings with a lot of glass in the façade, and the comfort of the user.

Simulations, which are executed in the software 3G and based on a realistic basic file, determine which parameters have an influence on the K- and E-level. By applying these parameters on a similar house, an indicator that restricts the overheating is taken into account.

According to this research, the K-level is normative to determine the maximum amount of window surface that can be used in the façade of an office building. By using a correct configuration of the different techniques, it will be possible to retain the E-level from rising too high. It is also striking that it will always be possible to let the E-level sink by using renewable energy. The overheating is an area of concern as well, but by using a low sun accession factor and with the presence of blinds the comfort of the user can be guaranteed. Especially for contractors, this research can offer a global image concerning the different requirements to achieve a design conform these demands.



# 1 Inleiding

Een vermindering van de uitstoot van broeikasgassen en, via deze wijze, een vertraging of stagnatie van de opwarming van de aarde is één van de hoofddoelstellingen van het Kyoto-protocol dat werd opgesteld tijdens de klimaatconferentie te Kyoto, Japan in 1996 [1]. Om deze doelstellingen te kunnen realiseren is een verbetering van de energie-efficiëntie een zeer belangrijke maatregel. Deze verbetering moet zeker ook worden doorgevoerd in de tertiaire en woonsector. Door hun grote omvang en invloed op lange termijn zijn deze sectoren namelijk verantwoordelijk voor meer dan 40% van het eindverbruik van energie [2]. Om het energieprestatieniveau te kunnen vastleggen en vergelijken met de opgestelde minimumeisen, hebben de Belgische gewesten samen een tool in de vorm van een softwareprogramma ontwikkeld die een eenduidig beeld geeft over de energieprestaties van gebouwen [3]. Resultaten bekomen met behulp van deze tool kunnen hierdoor worden vergeleken met de minimumeisen die door het Vlaams Gewest, het Brussels Hoofdstedelijk Gewest en het Waals Gewest afzonderlijk werden opgesteld. Deze minimumeisen worden steeds omkaderd door de Richtlijn 2002/91/EG van 16 december 2002, betreffende de energieprestatie van gebouwen van het Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie [2]. Deze richtlijn wordt door elk gewest geïnterpreteerd, omschreven en toegepast. Tevens moet er volgens Richtlijn 89/106/EEG van de Raad van 21 december 1988 betreffende de onderlinge aanpassing van de wettelijke en bestuursrechtelijke bepalingen der lidstaten inzake voor de bouw bestemde producten, ook rekening gehouden worden met het thermische comfortgevoel van de bewoners. Dit moet toegepast worden op de plaatselijke klimatologische omstandigheden, vertrekkende van een gering energieverbruik [2]. Verder zal er om deze redenen dan ook gesproken worden van een energieprestatie en binnenklimaatregelgeving, afgekort als EPB-regelgeving.

Voor het opstellen van EPB-verslagen dient men te beschikken over een erkenning als EPB-verslaggever. Deze erkenning kan verkregen worden na een te volgen procedure opgesteld door het desbetreffende gewest [4]. Ondanks deze erkenning blijft de energieprestatie-regelgeving in het algemeen een vrij complexe materie. Leken in het vak, zoals bijvoorbeeld de bouwheer van een nieuwbouw, zullen hun weg moeilijk vinden in deze regelgeving door een gebrek aan kennis, ervaring of *knowhow*. Wat zijn de te respecteren eisen? Hoe kan ik deze eisen realiseren? Welke invloed hebben bepaalde technieken op het EPB-verhaal? Is er een kans op oververhitting wanneer het gebouw een glazen gevel bevat? Dit zijn enkele van de vele vragen waarop de bouwheer een antwoord nodig heeft tijdens de ontwerpfase van zijn gebouw. Deze thesis tracht de materie omtrent EPB-verslaggeving op een zodanige manier te benaderen dat het geheel overzichtelijker en duidelijker wordt. Specifiek formuleert deze paper een antwoord op twee grote vragen: ‘Wat is de maximale hoeveelheid glas die gebruikt kan worden in een kantoorgebouw?’ en ‘Hoe kan het risico op oververhitting beperkt worden?’. Op deze manier draagt dit werk bij tot een groter inzicht in welke zaken men wel of niet kan integreren in het ontwerp van een kantoorgebouw om te voldoen aan de opgestelde EPB-eisen.

Om dit te onderzoeken wordt gebruik gemaakt van een realistisch maar fictief basisbestand van een kantoorgebouw in de EPB-software 3G. Dit gebouw is ontworpen zodat het reeds conform is aan de EPB-regelgeving van 2017. Aan de hand van dit basisbestand wordt dan een beeld gecreëerd over de mate waarin de verschillende grootheden invloed hebben op het geheel.

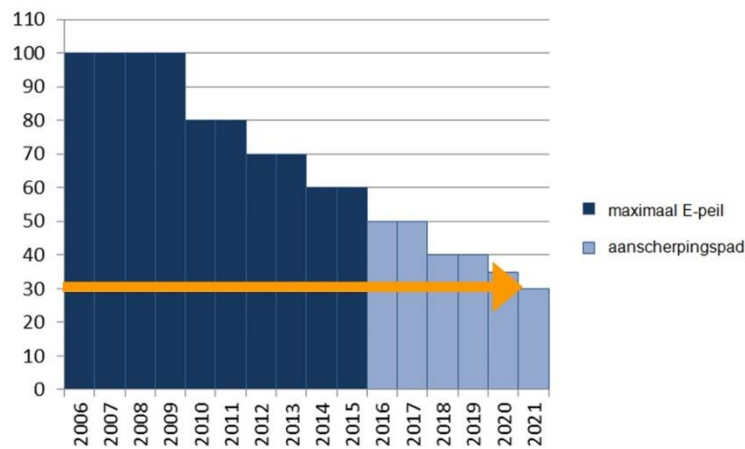
Wanneer de EPB-eisen niet worden gerespecteerd door de bouwheer, dat wil zeggen dat er een gebouw wordt gerealiseerd dat niet conform de EPB-regelgeving is, zal hij gesanctioneerd worden tot de betaling van een geldboete die cumulatief is per gemaakte fout. Deze geldboete is hierbij afhankelijk van de zwaarte van de begane fout. Ook is het belangrijk om de inleveringstermijnen te respecteren. Wanneer dit niet gebeurt, wordt de aangifteplichtige eveneens bestraft met een geldboete. Deze bedraagt €250 voor het niet respecteren van de inleveringstermijn van de startverklaring en €1000 + €1 per m<sup>3</sup> nieuw bouwvolume + €10 per dag dat de aangifte niet is ingediend voor het niet respecteren van de inleveringstermijn van de EPB-aangifte. Deze laatste boete wordt begrensd tot een maximum van €10.000 [3].

Tot slot overlopen we kort de structuur van deze thesis aan de hand van de verschillende hoofdstukken. Beginnen doen we in hoofdstuk 2 met een literatuurstudie waarin de verschillende grootheden en de regelgeving beschreven worden. Vervolgens wordt de opbouw van het fictieve basisbestand besproken, gevolgd door een uitgebreide parameterstudie. Na deze studies wordt een antwoord geformuleerd op de twee hoofdvragen achter dit onderzoek in hoofdstukken 5 en 6. Het risico op oververhitting wordt hierbij bestudeerd aan de hand van een woongebouw aangezien er geen eis inzake oververhitting voorhanden is voor kantoorgebouwen. Tot slot worden enkele conclusies en opmerkingen gemaakt aangaande dit onderzoek.

## 2 Literatuurstudie

### 2.1 Energiezuinige gebouwen

De in '1 Inleiding' vermelde eisen zijn van kracht sinds 1 januari 2006 en zijn verplicht wanneer er een bouwvergunningaanvraag of -melding nodig is voor de realisatie van een project én wanneer het gebouw verwarmd of gekoeld wordt ten behoeve van personen. De eisen worden jaarlijks verstrengd en zijn zo dus gerelateerd aan de datum van de bouwaanvraag. Dit geldt zowel voor nieuwbouw als renovatie. Vanaf 2021 moet elke nieuwbouw voldoen aan de BEN-eisen, waarbij BEN de afkorting is van bijna-energie neutraal. Deze evolutie wordt weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Evolutie tot BEN-eis [3]

De eisen opgelegd door de gewesten verschillen afhankelijk van de bestemming van het beoogde gebouw. Er wordt onderscheid gemaakt tussen woningen, kantoren en scholen, industriegebouwen en gebouwen met andere specifieke bestemmingen zoals zwembaden. Deze eisen hebben betrekking tot diverse parameters die hierna opgesomd en besproken worden [3].

#### 2.1.1 U- en R-waarden

U- en R-waarden zijn grootheden die verbonden zijn aan de scheidingsconstructies waaruit het gebouw is opgebouwd. Ze staan respectievelijk voor de warmtegeleiding en warmtegeleidingsweerstand van een constructie en worden bepaald door enerzijds de diktes van de wand of wanddelen en anderzijds de warmtegeleidingscoëfficiënten  $\lambda$  van deze wand of van de materialen waaruit deze wand is opgebouwd. De opgelegde eisen bepalen maximale U-waarden en minimale R-waarden waaraan voldaan moet worden. Deze waarden verschillen naargelang het type wand en worden weergegeven in Tabel 1. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de drie Belgische gewesten, nl. het Waals Gewest, het Brussels Hoofdstedelijk Gewest en het Vlaams Gewest [3], [5]. Hierbij kunnen beide waardes berekend worden met behulp van formules 1 en 2:

$$U = \frac{\lambda}{d} \quad (1)$$

En

$$R = \frac{1}{U} = \frac{d}{\lambda} \quad (2)$$

Waarin:  $\lambda$ : warmtegeleidingscoëfficiënten  
d: dikte van de wand of wanddelen

**Tabel 1: Maximaal toelaatbare U-waarden of minimaal te realiseren R-waarden in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest <sup>(1)</sup>, het Vlaams Gewest <sup>(2)</sup>, en het Waals Gewest <sup>(3)</sup> [5]**

Constructieonderdeel	$U_{\max}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$R_{\min}$ (m <sup>2</sup> K/W)
<b>1. SCHEIDINGSCONSTRUCTIES DIE HET BESCHERMDE VOLUME OMHULLEN</b> , met uitzondering van deze die de scheiding vormen met een aanpalend beschermd volume		
1.1. TRANSPARANTE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3), lichte gevels <sup>(1)</sup> (zie 1.4) en glasbouwsteenwanden (zie 1.5) [en transparante scheidingsconstructies andere dan glas <sup>(2)</sup> ]	$U_{\max} = 1.80$ $U_{g,\max} = 1.10$	
1.2. OPAKE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3) en lichte gevels <sup>(1)</sup> (zie 1.4)		
1.2.1. daken en plafonds	0.24	
1.2.2. muren niet in contact met de grond, met uitzondering van de muren vermeld in 1.2.4	0.24	
1.2.3. muren in contact met de grond	0.40 <sup>(2)</sup>	1.50
1.2.4. verticale en hellende scheidingsconstructies in contact met een kruipruimte of met een kelder buiten het beschermd volume		1.40
1.2.5. vloeren in contact met de buitenomgeving [of op een aangrenzende onverwarmde ruimte <sup>(3)</sup> ]	0.30	
1.2.6. andere vloeren (vloeren op de volle grond, boven een kruipruimte of boven een kelder buiten het beschermd volume, ingegraven keldervloeren)	0.30	1.75
1.3. DEUREN EN POORTEN (met inbegrip van het kader)	$U_{D,\max} = 2.00$	
1.4. LICHTGEVELS <sup>(1)</sup>	$U_{CV,\max} = 2.00$ $U_{g,\max} = 1.10$	
1.5. GLASBOUWSTEENWANDEN	2.00	
1.6. [TRANSPARANTE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES ANDERE DAN GLAS met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3) en lichte gevels (zie 1.4)]	2.00 $U_{g,\max} = 1.60^{(4)}$	
<b>2. SCHEIDINGSCONSTRUCTIES TUSSEN TWEE BESCHERMDE VOLUMES OP AANGRENZENDE PERCELEN</b>	1.0	
<b>3. DE VOLGENDE OPAKE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES BINNEN HET BESCHERMDE VOLUME OF PALEND AAN EEN BESTAAND BESCHERMD VOLUME OP HETZELFDE PERCEEL</b> , met uitzondering van deuren en poorten:		
3.1. TUSSEN APARTE WOONEENHEDEN		
3.2. TUSSEN WOONEENHEDEN EN GEMEENSCHAPPELIJKE RUITES (trappenhuis, inkomhal, gangen,...)		
3.3. TUSSEN WOONEENHEDEN EN RUITES MET EEN NIET-RESIDENTIËLE BESTEMMING	1.0	
3.4. TUSSEN RUITES MET EEN INDUSTRIËLE EN RUITES MET EEN NIET-INDUSTRIËLE BESTEMMING		



## 2.1.2 K-peil

Het K-peil staat voor het maximale peil van de volledige warmte-isolatie van een gebouw in zijn geheel. Deze eis is geldig wanneer één of meerdere van onderstaande werken worden uitgevoerd:

- nieuwbouw,
- herbouw,
- ontmanteling,
- gedeeltelijke herbouw waarvan het beschermd volume groter is dan 800 m<sup>3</sup>,
- gedeeltelijke herbouw met minstens één wooneenheid,
- uitbreiding waarvan het beschermd volume groter is dan 800 m<sup>3</sup>,
- uitbreiding met minstens één wooneenheid,
- functiewijziging.

Dit K-peil is sterk afhankelijk van slecht uitgevoerde bouwknopen. Deze koudebruggen hebben een sterk negatieve invloed en moeten daarom zoveel mogelijk vermeden worden. Ze moeten tevens verplicht worden ingerekend sinds 1 januari 2011 voor gebouwen waarvoor de EPB-eisen voor nieuwbouw gelden [3]. De waarden van het K-peil voor een nieuwbouw van kantoorgebouwen in de drie Belgische gewesten worden in Tabel 2 weergegeven. Opvallend hierbij is dat voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest de eis voor het K-peil is afgeschaft sinds 1 januari 2015.

**Tabel 2: Overzicht EPB-eisen voor kantoorgebouwen in het Waals Gewest, het Brussels Hoofdstedelijk Gewest en het Vlaams Gewest vanaf 01/01/2017 [3], [6], [7].**

Eis	Waals Gewest	Brussels Hoofdstedelijk Gewest	Vlaams Gewest
Thermische isolatie	K 35, $U_{\max}$ of $R_{\min}$ (Tabel 1)	$U_{\max}$ of $R_{\min}$ (Tabel 1)	K 40, $U_{\max}$ of $R_{\min}$ (Tabel 1)
Primair energieverbruik	E 65	(95-2,5.c) kWh/m <sup>2</sup> .jaar	E 55
Netto energiebehoefte	/	15 kWh/m <sup>2</sup> .jaar	/
Binnenklimaat	Ventilatievoorzieningen (niet-residentieel) (zie NBN 13779)	Ventilatievoorzieningen (niet-residentieel) (zie NBN 13779)  Oververhitting: max. 5% van de tijd > 25°C	Ventilatievoorzieningen (niet-residentieel) (zie NBN 13779)
Hernieuwbare energie	/	/	10 kWh/jaar.m <sup>2</sup>

### 2.1.3 E-peil

Het E-peil is een maat voor de energieprestatie van een gebouw, of van gebouwdelen afzonderlijk, en de vaste installaties die zich hierin bevinden. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat deze installaties in standaardomstandigheden werken. Dit peil kan worden bepaald aan de hand van formule 3 [8].

$$E_{EPNR} = 100 \cdot \frac{E_{char\ ann\ prim\ en\ cons}}{E_{char\ ann\ prim\ en\ cons,ref}} \quad (3)$$

Waarin:

$E_{EPNR}$	het peil van primair energieverbruik van de EPN-eenheid;
$E_{char\ ann\ prim\ en\ cons}$	het karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik van de EPN-eenheid, in MJ;
$E_{char\ ann\ prim\ en\ cons,ref}$	de referentiewaarde voor het karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik, in MJ.

Dit karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik wordt als volgt berekend [8]:

$$E_{char\ ann\ prim\ en\ cons} = \sum_{m=1}^{12} (E_{p,heat,m} + E_{p,cool,m} + E_{p,water,m} + E_{p,aux,m} + E_{p,light,m} - E_{p,pv,m} - E_{p,cogen,m}) \quad (4)$$

Waarin:

$E_{char\ ann\ prim\ en\ cons}$	het karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik van de EPN-eenheid, in MJ;
$E_{p,heat,m}$	het maandelijks primair energieverbruik voor verwarming, in MJ;
$E_{p,cool,m}$	het maandelijks primair energieverbruik voor koeling, in MJ;
$E_{p,water,m}$	het maandelijks primair energieverbruik voor de bereiding van warm tapwater, in MJ;
$E_{p,aux,m}$	het maandelijks primair hulpenergieverbruik, in MJ;
$E_{p,light,m}$	het maandelijks primair energieverbruik voor verlichting, in MJ;
$E_{p,pv,m}$	de maandelijkse besparing aan primaire energie ingevolge elektriciteitsproductie met een fotovoltaïsche installatie, in MJ;
$E_{p,cogen,m}$	de maandelijkse besparing aan primaire energie ingevolge elektriciteitsproductie van gebouwgebonden warmtekrachtkoppeling, in MJ.

Het E-peil is dus enerzijds afhankelijk van de thermische isolatie, luchtdichtheid en de compactheid van het gebouw en anderzijds moeten ook de vaste installaties zoals verwarming, ventilatie, warmwatervoorzieningen, verlichting etc. in rekening worden gebracht. Ook de oriëntatie en de bezonning van het gebouw beïnvloedt deze maatstaf. Een energiezuinig gebouw wordt gekenmerkt door een laag E-peil. Bij de berekening van het E-peil hebben, net zoals bij

het K-peil, bouwknoopen of koudebruggen een sterk negatieve invloed. Ook hier geldt dezelfde verplichting om deze sinds 1 januari 2011 in rekening te brengen [3]. De eisen die gelden voor het E-peil bij nieuwbouw kantoorgebouwen sinds 1 januari 2017 worden voor de drie Belgische gewesten weergegeven in Tabel 2. Opvallend hierbij is dat voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest de eis voor het E-peil is aangepast sinds 1 januari 2015: het totaal primair energieverbruik dient aan een bepaalde eis te voldoen in plaats van het E-peil.

#### **2.1.4 Ventilatie**

De EPB-regelgeving bepaalt ook de nodige hoeveelheid ventilatie in een gebouw. Deze ventilatie-eis is voor elk project te respecteren en bepaalt de toevoer, doorstroom en afvoer van nieuwe en vervuilde lucht. Bij nieuwbouwprojecten en ingrijpende energetische renovaties is men verplicht een volledig ventilatiesysteem te installeren. Bij andere renovatiewerken moet men zich ervan verzekeren dat er in alle droge ruimten waar ramen vervangen of toegevoegd worden minimale toevoeropeningen voorzien worden. Hierbij moet men in alle nieuwe ruimten zowel een toe- als afvoervoorziening plaatsen. Tabel 2 geeft de eisen weer die gelden voor de ventilatie van nieuwbouw kantoren sinds 1 januari 2017 voor de drie Belgische gewesten.

#### **2.1.5 Oververhitting**

Oververhitting kan ontstaan wanneer de warmtewinsten zodanig groot worden dat de comforttemperatuur overschreden wordt. Bij woongebouwen is hiervoor een specifieke eis opgesteld die uiteraard gerespecteerd dient te worden. Bij kantoorgebouwen is er voor het risico op oververhitting slechts een eis opgelegd door het Brussels Hoofdstedelijk Gewest vanaf 2017. Bij het Vlaamse en het Waalse Gewest dient men zich niet te houden aan vastgelegde grenswaardes. Toch is het ook voor deze gewesten aangeraden, zeker in kantoorgebouwen waar gebruik gemaakt wordt van grote glaspartijen en gevels uit glas, het risico op oververhitting voldoende aandacht te geven. Dit risico kan echter in de ontwerpfase al sterk beperkt worden door onder andere rekening te houden met de oriëntatie van de vensters en de zonnetoetredingsfactor (g-waarde) van de beglazing. Deze laatst genoemde factor is de verhouding tussen de hoeveelheid binnendringende zonnestraling en de hoeveelheid invallende zonnestraling door de beglazing. Effectieve zonnewering aan vensters en beschaduwing door luifels verlagen eveneens het risico op oververhitting. Ondanks het feit dat hiervoor in Vlaanderen en Wallonië geen specifieke eis bestaat, wordt deze factor toch gedeeltelijk in rekening gebracht met behulp van het E-peil. Zoals weergegeven in formules 3 en 4 kan dit E-peil worden berekend aan de hand van het karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik van de EPN-eenheid, wat op zijn beurt bepaald wordt door de som van de maandelijkse primaire energieverbruiken van de verschillende verbruikers.

Zoals blijkt uit formules 3 en 4 heeft de zonnetoetredingsfactor geen rechtstreeks effect op de bepaling van dit E-peil. Deze factor zal echter wel in rekening gebracht worden bij de bepaling van het maandelijks primair energieverbruik voor ruimteverwarming en –koeling.

De bepaling van het maandelijks primair energieverbruik voor verwarming gebeurt op basis van de som van de maandelijks energieverbruiken van de preferente en niet-preferente warmte-opwekkers en de warmte-opwekkers van de bevochtigingstoestellen. Ter berekening van het maandelijks primair energieverbruik voor koeling wordt enkel rekening gehouden met het verbruik van de preferente en niet-preferente koudeleveranciers. Beide berekeningen worden gegeven volgens formules 5 en 6 [8].

$$E_{p,heat,m} = \sum_i (f_p \cdot Q_{heat,final,seci,m,pref} + f_p \cdot Q_{heat,final,seci,m,npref}) \quad (5)$$

$$+ \sum_j (f_p \cdot Q_{hum,final,seci,m,pref} + f_p \cdot Q_{hum,final,seci,m,npref})$$

En

$$E_{p,cool,m} = \sum_i (f_p \cdot Q_{cool,final,seci,m,pref} + f_p \cdot Q_{cool,final,seci,m,npref}) \quad (6)$$

Waarin:

$E_{p,heat,m}$	het maandelijks primair energieverbruik voor verwarming van de EPN-eenheid, in MJ;
$f_p$	de conventionele omrekenfactor naar primaire energie (primaire energiefactor);
$Q_{heat,final,seci,m,pref}$	het maandelijks eindenergieverbruik van de preferente warmte-opwekker(s) van energiesector i, in MJ;
$Q_{heat,final,seci,m,npref}$	het maandelijks eindenergieverbruik van de niet-preferente warmte-opwekker(s) van energiesector i, in MJ;
$Q_{hum,final,seci,m,pref}$	het maandelijks eindenergieverbruik van de preferente warmte-opwekker(s) van bevochtigingstoestel j, in MJ;
$Q_{hum,final,seci,m,npref}$	het maandelijks eindenergieverbruik van de niet-preferente warmte-opwekker(s) van bevochtigingstoestel j, in MJ;
$E_{p,cool,m}$	het maandelijks primair energieverbruik voor koeling van de EPN-eenheid, in MJ;
$Q_{cool,final,seci,m,pref}$	het maandelijks eindenergieverbruik van de preferente koudeleveranciers van energiesector i, in MJ;
$Q_{cool,final,seci,m,npref}$	het maandelijks eindenergieverbruik van de niet-preferente koudeleveranciers van energiesector i, in MJ.

De zonnetoetredingsfactor zal logischerwijs invloed hebben op deze sommen en meer bepaald op het maandelijks eindenergieverbruik van de warmte-opwekkers en koudeleveranciers. Dit maandelijks eindenergieverbruik wordt bepaald door de netto energiebehoefte voor ruimteverwarming en –koeling van het functioneel deel f voor de maand m, bepaald met behulp van formules 7 en 8 [8].

$$Q_{heat,net,fct,f,m} = Q_{L,heat,fct,f,m} - \eta_{sutil,heat,fct,f,m} \cdot Q_{g,heat,fct,f,m} \quad (7)$$

En

$$Q_{cool,net,fct f,m} = 1,1 \cdot p_{cool,fct f} \cdot (Q_{g,cool,fct f,m} - \eta_{util,cool,fct f,m} \cdot Q_{L,cool,fct f,m}) \quad (8)$$

Waarin:

$Q_{heat,net,fct,f,m}$	de netto energiebehoefte voor ruimteverwarming, zonder rekening te houden met tussentijdse temperatuurverlagingen, van functioneel deel f voor de maand m, in MJ;
$Q_{L,heat,fct,f,m}$	het maandelijks warmteverlies door transmissie en ventilatie van functioneel deel f voor de verwarmingsberekeningen, in MJ;
$\eta_{sutil,heat,fct,f,m}$	de maandelijkse benuttingsfactor voor de warmtewinsten van functioneel deel f voor de verwarmingsberekeningen;
$Q_{g,heat,fct,f,m}$	de maandelijkse warmtewinsten door bezonning en interne warmteproductie van functioneel deel f voor de verwarmingsberekeningen, in MJ;
$Q_{cool,net,fct f,m}$	de maandelijkse netto energiebehoefte voor ruimtekoeling van functioneel deel f, in MJ;
$p_{cool,fct f}$	de conventionele waarschijnlijkheid op het plaatsen van actieve koeling in functioneel deel f;
$Q_{g,cool,fct f,m}$	de maandelijkse warmtewinsten van functioneel deel f door bezonning en interne warmteproductie voor de koelberekeningen, in MJ;
$\eta_{util,cool,fct f,m}$	de maandelijkse benuttingsfactor voor de warmteverliezen van functioneel deel f voor de koelberekeningen;
$Q_{L,cool,fct f,m}$	het maandelijks warmteverlies door transmissie en ventilatie van functioneel deel f voor de koelberekeningen, in MJ.

De maandelijkse warmtewinsten door bezonning en interne warmteproductie van functioneel deel f worden op hun beurt bepaald door formules 9 en 10 [8].

$$Q_{g,heat,fct,f,m} = Q_{i,heat,fct,f,m} + Q_{s,heat,fct,f,m} \quad (9)$$

En

$$Q_{g,cool,fct f,m} = Q_{i,cool,fct f,m} + Q_{s,cool,fct f,m} \quad (10)$$

Waarin:

$Q_{g,heat,fct,f,m}$	de maandelijkse warmtewinsten door bezonning en interne warmteproductie van functioneel deel f voor de verwarmingsberekeningen, in MJ;
$Q_{i,heat,fct,f,m}$	de maandelijkse interne warmteproductie van functioneel deel f voor de verwarmingsberekeningen, in MJ;

$Q_{s,heat,fct,f,m}$	de maandelijkse zonnewarmtewinsten van functioneel deel f voor de verwarmingsberekeningen, in MJ;
$Q_{g,cool,fct f,m}$	de maandelijkse warmtewinsten van functioneel deel f door bezonning en interne warmteproductie voor de koelberekeningen, in MJ;
$Q_{s,cool,fct f,m}$	de maandelijkse zonnewarmtewinsten van functioneel deel f voor de koelberekeningen, in MJ;
$Q_{i,cool,fct f,m}$	de maandelijkse interne warmteproductie van functioneel deel f voor de koelberekeningen, in MJ.

De maandelijkse zonnewarmtewinsten van functioneel deel f worden bekomen door middel van de som van de zonnewinsten door de vensters, ongeventileerde passieve zonne-energiesystemen en ten gevolge van aangrenzende onverwarmde ruimten. De zonnewinsten door de vensters kunnen worden bepaald door formule 11 in te vullen. Dit zowel voor de verwarmings- als voor de koelingsberekening [9].

$$Q_{s,heat,fct,f,m} = Q_{s,cool,fct f,m} = 0,95 \cdot g_{m,j} \cdot A_{g,j} \cdot I_{s,m,j,shad} \quad (11)$$

Waarin:

$Q_{s,heat,fct,f,m}$	de maandelijkse zonnewarmtewinsten van functioneel deel f voor de verwarmingsberekeningen, in MJ;
$Q_{s,cool,fct,f,m}$	de maandelijkse zonnewarmtewinsten van functioneel deel f voor de koelberekeningen, in MJ;
0,95	de reductiefactor voor vervuiling;
$g_{m,j}$	de maandelijkse zonnetoetredingsfactor van venster j;
$A_{g,j}$	de beglaasde oppervlakte van venster j, in m <sup>2</sup> ;
$I_{s,m,j,shad}$	de bezonning op venster j voor de beschouwde maand rekening houdend met de beschaduwning van vaste obstakels, in MJ/m <sup>2</sup> .

Formule 12 toont nu aan dat de maandelijkse zonnetoetredingsfactor rechtstreeks bepaald wordt door gebruik te maken van de zonnetoetredingsfactor van de beglazing bij normale inval [9].

$$g_{m,j} = 0,9 \cdot (a_{c,m} \cdot F_c + (1 - a_{c,m})) \cdot g_{g,\perp} \quad (12)$$

Waarin:

$g_{m,j}$	de maandelijkse zonnetoetredingsfactor van venster j,
0,9	een vaste waarde voor de invalshoekcorrectie,
$a_{c,m}$	de maandelijkse gebruiksfactor van de zonnewering,
$F_c$	de reductiefactor voor zonnewering,
$g_{g,\perp}$	de zonnetoetredingsfactor van de beglazing bij normale inval.

Uit bovenstaande formuleredenering volgt dat een grotere hoeveelheid zonnewinsten voordelig zijn voor de warmteberekeningen. Er is namelijk minder extra opgewerkte warmte nodig. Deze zonnewinsten zijn echter nadelig voor de koelberekeningen aangezien de koudeleveranciers meer moeten koelen en bijgevolg meer energie zullen verbruiken. Deze zonnewinsten voor de

koelberekeningen zullen meer doorwegen in de bepaling van het E-peil waardoor dit peil groter zal zijn indien er meer warmtewinsten zijn. Er kan dus gezegd worden dat de kans op oververhitting in het E-peil in rekening wordt gebracht door het voorzien van meer koeling om het comfort van de gebruikers te garanderen.

Naast de zonnetoetredingsfactor vormen lichtere bouwwijzen, zoals houtskeletbouw, ook een groter risico op oververhitting dan bouwwijzen met een zekere “zwaarte”, zoals beton, door een lagere thermische capaciteit. Een beperking van het oververhittingsrisico zal eveneens een verlaging van het E-peil betekenen [3]. De eisen die gelden voor het risico op oververhitting van nieuwe kantoorgebouwen sinds 1 januari 2017 worden voor de drie Belgische gewesten weergegeven in Tabel 2.

### **2.1.6 Netto-energiebehoefte**

Net als het gebrek aan een eis voor oververhitting bestaat er in de energieprestatieregelgeving ook geen eis in verband met de netto-energiebehoefte voor kantoorgebouwen. Het is wel aan te raden deze energiebehoefte zo laag mogelijk te houden. Dit is mogelijk door een goede isolatie, een beperking van de ventilatieverliezen en een optimaal gebruik van warmtewinsten [3]. De eisen sinds 1 januari 2017 betreffende de netto-energiebehoefte bij kantoorgebouwen in nieuwbouw worden voor de drie Belgische gewesten weergegeven in Tabel 2.

### **2.1.7 Hernieuwbare energie**

Sinds 1 januari 2014 geldt enkel in Vlaanderen de verplichting dat elke nieuwbouw met een stedenbouwkundige vergunningsaanvraag of melding een minimum hoeveelheid energie dient te winnen uit hernieuwbare energiebronnen. Dit kan door een combinatie van maatregelen toe te passen zodat men minstens 10 kWh/jaar energie per m<sup>2</sup> bruikbare vloeroppervlakte behaalt. Onderstaande hernieuwbare energiebronnen kunnen gebruikt worden om deze maatregel te respecteren [3]:

- zonneboiler,
- fotovoltaïsche panelen,
- biomassa,
- warmtepomp,
- stadsverwarming,
- participatie.

## **2.2 Passieve gebouwen**

Een passief gebouw is een zeer energiezuinig gebouw waarbij men ervoor zorgt dat er een goed binnenklimaat bekomen wordt zowel tijdens zomer- als wintertijd, zonder dat er gebruik gemaakt wordt van een traditioneel verwarmings- of koelingssysteem. Vandaar ook de naam ‘passief gebouw’: men probeert zoveel mogelijk energie in het gebouw te introduceren en op een passieve manier vast te houden.

Algemeen geldt dat de jaarlijkse energievraag voor ruimteverwarming en -koeling in een passief gebouw beperkt moet blijven tot 15 kWh/m<sup>2</sup> geklimatiseerde vloeroppervlakte. Een andere eis is dat de totale hoeveelheid primaire energie voor alle toepassingen, sanitair warm water en ruimteverwarming en -koeling beperkt is tot 120 kWh/m<sup>2</sup> geklimatiseerde vloeroppervlakte [10].

De twee bovenstaande waardes zijn echter algemene normen. Er zijn tevens ook meer concrete richtlijnen om ervoor te zorgen dat deze normen gehaald kunnen worden. Deze richtlijnen kunnen samengevat worden in vier belangrijke punten, die hierna besproken zullen worden.

### **2.2.1 Warmteverliezen beperken door isolatie van het gebouw**

Het beperken van warmteverliezen door een betere isolatie van het gebouw is één van de basisideeën achter het principe van een passief gebouw. Hoe beter een gebouw geïsoleerd is, hoe lager de warmteverliezen zullen zijn. Maatregelen die genomen kunnen worden, zijn de volgende [10]:

- $U_{\text{vloer, muur, dak}} < 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- $U_{\text{buitenschrijnwerk}} < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- $U_g < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- Lineaire warmtedoorgangscoefficiënt  $< 0,01 \text{ W/mK}$ .

### **2.2.2 Warmteverliezen beperken door een verbetering van de luchtdichtheid**

Zelfs als de isolatie perfect is aangebracht, kunnen er grote warmteverliezen optreden indien de luchtdichtheid niet goed is. De warmte zal dan bijvoorbeeld door kieren en spleten verdwijnen. Om te meten hoe goed de luchtdichtheid van een gebouw is, brengt men het gebouw in over- of onderdruk. De luchtverliezen worden dan berekend bij een drukverschil van 50 Pa: de zogenoemde n50-waarde. Deze waarde dient kleiner te zijn dan 0,6 h<sup>-1</sup>. Dit betekent dat het volume van de verwarmde ruimte 0,6 keer per uur ververscht wordt [10].

### **2.2.3 Warmtewinsten optimaliseren door passieve energie**

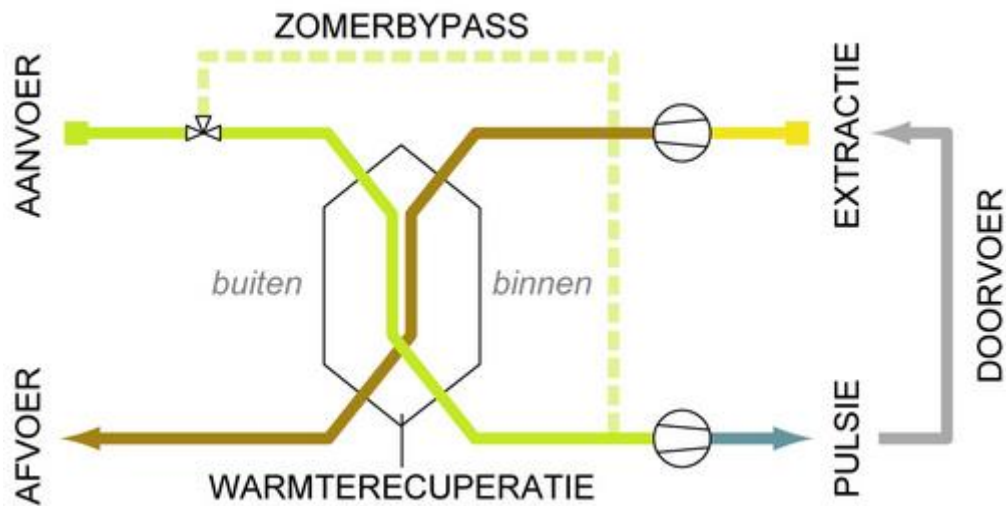
Naast het beperken van de warmteverliezen is het uiteraard ook aangeraden de warmtewinsten te optimaliseren. Het grootste deel van deze warmte is afhankelijk van de zon. Men probeert dan ook de zon zoveel mogelijk te laten toetreden tot de woning alsook de warmte in de woning vast te houden. Het is hierbij wel belangrijk de eis in verband met oververhitting te respecteren.

Naast de maatregelen vermeld in '2.2.1 Warmteverliezen beperken door isolatie van het gebouw' wordt er hierbij vooral gelet op de zonnetoetredingsfactor  $g$  van het gebruikte glas. Deze factor moet groter zijn dan 50%, wat wilt zeggen dat meer dan de helft van de invallende zonnestraling het gebouw zal binnendringen [10].



## 2.2.4 Luchtkwaliteit waarborgen door ventilatie met warmteterugwinning

In passiefhuizen wordt meestal gebruik gemaakt van een balansventilatie. Deze balansventilatie zorgt ervoor dat de ventilatie voortdurend mechanisch gestuurd wordt om een optimale luchtkwaliteit te garanderen. Het is hierbij belangrijk gebruik te maken van een ventilatiesysteem met warmteterugwinning: in de winter zal de warme uitgaande lucht de inkomende lucht verwarmen. De afgevoerde warmte gaat op deze manier niet helemaal verloren. Een visuele voorstelling van dit systeem is te zien in Figuur 2.



Figuur 2: Ventilatie met warmteterugwinning [10]

Met behulp van dit systeem kan tot 90% van de warmte die zich in de vervuilde lucht bevindt gerecupereerd worden. De *zomerbypass* is een manier om de warmteterugwinning te omzeilen. In de zomer is het immers niet nodig om de binnenkomende lucht extra te verwarmen [10].



### **3 Opbouw basisbestand in de EPB-software**

Om de EPB-gerelateerde eisen die van toepassing zijn op het kantoorgebouw te kunnen bestuderen, wordt gebruik gemaakt van de officiële EPB-software 3G. Hierbij was eerst gepland dat de verschillende EPB-parameters bestudeerd werden aan de hand van een bestaand kantoorgebouw, verkregen via SECO cvba. Door een samenloop van omstandigheden bleek dit niet mogelijk te zijn binnen de gegeven tijdspanne, en dus wordt gedurende dit onderzoek gebruik gemaakt van een fictieve, doch reële situatie. Startend van dit fictief basisbestand wordt dan de invloed van de verschillende parameters vergeleken. Door deze parameters aan te passen is het eenvoudig te bestuderen welke invloed deze parameters hebben op de EPB-eisen en hoe groot deze invloed is.

Dit basisbestand, dat is opgesteld volgens de methodiek van de Vlaamse regelgeving, voldoet reeds aan alle eisen. Er is een K-peil van 36 en een E-peil van 46 bereikt, waardoor men onder de eisen van respectievelijk K 40 en E 55 blijft. Ook aan de eisen inzake U- en R-waardes, ventilatie en hernieuwbare energie is voldaan.

In de volgende paragrafen zullen de verschillende ontwerpkeuzes in verband met dit basisbestand opgesomd en besproken worden. Er is hierbij uiteraard onderzoek gebeurd naar realistische waardes zodat geen gegevens gebruikt worden die niet mogelijk zijn. Deze waardes komen echter niet overeen met bepaalde merken of toestellen. Bij het specifiek bespreken van de verschillende parameters zal u echter merken dat er in sommige situaties wel bepaalde merken vermeld worden. Dit is gebeurd in situaties waarbij het noodzakelijk was om echte waardes uit de praktijk te gebruiken, zoals bijvoorbeeld in '4.2.6 Aantal ramen'. In deze paragraaf was het nodig om de profieloppervlakte van de ramen aan binnen- en buitenzijde te weten, dus is er bij de simulaties gebruik gemaakt van een specifiek profiel.

#### **3.1 Dimensionering kantoorgebouw**

Om het kantoorgebouw te simuleren is ervoor gekozen de volgende afmetingen te hanteren: een breedte en lengte van 20 meter en een hoogte van 14,5 meter. Het kantoorgebouw heeft dus de vorm van een balk waardoor het eenvoudig wordt de invloed van de raamoppervlakte in de gevels te bestuderen. Het gebouw is eveneens opgedeeld in drie verdiepingen waarbij elke verdieping een gebruiksoppervlakte van 360 m<sup>2</sup> heeft. In het kantoorgebouw geldt een expliciet rookverbod.

#### **3.2 Opbouw scheidingsconstructies**

Bij de scheidingsconstructies zijn de U- en R-waardes van deze constructies rechtstreeks ingegeven. Om gangbare waardes te bekomen is er onderzoek gebeurd naar de waardes van verschillende bouwmaterialen. Op deze manier zijn de volgende waardes bekomen die in het basisbestand gebruikt zijn:

- $U_{\text{gevel}} = 0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- $U_g = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- $U_f = 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- $R_{\text{vloer}} = 4,50 \text{ m}^2\text{K/W}$ ,
- $R_{\text{dak}} = 4,50 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

### 3.3 Ramen

Aangezien de parameters aangaande de ramen van groot belang zijn in deze studie wordt voor de ramen een aparte paragraaf voorzien. Zoals in de vorige paragraaf vermeld is, wordt de U-waarde van de beglazing gelijk genomen aan  $1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$  en de U-waarde van de raamprofielen gelijk aan  $2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Naast de U-waardes zijn er echter nog een aantal andere elementen die bepaald dienen te worden.

Een eerste zeer belangrijk element is de raamoppervlakte per gevel. Er zijn een aantal simulaties uitgevoerd om enkele standaardwaardes te bepalen van waaruit vertrokken kan worden voor het basisbestand. Er is uiteindelijk gekozen om een raamoppervlakte van 30% per gevel te hanteren. In het standaardbestand wordt elke gevel dus opgebouwd uit 30% raam en 70% gevelelementen. Er is ook gebruik gemaakt van thermisch verbeterde afstandshouders. Deze afstandshouders worden tegenwoordig nagenoeg standaard gebruikt bij een nieuwbouw. Om deze reden is de keuze voor deze thermisch verbeterde afstandshouders in het fictief kantoorgebouw verantwoord.

Ten derde wordt de zonnetoetredingsfactor van het glas gelijkgesteld aan 0,30. Deze waarde is bekomen op eenzelfde manier als het bepalen van de U- en R-waardes van de gevelconstructies: verschillende technische fiches van ramen zijn met elkaar vergeleken om de gebruikte g-waardes af te toetsen aan de gangbare waardes.

Er zijn echter ook verschillende parameters die niet toegevoegd zijn in dit basisbestand, zoals bijvoorbeeld zonneweringen. De invloed van deze parameter is in een later stadium uiteraard wel onderzocht, maar ook zonder toevoegen van deze parameters wordt een K- en E-peil bekomen dat voldoet aan de eisen.

### 3.4 Verlichting

De verlichting in het kantoorgebouw is voorzien volgens een reële situatie. Hierbij werd geopteerd om op elke verdieping dezelfde hoeveelheid verlichting te gebruiken. Dit betekent eenzelfde hoeveelheid lichtarmaturen van het zelfde type en merk met eenzelfde vermogen. Er werd op elke verdieping steeds gebruik gemaakt van 100 lichtarmaturen met vrij instelbare lichtsterkte, een vermogen gelijk aan 39 W en niet uitgerust met een volautomatische daglichttiming. Als regelsysteem is geopteerd voor het gebruik van aanwezigheidsdetectie met volledige uitschakeling.

### 3.5 Hygiënische ventilatie

Kantoorgebouwen moeten, net als gebouwen met andere functies, steeds voldoen aan een minimum eis omtrent ventilatie. Deze eis bepaalt een minimum ventilatiedebiet dat steeds voorzien moet zijn en is afhankelijk van de gebruiksoppervlakte van het gebouw. In de EPB-software wordt dit minimum ontwerpdebiet automatisch bepaald in functie van deze ingegeven gebruiksoppervlakte. Voor het basisbestand wordt een minimum ontwerpdebiet gelijk aan 528 m<sup>3</sup>/h geëist. De berekening achter dit debiet wordt beschreven in paragraaf '4.7 Invloed van de hygiënische ventilatie'. In het basisbestand wordt echter gekozen om een toe- en afvoerdebiet gelijk aan 6000 m<sup>3</sup>/h te voorzien. Deze debieten volgen uit een gelijkmatige verdeling van het toe- en afvoerdebiet uit '3.8 Ventilatie'. De toegevoerde lucht is hierbij verse buitenlucht. Ook de afvoer gebeurt naar de buitenlucht. Hierdoor is voldaan aan de ventilatie-eis.

### 3.6 Verwarming

Het kantoorgebouw wordt verwarmd met behulp een centrale verwarmingsinstallatie. Als opwekkingssysteem wordt hierbij gebruik gemaakt van 2 toestellen: een elektrische warmtepomp als preferente warmteopwekker en een condenserende waterketel als niet-preferente warmteopwekker.

De elektrische warmtepomp, met als warmtebron enkel buitenlucht en als transportmedium water, heeft de volgende eigenschappen:

- vermogen = 200 kW,
- prestatiecoëfficiënt = 3,
- ontwerpvertrektemperatuur = 30 °C,
- temperatuurstoename van het water tussen vertrek en retour = 6 °C,
- temperatuurstoename van het water over de condensor = 10 °C.

De condenserende waterketel heeft aardgas als energiedrager en heeft de volgende eigenschappen:

- vermogen = 2016 kW,
- testrendement bij 30% deellast = 109 %,
- ketelinlaattertemperatuur bij 30 % deellast = 30 °C,
- ontwerpreturntemperatuur = 30 °C.

De warmte opgewekt door zowel de preferente als de niet-preferente warmtebron worden naar de ruimtes overgedragen via oppervlakteverwarming, mogelijk in de vloeren, wanden of plafonds.

### 3.7 Koeling

Als koelingssysteem wordt gebruik gemaakt van een centrale installatie. Het gebruikte koeltransportmedium is hierbij een koelvloeistof. In tegenstelling tot de warmteopwekkingssystemen wordt voor de koeling slechts 1 toestel gebruikt, namelijk een

warmtepomp water/water. Deze heeft een koelvermogen van 500 kW en 1500 kW voor respectievelijk de machines ontworpen voor *free-chilling* en de machines niet ontworpen voor *free-chilling*. Als compressor wordt er gebruik gemaakt van een scroll-compressor en als condensor wordt voor een koeltoren geopteerd.

### **3.8 Ventilatie**

De ventilatievoorzieningen in het basisbestand bestaan uit mechanische toe- en afvoeren. Deze niet-vraaggestuurde ventilatie beschikt over een warmteterugwinapparaat (WTW-apparaat) met een rendement gelijk aan 70% en een verkoeling van de ventilatielucht. Ook is er recirculatie van de ventilatielucht voorzien en vindt de regeling van de luchtkwaliteit plaats met behulp van een klokregeling (IDA-C3).

Er wordt een totaal toe- en afvoerdebiet gelijk aan 18.000 m<sup>3</sup>/h voorzien. Deze debieten zijn bekomen door middel van een externe studie van de technieken. Deze waarden zijn verkregen via onze promotor en hier wordt dan ook niet dieper op ingegaan.

### **3.9 Fotovoltaïsche panelen**

Fotovoltaïsche panelen (PV-panelen) zorgen ervoor dat er voldaan wordt aan de eis omtrent hernieuwbare energie. Op het dak wordt er voor 250 m<sup>2</sup> aan PV-panelen voorzien, die in totaliteit een piekvermogen van 63.750 Wp leveren. Deze PV-panelen worden onder een hoek van 15° geïnstalleerd.

## 4 Parameterstudie fictief kantoorgebouw

In '3 Opbouw basisbestand in de EPB-software' werd reeds uitgelegd op welke wijze het EPB-bestand van het fictief kantoorgebouw gevormd is. In dit deel van de thesis zullen nu de verschillende resultaten die hieruit voortkomen geanalyseerd en besproken worden zodat de invloed van de EPB-parameters goed in kaart gebracht wordt.

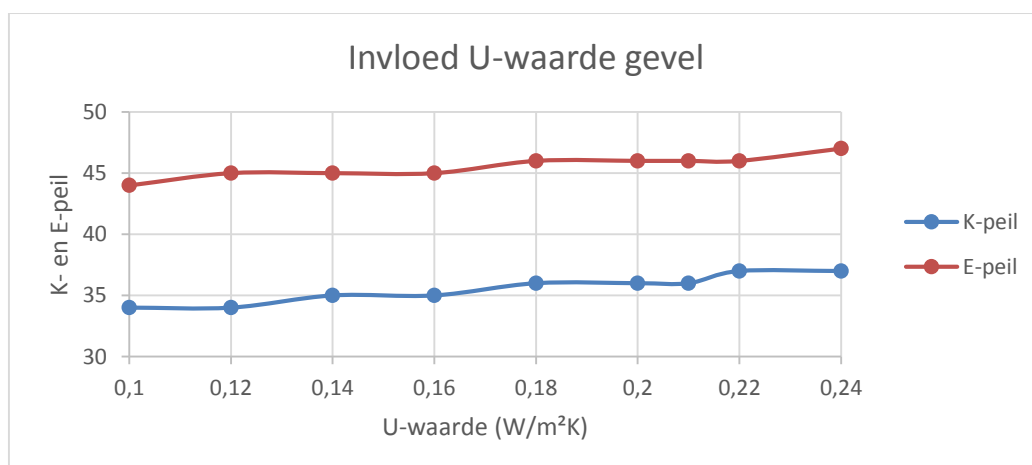
### 4.1 Invloed van de scheidingsconstructies

De scheidingsconstructies vormen de afscherming van de energiesector en fungeren als barrière tegen de koude. Een goede isolatie van deze elementen is dus van belang om de energie, gebruikt voor bijvoorbeeld de verwarming, niet verloren te laten gaan. De warmtedoorgangscoefficienten van de elementen waaruit deze constructies zijn opgebouwd beïnvloeden bijgevolg het K- en E-peil.

Een hogere U-waarde betekent een slechtere isolatiewaarde van het element. Dit resulteert in een hoger en dus slechter K-peil. Bijgevolg zal er meer energie verloren gaan ten gevolge van warmteverliezen waardoor het E-peil ook zal stijgen. Tabel 3 en Figuur 3 tonen de resultaten van simulaties die werden uitgevoerd op de gevelementen. De elementen in de verschillende gevels kregen hiervoor een gelijke U-waarde toegekend.

Tabel 3: Invloed van de U-waarde van de gevelementen op het K- en E-peil

U-waarde (W/m <sup>2</sup> K)	K-peil	E-peil
0,10	34	44
0,12	34	45
0,14	35	45
0,16	35	45
0,18	36	46
0,20	36	46
0,21	36	46
0,22	37	46
0,24	37	47



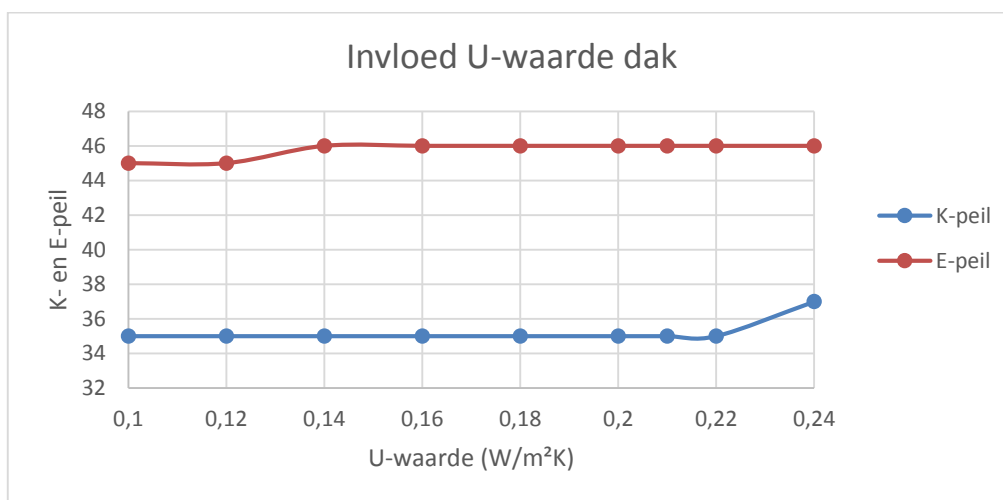
Figuur 3: Grafische voorstelling van de invloed van de U-waarde van de gevelementen op het K- en E-peil

Zoals de resultaten van de simulaties aantonen, zal een stijgende U-waarde een verhoging van het K- en E-peil met zich meebrengen. De reden hiervoor werd reeds aangehaald. De trapstructuur die zichtbaar is in de grafiek is te wijten aan het feit dat de waarden voor het K- en E-peil naar boven worden afgerond. U-waarden hoger dan 0,24 W/m<sup>2</sup>.K kunnen ook worden ingegeven in de software, maar aangezien dan niet meer voldaan wordt aan de eis op de U-waarde van de constructie worden deze resultaten niet weergegeven.

Voor het dak kan dezelfde redenering gehanteerd worden. De invloed blijft door de omvang van het dak meer beperkt in vergelijking met de invloed van de gevelelementen. De resultaten van deze simulatie worden door Tabel 4 en Figuur 4 weergegeven.

**Tabel 4: Invloed van de U-waarde van het dak op het K- en E-peil**

U-waarde (W/m <sup>2</sup> K)	K-peil	E-peil
0,10	35	45
0,12	35	45
0,14	35	46
0,16	35	46
0,18	35	46
0,20	35	46
0,21	35	46
0,22	35	46
0,24	37	46



**Figuur 4: Grafische voorstelling van de invloed van de U-waarde van het dak op het K- en E-peil**

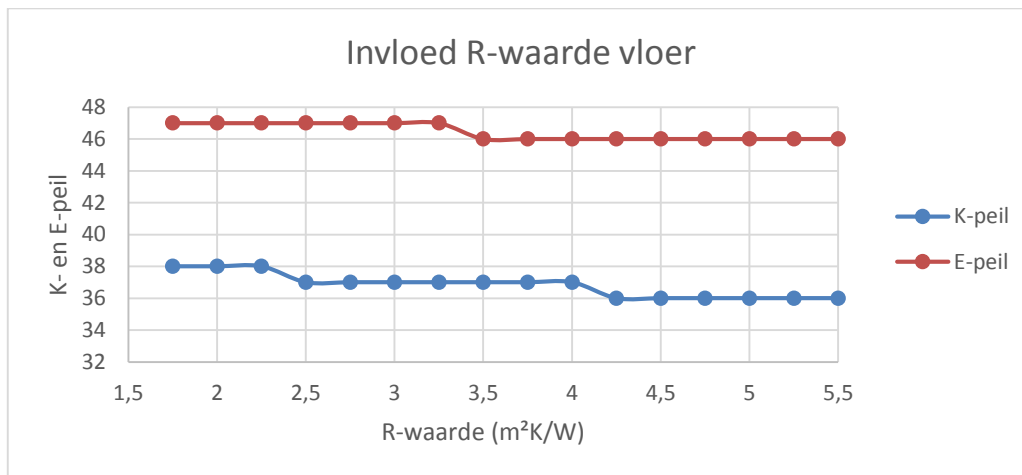
Ook hier geldt een maximale U-waarde gelijk aan 0,24 W/m<sup>2</sup>.K.

Tot slot wordt ook voor de vloerconstructie dezelfde redenering gevolgd. De software vraagt hier echter de R-waarde in te geven in plaats van de U-waarde. Volgens formule 2 is deze waarde omgekeerd evenredig aan de warmtegeleidingscoëfficiënt. Dit betekent dat, om gelijke reden, een hogere R-waarde een betere isolatie van de vloer betekent. Dit wordt bevestigd door Tabel 5 en Figuur 5.



Tabel 5: Invloed van de R-waarde van de vloer op het K- en E-peil

R-waarde (m <sup>2</sup> K/W)	K-peil	E-peil
1,75	38	47
2,00	38	47
2,25	38	47
2,50	37	47
2,75	37	47
3,00	37	47
3,25	37	47
3,50	37	46
3,75	37	46
4,00	37	46
4,25	36	46
4,50	36	46
4,75	36	46
5,00	36	46
5,25	36	46
5,50	36	46



Figuur 5: Grafische voorstelling van de invloed van de R-waarde van de vloer op het K- en E-peil

## 4.2 Invloed van de ramen

### 4.2.1 Oppervlakte

Een parameter die een zeer belangrijke invloed zal hebben op de EPB-resultaten is de raamoppervlakte in de gevel. Aangezien er voor een balkvormig gebouw gekozen is met vierkant grondoppervlak kan men op relatief eenvoudige wijze de raamoppervlakte in een gevel in vaste stappen laten variëren. Er is hierbij in eerste instantie gekozen om geen rekening te houden met de eisen rond het K- en E-peil. Deze simulaties zijn immers enkel gedaan om de invloed van een oppervlaktewijziging in kaart te brengen. Hierbij zal er een onderscheid gemaakt worden tussen een oppervlaktevariatie in één, twee, drie of vier gevels.

#### 4.2.1.1 Oppervlakteverandering: één gevel

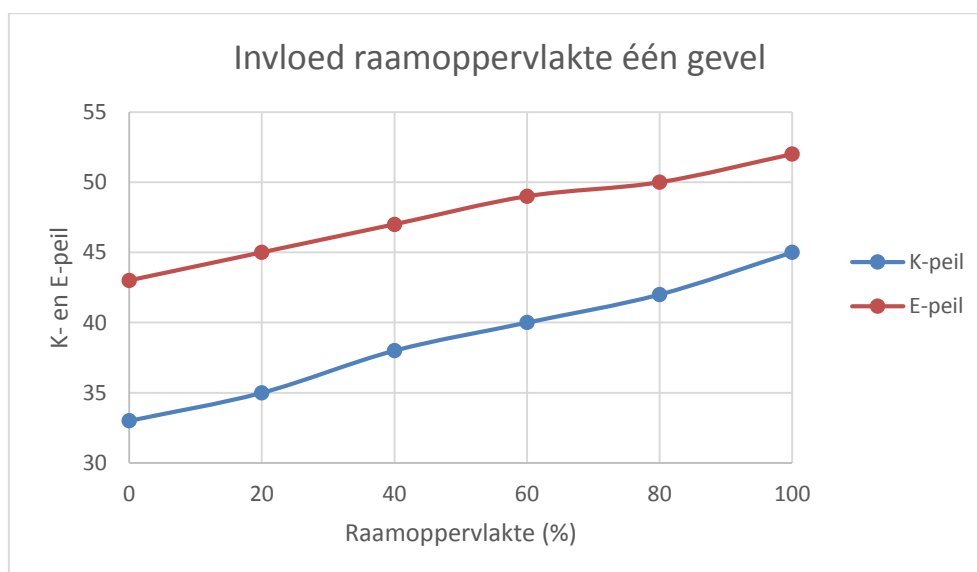
Als eerste simulatiereeks zal de raamoppervlakte van de verschillende gevels afzonderlijk variëren; de hoeveelheid glas in de andere gevels zal constant gehouden worden (30%). De resultaten van deze simulaties zijn te raadplegen in Tabel 6.

Tabel 6: Invloed van de raamoppervlakte in één gevel op het K- en E-peil

Raamoppervlakte (%)	Noorden		Oosten		Zuiden		Westen	
	K-peil	E-peil	K-peil	E-peil	K-peil	E-peil	K-peil	E-peil
0	33	43	33	43	33	43	33	43
20	35	45	35	45	35	45	35	45
40	38	47	38	47	38	47	38	47
60	40	49	40	49	40	49	40	49
80	42	50	42	51	42	50	42	51
100	45	52	45	52	45	52	45	52

Zoals in deze tabel te zien is zijn de verschillen tussen de vier windrichtingen minimaal in verband met het K- en E-peil. Dit is echter logisch aangezien enkel de raamoppervlakte verandert en de andere parameters constant gehouden worden. Het risico op oververhitting zal uiteraard wel variëren naargelang de windrichting, maar de oriëntatie van de gevel is niet opgenomen in de berekeningen van het K- of E-peil. Het spreekt dus voor zich dat deze peilen op eenzelfde wijze veranderen.

Indien men nu het K- en E-peil apart gaat bekijken binnen een bepaalde windrichting is te zien dat er een nagenoeg lineair verband bestaat tussen deze grootheden en de raamoppervlakte. Dit verband is geïllustreerd in Figuur 6. Per raamoppervlakteverandering van 20% zullen het K- en E-peil met 2 à 3 punten variëren. Dit verband is, gezien de minimale verschillen, uiteraard geldig voor de vier windrichtingen.



Figuur 6: Grafische voorstelling van de invloed van de raamoppervlakte in één gevel op het K- en E-peil

#### 4.2.1.2 Oppervlakteverandering: twee gevels

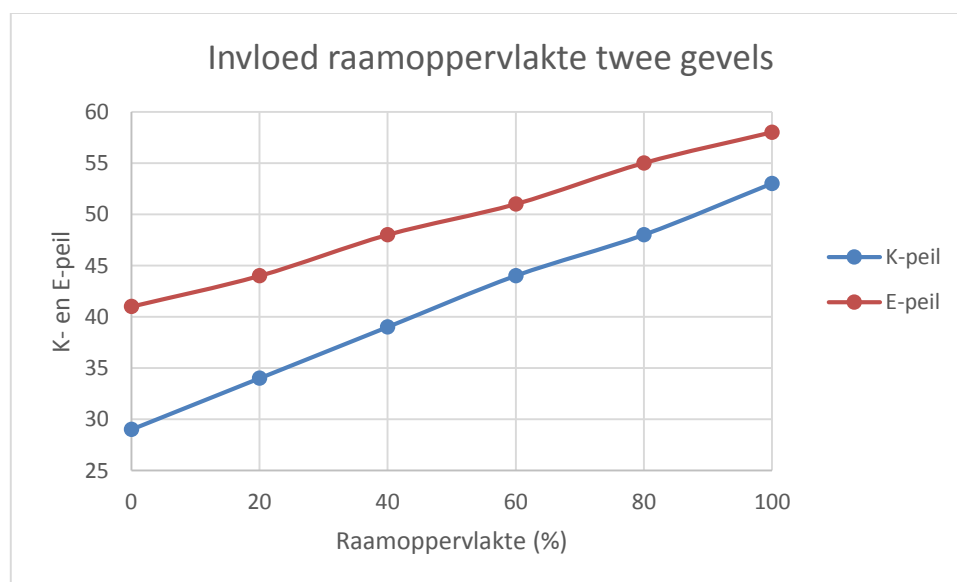
Aangezien er in de vorige paragraaf geconstateerd werd dat er geen verschil is in K- en E-peil tussen de vier windrichtingen zullen de simulaties in verband met de raamoppervlakte vanaf nu niet meer voor alle windrichtingen uitgevoerd worden.

Er wordt nu een combinatie gemaakt van twee verschillende gevels. Men laat de raamoppervlaktes in deze twee gevels op gelijke manier variëren en bekomt dan de resultaten zoals weergegeven in Tabel 7.

**Tabel 7: Invloed van de raamoppervlakte in twee gevels op het K- en E-peil**

Raamoppervlakte (%)	K-peil	E-peil
0	29	41
20	34	44
40	39	48
60	44	51
80	48	55
100	53	58

Om het verband tussen de raamoppervlaktestijging en de verandering in K- en E-peil te bekijken, wordt verwezen naar Figuur 7.



**Figuur 7: Grafische voorstelling van de invloed van de raamoppervlakte in twee gevels op het K- en E-peil**

Ook hierbij kan opgemerkt worden dat er, net als bij de variatie in één gevel, een duidelijk lineair verband is tussen de raamoppervlaktewijziging en het K- en E-peil. Wat wel opvallend is, is het feit dat de waarden van het K- en E-peil elkaar sterker benaderen bij toenemende raamoppervlakte. Er is in Tabel 7 te zien dat het E-peil per 20% raamoppervlaktestijging een toename van 3 à 4 punten kent. Het K-peil kent bij eenzelfde raamoppervlaktestijging echter een

toename van 5 punten. Dit betekent dus dat het K-peil sterker beïnvloedt wordt door een stijging in raamoppervlakte dan het E-peil.

Als er nu bekeken wordt wat de invloed van de tweede gevel is, valt het op dat de twee gevels allebei een even grote invloed hebben, die gelijk is aan de invloed van elke gevel apart. In Tabel 6 is te zien dat het K-peil met 12 punten en het E-peil met 9 punten stijgt indien de raamoppervlakte in de gevel van 0% naar 100% gaat. Bij twee gevels is nu te zien dat het K-peil met 24 punten en het E-peil met 18 punten stijgt bij dezelfde verandering in raamoppervlakte. De invloed van de twee gevels is dus even groot en kan bijgevolg gewoon opgeteld worden. Dit is een constatering die in de volgende paragrafen verder bevestigd wordt.

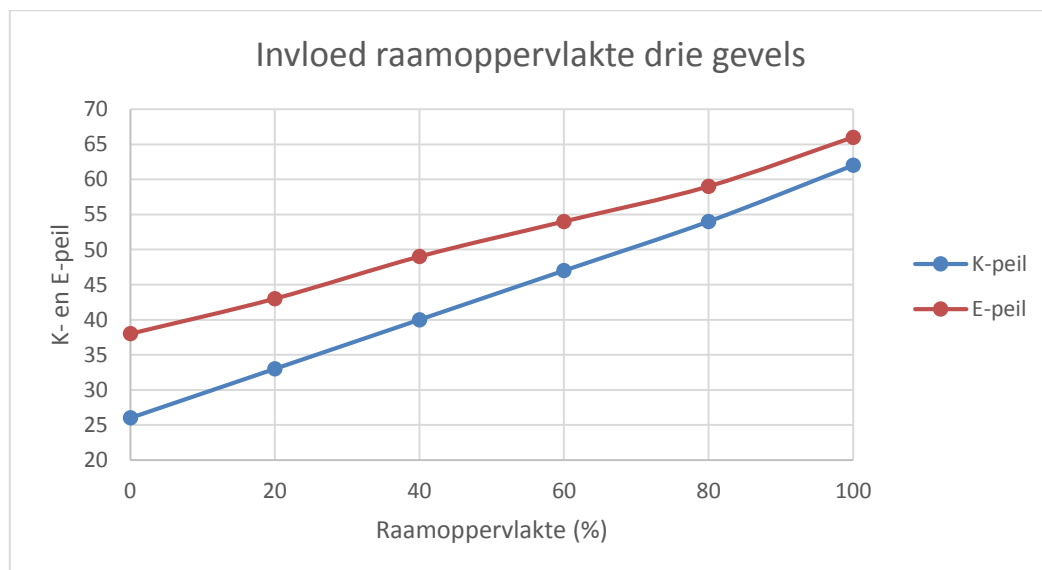
#### 4.2.1.3 Oppervlakteverandering: drie gevels

Op eenzelfde manier als in de twee voorgaande paragrafen zal men nu de raamoppervlakte in drie gevels simultaan laten variëren. Hierdoor worden de resultaten in Tabel 8 bekomen.

Tabel 8: Invloed van de raamoppervlakte in drie gevels op het K- en E-peil

Raamoppervlakte (%)	K-peil	E-peil
0	26	38
20	33	43
40	40	49
60	47	54
80	54	59
100	62	66

Figuur 8 illustreert het verband tussen de raamoppervlaktestijging en de verandering in K- en E-peil.



Figuur 8: Grafische voorstelling van de invloed van de raamoppervlakte in drie gevels op het K- en E-peil

De opmerking die in de voorgaande paragraaf gemaakt werd, is ook duidelijk op deze tabel en grafiek van toepassing. Er is nog steeds een lineair verband in het K- en E-peil bij variërende raamoppervlakte en ook de invloed van de drie gevels verloopt zoals verwacht: het K-peil stijgt met 36 en het E-peil met 28 punten. De stijging van het E-peil wijkt dus licht af van de verwachte stijging van 27 punten maar dit is naar alle waarschijnlijkheid te wijten aan afrondingsfouten.

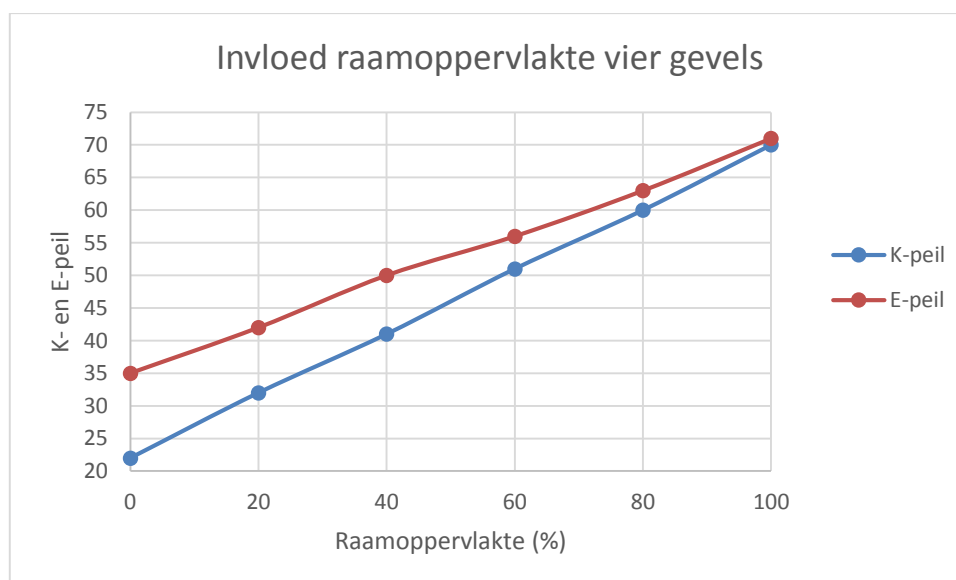
#### 4.2.1.4 Oppervlakteverandering: vier gevels

Op eenzelfde manier als in voorgaande paragrafen zal men nu de raamoppervlakte in de vier gevels gelijktijdig laten variëren. Tabel 9 geeft de resultaten van deze simulaties weer.

Tabel 9: Invloed van de raamoppervlakte in vier gevels op het K- en E-peil

Raamoppervlakte (%)	K-peil	E-peil
0	22	35
20	32	42
40	41	50
60	51	56
80	60	63
100	70	71

Om het verband tussen de raamoppervlaktestijging en de verandering in K- en E-peil te bekijken, wordt verwezen naar Figuur 9.



Figuur 9: Grafische voorstelling van de raamoppervlakte in vier gevels op het K- en E-peil

Net als bij de voorgaande paragrafen is ook hier dezelfde opmerking van toepassing: het lineaire verband blijft merkbaar en de vier gevels veroorzaken allemaal een stijging in het K-peil van 12 en in het E-peil van 9 punten, waardoor beide peilen respectievelijk 48 en 36 punten stijgen.

#### 4.2.2 U-waarde van glas

De U-waarde van glas ( $U_g$ -waarde) heeft uiteraard ook een invloed op het K- en E-peil. De U-waarde staat immers voor de warmtegeleiding van een constructie. Hoe groter de U-waarde, hoe meer warmte er dus door de constructie geleid zal worden en hoe nefaster het is voor het K- en E-peil. Er zal dan uiteraard ook gestreefd worden naar een zo laag mogelijke U-waarde. Volgens formule 13, die de berekening van de U-waarde van het raam weergeeft, levert een kleinere  $U_g$ -waarde bijgevolg ook een lagere U-waarde van het raam [11].

$$U = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_{tot}} \quad (13)$$

Waarin:

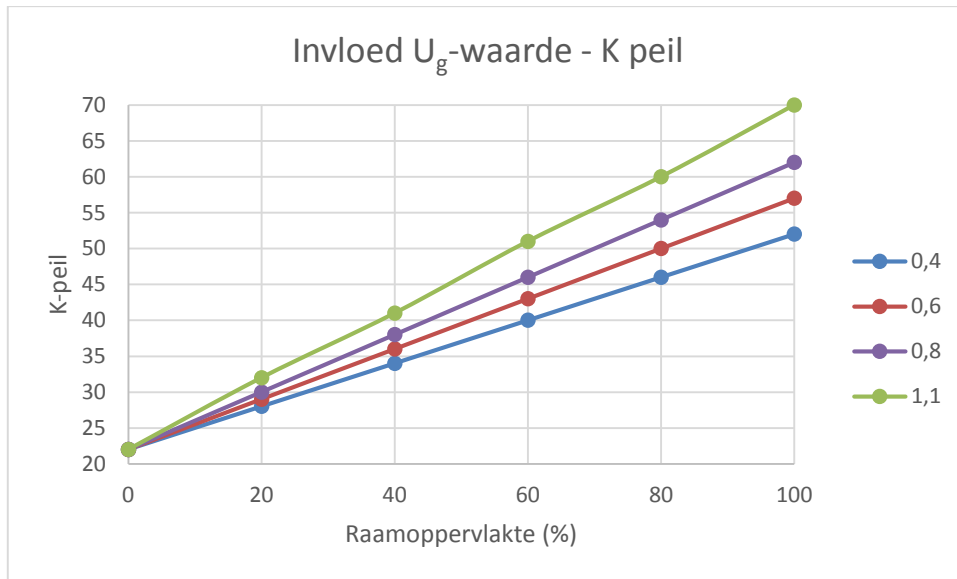
- $U_g$  warmtedoorgangscoefficiënt van de beglazing, in  $W/m^2K$ ,
- $A_g$  oppervlakte van de beglazing, in  $m^2$ ,
- $U_f$  warmtedoorgangscoefficiënt van het profiel, in  $W/m^2K$ ,
- $A_f$  oppervlakte van het profiel, in  $m^2$
- $\Psi_g$  de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt ten gevolge van de gecombineerde effecten van de beglazing, de afstandshouder en het raamprofiel, in  $W/mK$ ,
- $l_g$  de lengte waarover  $\Psi_g$  bepaald is, in  $m$ ,
- $A_{tot}$  totale oppervlakte van de raam, in  $m^2$ .

De resultaten van de variatie van de  $U_g$ -waarde zijn terug te vinden in Tabel 10. De waarden die gebruikt zijn, zijn vaak voorkomende waarden bij dubbel en driedubbel glas. De  $U_g$ -waarde van  $1,00 W/m^2K$  is de waarde die overeenkomt met standaard dubbele beglazing. Indien er een betere dubbele beglazing gebruikt wordt, zal de warmtegeleidingscoëfficiënt rond  $0,8 W/m^2K$  zitten. De andere twee waarden,  $0,4 W/m^2K$  en  $0,6 W/m^2K$ , komen overeen met respectievelijk zeer goede en goede driedubbele beglazing.

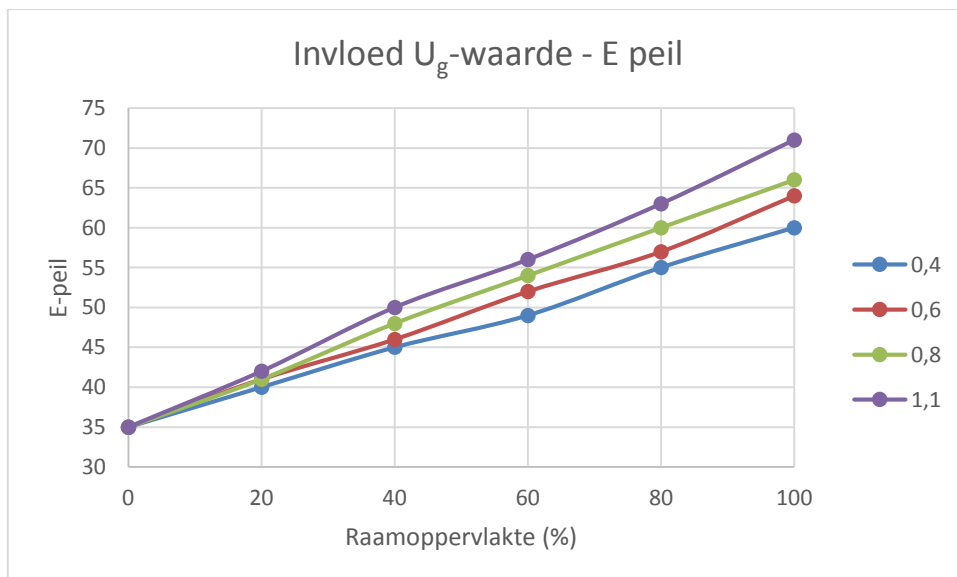
**Tabel 10: Invloed van de  $U_g$ -waarde op het K- en E-peil**

Raamoppervlakte (%)	$U_g$ -waarde ( $W/m^2K$ )							
	0,4		0,6		0,8		1,1	
	K-peil	E-peil	K-peil	E-peil	K-peil	E-peil	K-peil	E-peil
0	22	35	22	35	22	35	22	35
20	28	40	29	41	30	41	32	42
40	34	45	36	46	38	48	41	50
60	40	49	43	52	46	54	51	56
80	46	55	50	57	54	60	60	63
100	52	60	57	64	62	66	70	71

Aangezien deze tabel niet toelaat om op een snelle manier verbanden te bestuderen, worden deze resultaten in grafiekvorm weergegeven. Figuur 10 en Figuur 11 tonen de verandering van respectievelijk het K- en E-peil bij gelijke raamoppervlaktes.



**Figuur 10: Grafische voorstelling van de invloed van de  $U_g$ -waarde op het K-peil**



**Figuur 11: Grafische voorstelling van de  $U_g$ -waarde op het E-peil**

Het is duidelijk te zien dat de keuze van beglazing een grote invloed heeft op zowel het K- als E-peil. Het valt ook op dat de verandering van het K-peil groter is dan de verandering van het E-peil, zoals ook het geval was in '4.2.1 Oppervlakte'.

#### 4.2.3 U-waarde van profiel

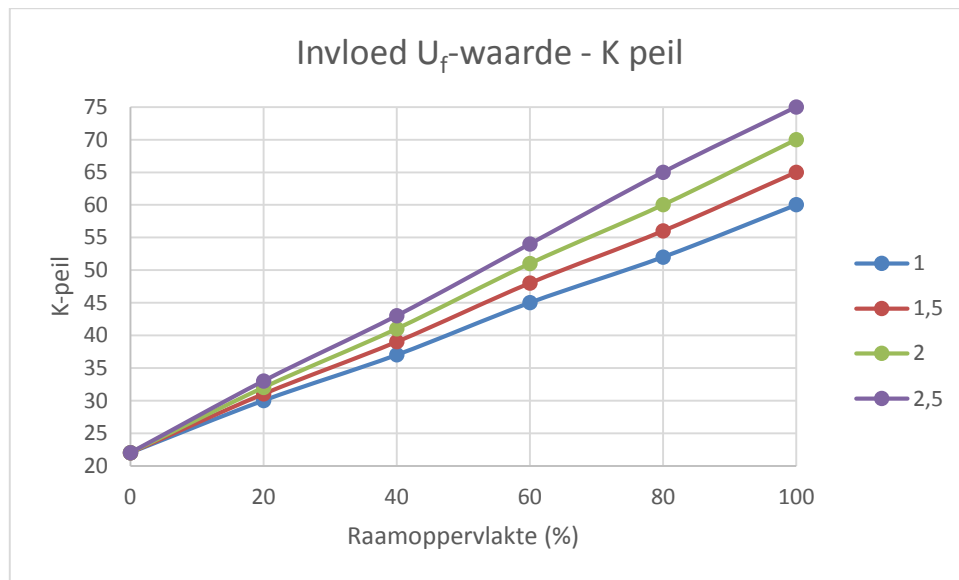
Net zoals de U-waarde van glas zal ook de U-waarde van het profiel ( $U_f$ -waarde) een invloed hebben op het K- en E-peil. Dezelfde redenering geldt dan ook: hoe lager de U-waarde van het profiel, hoe beter. Dit wordt bevestigd aan de hand van formule 13 [11].

De resultaten van de variatie van de  $U_f$ -waarde zijn terug te vinden in Tabel 11.

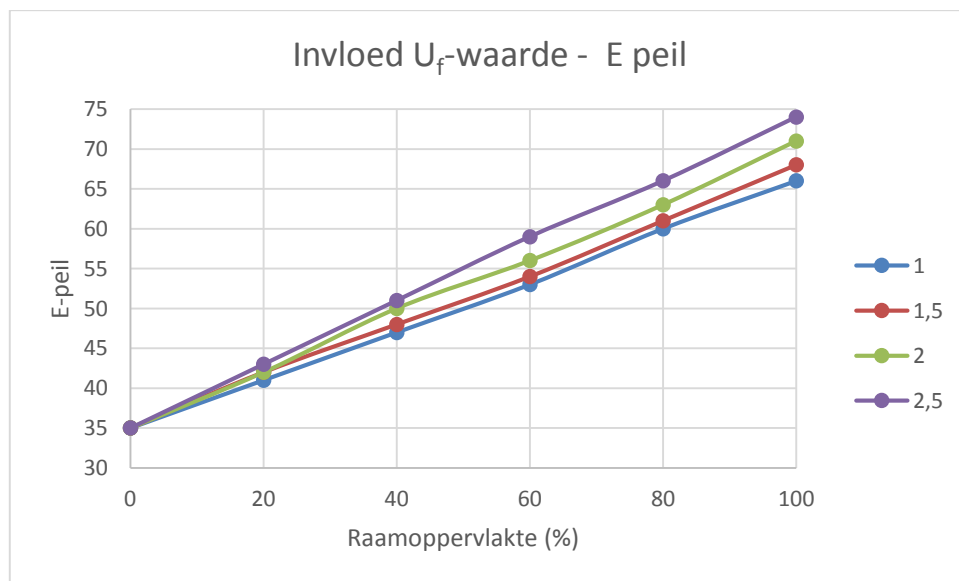
**Tabel 11: Invloed van de  $U_f$ -waarde op het K- en E-peil**

Raamoppervlakte (%)	$U_f$ -waarde ( $W/m^2K$ )							
	1		1,5		2		2,5	
	K-peil	E-peil	K-peil	E-peil	K-peil	E-peil	K-peil	E-peil
0	22	35	22	35	22	35	22	35
20	30	41	31	42	32	42	33	43
40	37	47	39	48	41	50	43	51
60	45	53	48	54	51	56	54	59
80	52	60	56	61	60	63	65	66
100	60	66	65	68	70	71	75	74

Net zoals bij het onderzoek naar de  $U_g$ -waarde laten Figuur 12 en Figuur 13 het toe om de invloed beter te bestuderen.



**Figuur 12: Grafische voorstelling van de invloed van de  $U_f$ -waarde op het K-peil**



**Figuur 13: Grafische voorstelling van de invloed van de  $U_f$ -waarde op het E-peil**



Figuur 12 geeft het K-peil weer in functie van de raamoppervlakte voor verschillende  $U_f$ -waardes. Figuur 13 geeft hetzelfde weer, maar dan voor het E-peil in plaats van het K-peil. Zoals verwacht heeft de  $U_f$ -waarde een duidelijke invloed op zowel het K- als E-peil en het is ook duidelijk dat het K-peil grotere fluctuaties vertoont dan het E-peil, zoals reeds eerder aangehaald.

Het is interessant om het verschil tussen de  $U_g$ - en de  $U_f$ -waarde te bekijken. De maximaal geteste  $U_g$ -waarde bedraagt  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ , de minimale  $U_g$ -waarde werd op  $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  vastgelegd. Dit geeft een verschil van  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  tussen de maximale en minimale  $U_g$ -waarde. Dit verschil is twee maal zo groot bij de  $U_f$ -waarde ( $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) maar toch is te zien dat de fluctuaties van het K- en E-peil groter zijn bij het veranderen van de  $U_g$ -waarde. Dit valt te verklaren door het feit dat de hoeveelheid glas in een raam groter is dan de profieloppervlakte. De  $U_g$ -waarde zal dus logischerwijs een grotere invloed hebben.

#### 4.2.4 Thermisch verbeterde afstandshouders

Een volgende parameter die een invloed zal hebben op de EPB-berekening is het gebruik van thermisch verbeterde afstandshouders. Het doel van een thermisch verbeterde afstandshouder is het risico op condensvorming op de glasrand te verminderen. De raamprofielen hebben over het algemeen een goede warmtegeleiding waardoor de randen van het glas de koudste plekken van het glas zijn en dus het snelst zullen beslaan. Men probeert dus een verminderd warmteverlies van de randzone te bekomen om op die manier ook een deel van het koudebrug effect op te heffen [12].

Het gebruik van thermisch verbeterde afstandshouders heeft echter geen effect op de U-waarde van het glas, wat contradictorisch is aan wat in eerste instantie verwacht werd. Nader onderzoek van de  $U_g$ -waarde wees echter aan dat deze waarde gemeten wordt in het midden van het glas. Aangezien de afstandshouders enkel een invloed hebben aan de rand van het glas, en meer bepaald op de factor  $\Psi_g$  in formule 13, is het dus logisch dat de  $U_g$ -waarde onveranderd blijft. Een goede thermisch verbeterde afstandshouder bekomt een lagere  $\Psi_g$  [11].

Om de invloed van de thermisch verbeterde afstandshouders op het K- en E-peil te bepalen, wordt uiteraard de situatie met en zonder afstandshouders met elkaar vergeleken. De simulatie houdt ook rekening met de invloed van de raamoppervlaktes. Immers: hoe meer glas voorzien wordt, hoe groter de invloed van de thermisch verbeterde afstandshouders zal zijn.

In Tabel 12 is te zien dat het gebruik van thermisch verbeterde afstandshouders nagenoeg geen invloed heeft op het K- en E-peil. Bij 100% raamoppervlakte is er slechts een verbetering van twee punten voor beide peilen. Het grote voordeel van thermisch verbeterde afstandshouders zal dan ook niet merkbaar zijn bij de rechtstreekse berekening van het K- en E-peil, maar bij het verminderen van de koudebruggen.

**Tabel 12: Invloed van thermisch verbeterde afstandshouders op het K- en E-peil**

Raamoppervlakte (%)	Met afstandshouders		Zonder afstandshouders	
	K-peil	E-peil	K-peil	E-peil
0	22	35	22	35
20	32	42	32	43
40	41	50	42	50
60	51	56	52	57
80	60	63	62	65
100	70	71	72	73

#### 4.2.5 Beglazing met coating

De coating die op het glas aangebracht kan worden wordt in de EPB-software omschreven als:

Industrieel proces waarbij een laag vloeistof of poeder wordt aangebracht op de oppervlakte van een product met de bedoeling de eigenschappen te wijzigen. Deze techniek laat toe de thermische performantie van de beglazing te vergroten [13].

Men zou dus verwachten, zowel door bovenstaande definitie als door externe literatuur [14], dat het K- en E-peil beter worden bij gebruik van de coating maar deze aanname komt niet overeen met de resultaten bekomen in Tabel 13.

**Tabel 13: Invloed van coating op het K- en E-peil**

Raamoppervlakte (%)	Zonder coating		Met coating	
	K-peil	E-peil	K-peil	E-peil
0	22	35	22	35
20	32	42	32	43
40	41	50	42	50
60	51	56	52	57
80	60	63	62	65
100	70	71	72	73

De coating heeft dus geen positief effect op het K- en E-peil. De reden hierachter is dat het aanbrengen van de coating de U-waarde van het raam verhoogd. Hierdoor zal de graad van isolatie dalen en zal er meer energie nodig zijn om te verwarmen en te koelen. Uiteraard zijn er wel voordelen verbonden aan het gebruik van een coating op de beglazing. Zo heeft dit een gunstige invloed op het risico op oververhitting, zoals in '5.4 Beglazing met coating' aangetoond zal worden.

#### **4.2.6 Aantal ramen**

Een zesde factor die een invloed kan hebben op het K- en E-peil is het aantal ramen per gevel. In de EPB-software kan men immers meerdere ramen per gevel aanmaken. Om deze invloed te bestuderen wordt er in het basisbestand ingegeven dat alle gevels volledig uit raam bestaan, waarbij in het originele basisbestand een K-peil van 70 en een E-peil van 71 bekomen wordt. Er zal dan een simulatie gebeuren waarbij meerdere ramen toegevoegd worden per gevel, en uiteraard de oppervlakte per raam verkleind wordt. Er wordt verwacht dat het toevoegen van ramen een negatieve invloed zal hebben op het K- en E-peil, aangezien de glasoppervlakte afneemt en er meer raamprofiel in de plaats komt. Aangezien het raamprofiel in normale omstandigheden een slechtere U-waarde heeft, zal de totale U-waarde per gevel dus ook slechter worden en zullen het K- en E-peil volgens de verwachtingen stijgen.

Het is hierbij zeer belangrijk om de methode waarop de ramen worden ingegeven te bestuderen. Standaard wordt er immers gebruik gemaakt van een vereenvoudigde bepaling van de U-waarde van de ramen. Bij deze vereenvoudigde bepaling geeft men enkel de totale oppervlakte van het raam in en de U-waardes van glas en profiel. Als deze manier van ingeven gebruikt wordt zal er echter geen variatie optreden op het K- en E-peil. Dit is te verklaren door het feit dat de software standaard 70% van de raamoppervlakte in rekening brengt voor het glas en 30% voor het profiel. Het veranderen van het aantal ramen zal dan ook geen verandering teweeg brengen aangezien deze verhouding constant blijft.

Om de invloed van het aantal ramen dus goed te kunnen bestuderen, gebruiken we de niet-vereenvoudigde methode. Bijkomend moeten hierbij de beglaasde oppervlakte, de lengte van de afstandshouder en de geprojecteerde raamprofieloppervlakte aan binnen- en buitenzijde ingegeven worden. Met behulp van deze methode bekomt men wel variaties op het K- en E-peil, die in de twee volgende paragrafen besproken zullen worden. Om ook de vorm van de ramen in rekening te brengen worden twee situaties bekeken: de situatie waarbij de ramen in alle gevels rechthoekige ramen zijn met een lengte over de gehele gevel, en een tweede situatie waarbij de ramen zoveel mogelijk de vorm van vierkanten benaderen.

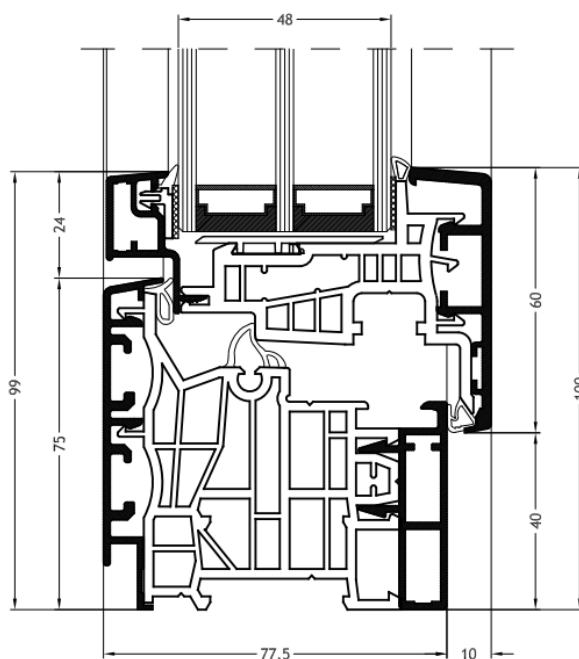
##### **4.2.6.1 Rechthoekige ramen**

In de eerste simulatiereeks hebben de ramen een rechthoekige vorm. Men maakt hierbij gebruik van lange rechthoekige ramen over de volledige lengte van de gevel. De hoogte van de ramen zal dus afnemen bij een toenemend aantal ramen, terwijl de lengte constant gehouden wordt. Het aantal ramen zal toenemen tot een aantal van 20 ramen per gevel, waarbij de ingevoerde gegevens in Tabel 14 weergegeven zijn.

Tabel 14: Configuratie van de rechthoekige ramen zoals ingegeven in de software

Aantal ramen	Lengte (m)	Hoogte (m)	Opp. glas (m <sup>2</sup> )	Lengte afstandhouder (m)	Opp. profiel binnen (m <sup>2</sup> )	Opp. profiel buiten (m <sup>2</sup> )
1	20	14,500	283,140	68,200	6,880	6,811
2	20	7,250	139,590	53,700	5,430	5,376
3	20	4,833	91,740	48,867	4,947	4,897
4	20	3,625	67,815	46,450	4,705	4,658
5	20	2,900	53,460	45,000	4,560	4,514
6	20	2,417	43,890	44,033	4,463	4,419
7	20	2,071	37,054	43,343	4,394	4,350
8	20	1,813	31,928	42,825	4,343	4,299
9	20	1,611	27,940	42,422	4,302	4,259
10	20	1,450	24,750	42,100	4,270	4,227
11	20	1,318	22,140	41,836	4,244	4,201
12	20	1,208	19,965	41,617	4,222	4,179
13	20	1,115	18,125	41,431	4,203	4,161
14	20	1,036	16,547	41,271	4,187	4,145
15	20	0,967	15,180	41,133	4,173	4,132
16	20	0,906	13,984	41,013	4,161	4,120
17	20	0,853	12,928	40,906	4,151	4,109
18	20	0,806	11,990	40,811	4,141	4,100
19	20	0,763	11,151	40,726	4,133	4,091
20	20	0,725	10,395	40,650	4,125	4,084

Om de glas- en raamprofieloppervlakte te berekenen werd gebruik gemaakt van een hoogte van het profiel van 10 cm aan de binnenzijde en 9,9 cm aan de buitenzijde. Deze waarden komen overeen met het profiel FIN-Project Classic-line van FINSTRAL<sup>®</sup> waarvan een doorsnede te zien is in Figuur 14.



Figuur 14: Profiel FIN-Project Classic-line van FINSTRAL<sup>®</sup>

De simulatie met behulp van deze gegevens levert de resultaten op in Tabel 15. Hierbij werd het aantal ramen in drie van de vier gevels constant gehouden.

**Tabel 15: Invloed van het aantal rechthoekige ramen in één gevel op het K- en E-peil**

Aantal ramen	K-peil	E-peil	Aantal ramen	K-peil	E-peil
1	52	63	11	54	64
2	52	63	12	54	64
3	52	63	13	54	64
4	52	63	14	54	64
5	52	63	15	54	64
6	53	63	16	55	64
7	53	63	17	55	64
8	53	63	18	55	64
9	53	63	19	55	64
10	53	64	20	55	64

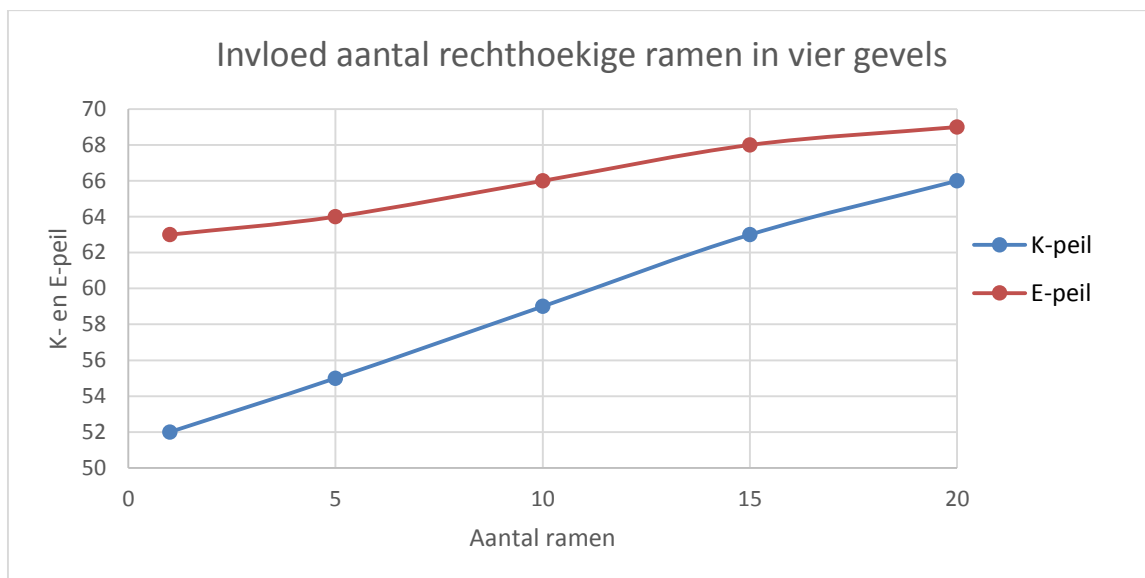
Uit deze tabel kan een zeer belangrijke conclusie getrokken worden; er is een zeer groot verschil merkbaar tussen de vereenvoudigde en niet-vereenvoudigde methode van ingeven. Als alle ramen op de vereenvoudigde manier ingegeven worden bekomt men, zoals reeds aangehaald, een K-peil van 70 en een E-peil van 71. Voor eenzelfde configuratie van het aantal ramen, maar ingegeven op de niet-vereenvoudigde manier, bekomt men een K-peil van 52 en een E-peil van 63. Het is dus zeer belangrijk dat er gecontroleerd wordt of de glasoppervlakte in het raam verschilt van de 70% die standaard gebruikt wordt. Als dit zo is, zoals in deze simulatie, loont het de moeite om de niet-vereenvoudigde manier van ingeven te gebruiken. Zonder verbetering van de constructie bekomt men immers een daling van 18 K-punten en 8 E-punten!

Voorgaande simulatie is voortgekomen door het variëren van het aantal ramen in één gevel. Tabel 16 geeft het resultaat weer indien men het aantal ramen op dezelfde wijze in alle gevels gelijktijdig laat variëren.

**Tabel 16: Invloed van het aantal rechthoekige ramen in vier gevels op het K- en E-peil**

Aantal ramen	K-peil	E-peil
1	52	63
5	55	64
10	59	66
15	63	68
20	66	69

Hetgeen op voorhand verwacht werd, namelijk een verslechtering van beide peilen bij toenemend aantal ramen, blijkt dus ook uit deze tabel. De verklaring hiervoor werd ook reeds aangehaald. Ter informatie geeft Figuur 15 nog het verloop weer van deze tabel, waarin een duidelijk lineair verband zichtbaar is.



**Figuur 15:** Grafische voorstelling van de invloed van het aantal rechthoekige ramen in vier gevels op het K- en E-peil

#### 4.2.6.2 Quasi vierkante ramen

De tweede simulatiereeks maakt gebruik van ramen die zoveel mogelijk de vierkante vorm benaderen. Tabel 17 geeft de gebruikte waardes in deze simulaties weer.

**Tabel 17:** Configuratie van de quasi vierkante ramen zoals ingegeven in de software

Aantal ramen	Lengte (m)	Hoogte (m)	Opp. glas (m <sup>2</sup> )	Lengte afstandshouder (m)	Opp. profiel binnen (m <sup>2</sup> )	Opp. profiel buiten (m <sup>2</sup> )
1	20,000	14,500	283,140	68,200	6,880	6,811
2	20,000	7,250	139,590	53,700	5,430	5,376
4	10,000	7,250	69,090	33,700	3,430	3,396
6	6,667	7,250	45,590	27,033	2,763	2,736
8	5,000	7,250	33,840	23,700	2,430	2,406
9	6,667	4,833	29,962	22,200	2,280	2,257
12	5,000	4,833	22,240	18,867	1,947	1,927
15	4,000	4,833	17,607	16,867	1,747	1,729
16	5,000	3,625	16,440	16,450	1,705	1,688
20	4,000	3,625	13,015	14,450	1,505	1,490

Uiteraard is bij deze simulatiereeks gebruik gemaakt van hetzelfde type profiel als in '4.2.6.1 Rechthoekige ramen'. Tabel 18 geeft de variatie op het K- en E-peil weer, bekomen met de gegevens uit bovenstaande tabel.

**Tabel 18: Invloed van het aantal quasi vierkante ramen op het K- en E-peil**

Aantal ramen	K-peil	E-peil
1	52	63
2	52	63
4	53	63
6	54	64
8	54	64
9	54	64
12	55	64
15	55	64
16	56	64
20	56	65

Ook in deze tabel is duidelijk merkbaar dat zowel het K- als het E-peil stijgt bij toenemend aantal ramen, zoals in Tabel 15 en Tabel 16 ook reeds aangetoond werd. Wat wel zeer opvallend is, is het grote verschil in de stijging. Waar er eerder een stijging van 14 K-punten en 6 E-punten bekomen werd, zien we nu slechts een stijging van 4 K-punten en 2 E-punten. De vorm van de ramen blijkt dus zeer belangrijk te zijn en heeft een grotere invloed dan een stijging in het aantal ramen.

#### **4.2.7 Zonnetoetredingsfactor**

De zonnetoetredingsfactor van beglazing, de zogenoemde g-waarde, is zoals reeds gezegd de verhouding tussen de bezonningsstroom die door de beglazing naar binnen komt en de bezonningsstroom die op de beglazing invalt. Om de invloed van de g-waarde te bestuderen wordt uiteraard op dezelfde manier als voorheen te werk gegaan.

Er is eerst een studie gedaan naar mogelijke g-waardes. De waardes die gebruikt zijn staan hieronder opgelijst. Bovendien is er ook telkens weergegeven welk soort glas overeenkomt met deze g-waarde.

- $g = 0,6$  bij dubbel glas,
- $g = 0,5$  bij driedubbel glas,
- $g = 0,43$  bij zelfreinigend glas,
- $g = 0,32$  bij glas type SOLAR 62/32 van Vertirama<sup>®</sup>,
- $g = 0,26$  bij glas type SOLAR 51/26 van Vertirama<sup>®</sup>,
- $g = 0,17$  bij glas type SprimoLight Solar 25/17<sup>®</sup>.

Het resultaat van het parameteronderzoek naar de g-waarde is te zien in Tabel 19.

**Tabel 19: Invloed van de g-waarde op het K- en E-peil**

Raam- oppervlakte (%)	g-waarde											
	0,17		0,26		0,32		0,43		0,5		0,6	
	K-peil	E-peil	K-peil	E-peil	K-peil	E-peil	K-peil	E-peil	K-peil	E-peil	K-peil	E-peil
0	22	35	22	35	22	35	22	35	22	35	22	35
20	32	42	32	42	32	42	32	43	32	43	32	43
40	41	49	41	50	41	50	41	50	41	51	41	52
60	51	55	51	56	51	57	51	58	51	59	51	61
80	60	63	60	63	60	64	60	66	60	68	60	70
100	70	70	70	70	70	71	70	74	70	76	70	80

Zoals te zien in deze tabel is er voor het K-peil geen verandering merkbaar bij veranderende g-waarde. Het E-peil verandert wel, al bedraagt de verandering slechts enkele punten indien de beste situatie vergeleken wordt met de slechtste situatie. Uiteraard wordt deze verandering groter naarmate de glasoppervlakte toeneemt.

Deze veranderingen zijn volledig conform de verwachtingen. Als de g-waarde stijgt, zal het glas immers meer bezonning doorlaten. Er zal dus meer zon naar binnen komen, waardoor er meer koeling nodig is om de oververhitting te beperken. Een stijgend E-peil is dus het logische gevolg. Het K-peil blijft constant aangezien er door de verandering van de g-waarde geen verandering aangaande de isolatie geïntroduceerd wordt.

#### 4.2.8 Type raamprofiel

Naast de U-waarde van het profiel heeft ook het type raamprofiel een invloed op de EPB-eisen. Met het type raamprofiel wordt het materiaal bedoeld waaruit het profiel is opgebouwd. De U-waarde van het profiel en het type profiel hebben echter met elkaar te maken: de materiaaleigenschappen verschillen uiteraard en bijgevolg ook de warmtedoorlatendheid. Om de invloed van het type profiel te kunnen onderzoeken wordt de U-waarde van het profiel dan ook constant gehouden.

In Tabel 20 is de variatie in K- en E-peil te zien voor verschillende types profielen. Deze simulatie is enkel uitgevoerd bij een raamoppervlakte van 100% aangezien de verschillen niet groot zijn en op deze manier duidelijker te zien zijn. Er is te zien dat er tussen hout en kunststof geen enkel verschil is, en er slechts een verschil van 1 K-punt tussen deze materialen en metaal met thermische onderbreking is, wat ook verwaarloosbaar is.

**Tabel 20: Invloed van het type raamprofiel op het K- en E-peil**

Type raamprofiel	K-peil	E-peil
Hout	69	71
Kunststof	69	71
Metaal met thermische onderbreking	70	71
Metaal zonder thermische onderbreking	65	68



Er is wel een zeer groot verschil tussen de drie voorgaande materialen en metaal zonder thermische onderbreking. Dit was te verwachten, maar het feit dat het K- en E-peil dalen en dus beter worden is op zijn minst vreemd te noemen. De thermische onderbreking zou immers moeten zorgen voor een verbeterd isolatieniveau aangezien metaal over het algemeen niet goed isoleert. De daling van het K- en E-peil ten opzichte van metaal met thermische onderbreking gaat dan ook tegen deze redenering in.

De manier van ingeven in de software kan deze bijzonderheid echter verklaren. Er wordt in het basisbestand voor de bouwknopen standaard gebruik gemaakt van een forfaitaire toeslag. Hierbij worden er 10 K-punten bijgeteld bij het bekomen K-peil om de bouwknopen in rekening te brengen. Het voordeel van het gebruik van metaal met thermische onderbreking is echter het vermijden van koudebruggen. Door het gebruik van de thermische onderbreking zal de U-waarde van het raam stijgen, waardoor de verslechtering in K- en E-peil merkbaar was. Indien er echter rekening gehouden wordt met de koudebruggen, zien we dat het K- en E-peil wel verbeteren.

Om dit te testen zijn de bouwknopen ingerekend met behulp van de methode van de EPB-aanvaarde bouwknopen. Bij deze methode wordt er voor de EPB-aanvaarde bouwknopen 3 K-punten in rekening gebracht en voor de niet-EPB-aanvaarde bouwknopen een variabele K-peil toeslag [15]. Indien men bij het gebruik van metaal zonder thermische onderbreking dus koudebruggen in rekening brengt en bij het gebruik van metaal met thermische onderbreking niet, is er te zien dat het K-peil daalt met 2 punten. Het gebruik van metaal met thermische onderbreking is dus wel degelijk beter dan metaal zonder thermische onderbreking.

#### 4.2.9 Zonnewering

De laatste parameter van de ramen die onderzocht werd naar zijn invloed op de EPB-eisen is de zonnewering. Zonnewering heeft een relatief kleine invloed op het E-peil: indien alle gevels volledig uit ramen bestaan en er overall zonnewering wordt aangebracht, kan het E-peil met twee punten verbeteren. Het K-peil zal zoals verwacht niet veranderen. De redenering hierachter is reeds aangehaald in ‘4.2.7 Zonnetoetredingsfactor’. Het aanbrengen van zonnewering zal immers een vergelijkbare invloed hebben als het verbeteren van de g-waarde van het glas. Bij de berekening van de maandelijkse zonnetoetredingsfactor van venster  $j$  met behulp van formule 14, zoals opgenomen in ‘2.1.5 Oververhitting’ en hieronder nogmaals weergegeven, zijn er duidelijk drie termen te onderscheiden. De term  $a_{c,m} \cdot F_c + (1 - a_{c,m})$  bepaalt de invloed van de zonnewering op de berekening van de maandelijkse zonnetoetredingsfactor.

$$g_{m,j} = 0,9 \cdot (a_{c,m} \cdot F_c + (1 - a_{c,m})) \cdot g_{g,\pm} \quad (14)$$

De waarden voor de maandelijkse gebruiksfactor  $a_{c,m}$  zijn afhankelijk van het type bediening van de zonnewering (handmatig of automatisch), de oriëntatie en de helling van de zonnewering. Deze worden tevens weergegeven in tabellen C1, C2 en C3 in bijlage V van het energiebesluit van 19 november 2010. De reductiefactoren die toegewezen worden volgens deze zelfde bijlage, zijn eveneens afhankelijk van het type zonnewering. Indien men opteert om

waardes bij ontstentenis toe te passen voor deze reductiefactoren gelden de waardes weergeven in Tabel 21 [9].

**Tabel 21: Waardes bij ontstentenis van de reductiefactor van de zonnewering [9]**

Waardes bij ontstentenis	
Type zonnewering	Reductiefactor
Buitenzonnewering	0,50
Ongeventileerde tussenzonnewering	0,60
Binnenzonnewering	0,90
Alle andere gevallen	1,00

### **4.3 Invloed van de verwarming**

Om de invloed van de verschillende verwarmingstypes te onderzoeken wordt op analoge wijze gewerkt met de software 3G. Hierbij worden in het basisbestand de verwarmingstypes en hun parameters aangepast om de invloed ervan te achterhalen, net zoals gedaan werd bij de ramen. De overige parameters blijven hierbij steeds constant. Zoals verwacht zal het K-peil door zijn definitie niet veranderen bij wijzigingen van het verwarmingstype. Dit peil wordt verder dan ook buiten beschouwing gelaten. Er wordt ook steeds gewerkt met slechts één enkel verwarmingssysteem voor het gehele kantoorgebouw.

#### **4.3.1 Elektrische warmtepomp**

In het basisbestand werd oorspronkelijk gekozen voor een elektrische warmtepomp als centraal verwarmingssysteem met water als transportmedium en voor een andere niet-preferente warmtebron. Met dit verwarmingssysteem bekwam men een K- en E-peil van respectievelijk 36 en 46 punten. Om de invloed op een meer eenvoudige wijze te kunnen bespreken, is geopteerd om enkel gebruik te maken van een preferente warmtebron. Na vergelijking met de andere verwarmingstypes bleek de elektrische warmtepomp de meest optimale keuze. Het E-peil verschilt hierdoor dus wel van de eerder genoemde waarde: het E-peil van waaruit vertrokken wordt bedraagt nu 38.

De invloed van de verschillende parameters van dit type worden in de volgende paragrafen besproken.

##### **4.3.1.1 Type transportmedium**

Zoals weergeven in Tabel 22 heeft het gebruikte transportmedium een bepaalde invloed op het E-peil. Door een juiste keuze van dit medium is het mogelijk enkele E-punten winnen. Uit de simulaties is gebleken dat men best voor water als transportmedium voor de elektrische warmtepomp kan opteren.

**Tabel 22: Invloed van het transportmedium van een elektrische warmtepomp op het E-peil**

Transportmedium	E-peil
Water (start)	38
Binnenlucht	41
Enkel buitenlucht	41
Afgevoerde lucht vermengd met buitenlucht	41

#### **4.3.1.2 Type warmtebron**

Op analoge wijze als in '4.3.1.1 Type transportmedium' worden in Tabel 23 de verschillen in E-peil weergegeven ten gevolge van een andere warmtebronkeuze.

**Tabel 23: Invloed van het type warmtebron van een elektrische warmtepomp op het E-peil**

Warmtebron	E-peil
Enkel buitenlucht (start)	38
Bodem (directe verdamping)	38
Enkel afgevoerde ventilatielucht	38
Afgevoerde lucht vermengd met buitenlucht	38
Bodem	43
Grondwater	43
Oppervlaktewater	43

Ook hier blijkt dat bij een juiste keuze van het type warmtebron enkele E-punten gewonnen kunnen worden. Een keuze waarbij energie verbruikt moet worden om warmte uit de bron te onttrekken resulteert in een verhoging van het E-peil. Dit is bijvoorbeeld bij grondwater het geval, waarbij energie nodig is om het water omhoog te pompen.

#### **4.3.1.3 Ontwerpvertrektemperatuur**

De ontwerpvertrektemperatuur van het water in de afgiftekering kan best op voorhand gekend zijn en als dusdanig worden ingevuld in de EPB-software. Indien deze temperatuur niet gekend is en men dus een waarde bij ontstentenis ingeeft, wordt een slechte waarde aangenomen en stijgt het E-peil automatisch met 8 punten, in ons voorbeeld dus naar een E-peil van 46. Door deze relatief grote stijging is merkbaar dat de ontwerpvertrektemperatuur van het verwarmingssysteem een belangrijke invloed heeft op het E-peil.

Er dient aangaande de ontwerpvertrektemperatuur nog een extra opmerking gemaakt te worden. Om een verbetering in E-peil te verkrijgen, dient men best een zo laag mogelijke temperatuur te kiezen. Wanneer de ontwerpvertrektemperatuur bijvoorbeeld verlaagd wordt van 30 °C tot 20 °C is er een daling van het E-peil merkbaar van 38 naar 36 punten. Een verdere daling naar 10 °C introduceert nog een extra daling, namelijk naar een E-peil van 35 punten.

#### 4.3.1.4 Overige parameters

Naast de eerder besproken ontwerpcriteria zijn er nog enkele andere parameters aangaande het type verwarming die invloed hebben op het E-peil. Zo kan het temperatuurverschil tussen vertrek en retour van het afgiftesysteem best zo hoog mogelijk zijn en de temperatuurstoename over de condensor zo laag mogelijk om een beter E-peil te bekomen.

Daarnaast kan men best opteren voor elektrische warmtepompen met een zo hoog mogelijke prestatiecoëfficiënt. Dit betekent dat deze warmtepompen een hoger rendement hebben wat resulteert in meer geleverde warmte per gelijke hoeveelheid verbruikte energie.

#### 4.3.2 Externe warmtelevering

Externe warmtelevering is een zeer goede manier om ruimteverwarming te bekomen. De score van het E-peil hangt hierbij sterk af van het opwekkingsrendement. Als waarde bij ontstentenis wordt een rendement van 97% genomen [16]. Indien dit wordt ingegeven in de software bekomt men voor het basisbestand een E-peil van 47. Hierdoor vormt deze verwarming het tweede beste type dat men kan gebruiken om een laag E-peil te realiseren.

##### 4.3.2.1 Type energiedrager

Om energie op te wekken zijn er verschillende energiedragers mogelijk, maar bepaalde dragers hebben een negatieve invloed op het E-peil. Tabel 24 geeft de invloed per energiedrager weer.

Tabel 24: Invloed van het type energiedrager van externe warmtelevering op het E-peil

Energiedrager	E-peil
Aardgas (start)	47
Butaan	47
Propaan	47
LPG	47
Houtpallets	47
Gasolie	47
Hout	47
Kolen	47
Elektriciteit uit WKK	74
Elektriciteit	97

Zoals uit Tabel 24 blijkt, heeft enkel het gebruik van elektriciteit als energiedrager een sterk negatieve invloed op het E-peil. Dit is te verklaren door het feit dat elektriciteit opgewekt moet worden met behulp van een bepaalde energiedrager (aardgas, kolen, ...). Hierdoor vraagt de opwekking van elektriciteit dus een energiebron die ook rechtstreeks gebruikt kan worden voor het opwekken van de externe warmtelevering. Het E-peil zal dan ook sterk stijgen, wat uiteraard zeer nadelig is. Indien men de elektriciteit met behulp van een warmtekrachtkoppeling (WKK)

opwekt, is het nadeel op het E-peil geringer maar nog steeds zeer groot. Deze twee energiedragers zijn dan ook af te raden. De overige energiedragers hebben geen invloed op het E-peil.

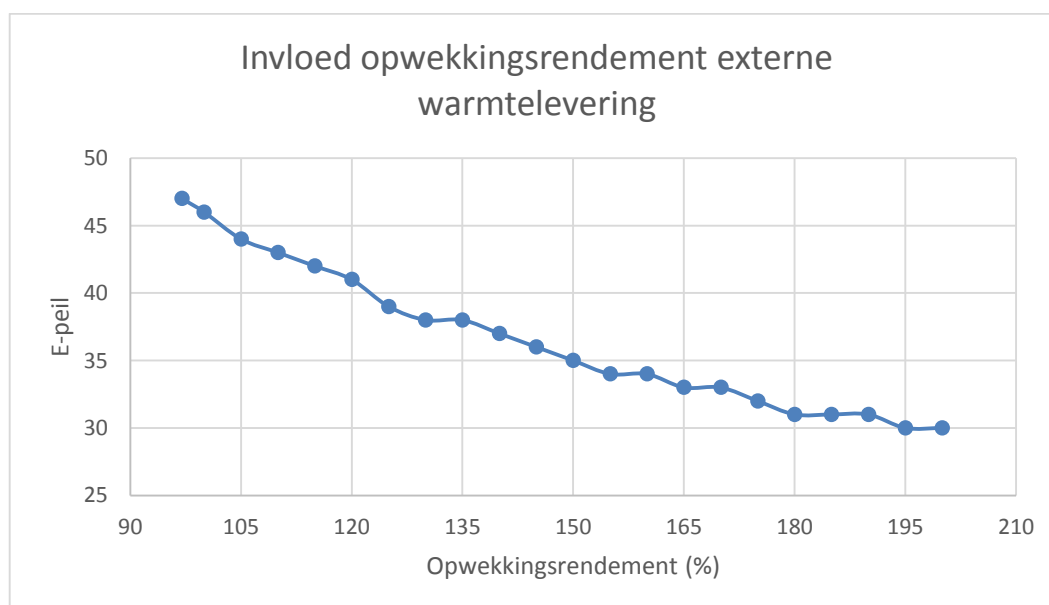
#### 4.3.2.2 Opwekkingsrendement

Zoals reeds vermeld, is het E-peil sterk afhankelijk van het opwekkingsrendement. Daarom is het nodig de invloed van dit rendement op het E-peil te bestuderen. Tabel 25 geeft het verloop van het E-peil in functie van het opwekkingsrendement weer.

**Tabel 25: Invloed van het type opwekkingsrendement van externe warmtelevering op het E-peil**

Rendement (%)	E-peil	Rendement (%)	E-peil
97	47	150	35
100	46	155	34
105	44	160	34
110	43	165	33
115	42	170	33
120	41	175	32
125	39	180	31
130	38	185	31
135	38	190	31
140	37	195	30
145	36	200	30

Figuur 16 stelt deze tabel grafisch voor.



**Figuur 16: Grafische voorstelling van de invloed van het opwekkingsrendement van externe warmtelevering op het E-peil**

Deze grafiek toont dat er geen lineair of parabolisch verband tussen beide parameters bestaat. Wel merken we op dat een verhoging van het opwekkingsrendement resulteert in een

uitgesproken daling van het E-peil. Men kan met andere woorden dus best steeds aangesloten worden op een externe warmteverlening met een hoog rendement om een lager E-peil te bekomen. Met een hoger rendement kan deze oplossing zelfs een beter verwarmingstype vormen dan een elektrische warmtepomp.

### 4.3.3 Condenserende waterketel

Om een zo laag mogelijk E-peil te bekomen is een condenserende waterketel (met gelijkaardig vermogen als de eerder besproken mogelijkheden) de derde beste oplossing. In vergelijking met de oplossing die gebruikt werd in het basisbestand scoort deze oplossing 10 punten slechter (E 48) wanneer men een rendement van 106% heeft en wanneer de condenserende waterketel wordt gevoed door aardgas. Ook dit verwarmingstype wordt gekenmerkt door heel wat parameters die kunnen verschillen per apparaat. De invloed van deze parameters komt in de volgende paragrafen aan bod.

#### 4.3.3.1 Type energiedrager

Bij condenserende waterketels zijn er verschillende soorten energiedragers mogelijk voor het opwekken van de energie. Door het maken van een verstandige keuze van het type energiedrager verbetert het E-peil met maximaal 3 punten. Daarbij moet het economische aspect met het praktische vergeleken worden om tot een geschikte energiedrager te komen. De volgende energiedragers, opgelijst in Tabel 26, zijn mogelijk.

Tabel 26: Invloed van het type energiedrager van een condenserende waterketel op het E-peil

Energiedrager	E-peil
Aardgas (start)	48
Houtpallets	48
Butaan	47
Propaan	47
LPG	47
Hout	46
Gasolie	46
Kolen	45

Zoals bovenstaande grafiek weergeeft, blijkt dat de keuze voor kolen als energiedrager de meest optimale situatie levert. Een verklaring hiervoor kan zijn dat na de ontginning ervan de kolen geen extra manipulatie moeten ondergaan. Aardgas bijvoorbeeld moet vaak eerst een extra zuivering ondergaan waarbij petroleumproducten worden afgescheiden. Deze extra manipulaties kosten enerzijds energie, en anderzijds verminderen ze de hoeveelheid ontgonnen aardgas dat gebruikt kan worden.

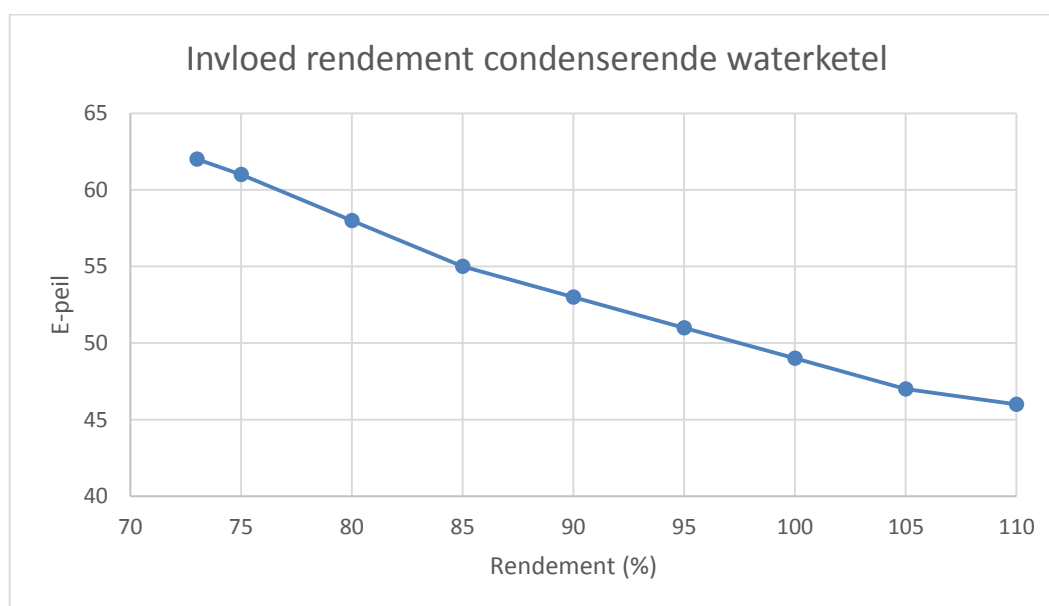
### 4.3.3.2 Rendement

Het rendement van de condenserende waterketel heeft uiteraard ook een invloed op het E-peil. Voor condenserende waterketels kan men een maximaal rendement van 111% ingeven. Deze waarde geeft dan ook het beste E-peil, dat 2 punten voordeliger is dan in het basisbestand. Rendementen lager dan 73% kunnen niet worden ingegeven in de EPB-software. Tabel 27 geeft het verloop van het E-peil naargelang het gekozen rendement weer.

Tabel 27: Invloed van het rendement van een condenserende waterketel op het E-peil

Rendement (%)	E-peil
73	62
75	61
80	58
85	55
90	53
95	51
100	49
105	47
110	46

Figuur 17 is een grafische voorstelling van deze tabel.



Figuur 17: Grafische voorstelling van de invloed van het rendement van een condenserende waterketel op het E-peil

Het verloop van bovenstaande grafiek vertoont een lineair gedrag. Dit betekent dus dat een gelijke toename in rendement een nagenoeg gelijkmatige daling van het E-peil garandeert. Een hoger rendement levert met andere woorden dus een beter E-peil op dan een laag rendement. Dit volgt tevens uit de definitie van het rendement, die ons zegt dat een hoog rendement een hogere nuttige energieopbrengst levert dan een laag rendement, bij eenzelfde hoeveelheid ingebrachte

energie. Dit heeft als gevolg dat waterketels met hogere rendementen energetisch beter zijn, wat resulteert in het geconstateerde lagere E-peil.

#### **4.3.3.3 Overige parameters**

Naast de in bovenstaande paragrafen besproken parameters, zijn er nog enkele opties die een beperkte invloed hebben op het E-peil. Hier gaat hier over wijzigingen die 1 tot 2 punten voordeliger kunnen zijn op het gebied van E-peil.

Zo is het steeds aangeraden om ervoor te zorgen dat het verwarmingstoestel binnen het beschermde volume staat. Indien dit niet het geval is, zal het E-peil met 1 punt stijgen. Daarnaast kan men best ook opteren voor ketels waarbij de temperatuur niet constant gehouden wordt. Dit soort ketels verbruikt namelijk meer energie, wat resulteert in een stijging van het E-peil met 2 punten.

De ketelinlaattemperatuur bij 30% deellasttest wordt standaard in de EPB-software ingevuld op 30 °C. Indien men over een toestel beschikt waarbij deze temperatuur hoger ligt, kan men deze best ingeven. Een hogere temperatuur resulteert namelijk in een lager E-peil. Wanneer men hogere waardes dan deze 30 °C invult, is het steeds nodig deze te staven met behulp van een geldig stavingsstuk. Het omgekeerde geldt voor de ontwerpreturntemperatuur. Deze staat standaard ingevuld als een waarde bij ontstentenis, wat overeenkomt met een waarde van 70 °C. Wanneer men echter beschikt over een toestel met een lagere returntemperatuur, kan men deze best ingeven. Een lagere ontwerpreturntemperatuur resulteert namelijk in een lager E-peil aangezien dit een beter opwekkingsrendement met zich mee brengt [17].

Oppervlakteverwarming is de beste optie voor het afgiftesysteem. Dit is namelijk 2 punten voordeliger dan een afgifte van de warmte met behulp van radiatoren.

#### **4.3.4 Warmeluchtgenerator**

Een warmeluchtgenerator behaalt in het basisbestand een E-peil van 50, gebruikmakende van aardgas als energiedrager en een rendement van 100%. Dit is slechter dan bij de reeds besproken warmtesystemen maar het is zeker niet de nadeligste manier van verwarmen. Ook voor dit type worden de parameters besproken.



#### 4.3.4.1 Type energiedrager

Tabel 28 geeft de verschillende energiedragers en hun invloed op het E-peil weer.

**Tabel 28: Invloed van het type energiedrager van een warmeluchtgenerator op het E-peil**

Energiedrager	E-peil
Aardgas (start)	50
Butaan	49
Propaan	49
LPG	49
Houtpallets	49
Gasolie	48
Hout	48
Kolen	47
Elektriciteit uit WKK	72
Elektriciteit	95

Deze tabel geeft aan dat de invloed van de energiedragers hetzelfde is als bij de condenserende waterketel. Ook valt op dat gebruik maken van elektriciteit (al dan niet uit een WKK) zeer nadelig is voor het E-peil. De reden hiervoor is dezelfde als bij de externe warmteverlening. Daarnaast vergt het veel energie om de warme lucht met behulp van een elektrische weerstand te genereren. Indien de elektriciteit wordt opgewekt met behulp van een WKK is de nadelige invloed beperkter maar nog steeds groot. Dit geeft aan dat men best elektriciteit niet gebruikt als energiedrager bij warmeluchtgeneratoren.

#### 4.3.4.2 Testrendement bij 30% deellast

Voor het testrendement bij 30% deellast wordt dezelfde redenering als bij de condenserende waterketel gevolgd. Deze kan dus best zo hoog mogelijk zijn.

#### 4.3.5 Niet-condenserende waterketel

Met behulp van een niet-condenserende waterketel als verwarmingstype wordt een E-peil van 54 bekomen in het basisbestand. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een niet-condenserende waterketel met een rendement van 90%.

#### 4.3.5.1 Type energiedrager

Bij een niet-condenserende waterketel is de invloed van de energiedrager zo goed als identiek als bij de condenserende waterketel. Bij dit verwarmingstype levert een productie van de energie door middel van houtpallets een verbetering van het E-peil met 1 punt op. De overige

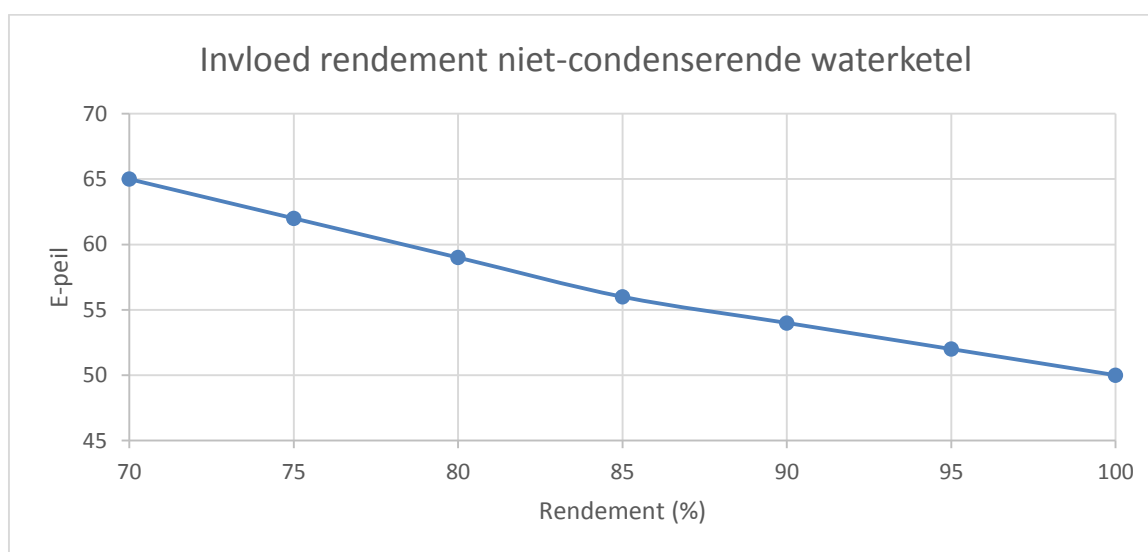
energiedragers leveren dezelfde variatie bij de niet-condenserende als bij de condenserende waterketel.

#### 4.3.5.2 Rendement

Ook bij de niet-condenserende waterketel verloopt de invloed van het rendement op het E-peil om analoge redenen nagenoeg lineair. Dit is weergegeven in Tabel 29 en gevisualiseerd in Figuur 18.

**Tabel 29: Invloed van het rendement van een niet-condenserende waterketel op het E-peil**

Rendement (%)	E-peil
70	65
75	62
80	59
85	56
90	54
95	52
100	50



**Figuur 18: Grafische voorstelling van de invloed van het rendement van een niet-condenserende waterketel op het E-peil**

Hier is het dus ook belangrijk om een zo hoog mogelijk rendement te verkrijgen. Voor niet-condenserende waterketels wordt een maximaal en een minimaal rendement van respectievelijk 100% en 70% voorzien. Zoals blijkt uit Tabel 29 levert een maximaal rendement een verbetering van het E-peil met 4 punten op ten opzichte van het rendement gebruikt in het basisbestand.

### **4.3.5.3 Overige parameters**

Ook bij dit type verwarming kan men enkele punten winnen naargelang een strategische keuze van een aantal andere parameters. Zo daalt het E-peil met 1 punt wanneer het toestel binnen het beschermd volume geplaatst wordt. Ook kan men best de ketel niet op temperatuur houden; indien men dit wel doet verhoogt het E-peil met 2 punten.

### **4.3.6 Elektrische weerstandsverwarming**

Een elektrische weerstandsverwarming is het slechtst scorende verwarmingstype dat gebruikt kan worden in kantoorgebouwen. Het E-peil stijgt bij dit type naar een onaanvaardbaar E-peil van 95. Dit is meer dan een verdubbeling van het E-peil ten opzichte van het meest voordelige type, namelijk de elektrische warmtepomp. Wanneer de elektrische weerstandsverwarming buiten het beschermd volume wordt geplaatst, scoort deze nog eens 2 punten slechter. De reden waarom het E-peil zodanig stijgt, is dat een elektrische weerstandsverwarming enorm veel energie verbruikt. Zeker op grote schaal is dit niet acceptabel. Deze vorm van verwarming wordt dan ook ten stelligste afgeraden.

### **4.3.7 Gebouwgebonden warmtekrachtkoppeling (WKK)**

Het gebruik van een gebouwgebonden WKK betekent niet noodzakelijk een slecht E-peil. Het bekomen E-peil is zeer afhankelijk van het verschil tussen het nominaal en het elektrisch vermogen, wat op zijn beurt weer erg afhankelijk is van het warmtevraagprofiel. Dit is het verloop dat de warmtevraag van de te verwarmen ruimtes beschrijft in functie van de tijd [18]. Wanneer het verschil tussen het nominaal vermogen en het elektrisch vermogen sterk verschilt, levert dit een hoger en dus nadeliger E-peil op. Wanneer het verschil gelijk is aan nul, bekomt men een optimaal E-peil dat net boven het E-peil van een elektrische warmtepomp ligt. Voor het basisbestand zou er hierdoor een E-peil van 39 bekomen worden. In het geval dat het nominaal vermogen groter is dan het elektrisch vermogen, verhoogt het E-peil voor hetzelfde basisbestand. Een verschil tussen beide vermogens met een factor 1,5, waarbij voor alle duidelijkheid het nominaal vermogen groter is dan het elektrisch vermogen, levert een E-peil van 45 op. Indien het elektrisch vermogen een factor 1,5 groter is dan het nominaal vermogen, is het E-peil lager, namelijk 31. Hiermee kunnen we dus bevestigen dat een gebouwgebonden WKK zeer sterk afhankelijk is van het verschil tussen beide vermogens.

## **4.4 Invloed van de koeling**

Ook een juiste keuze van de koeling van het kantoorgebouw kan enkele E-punten uitsparen. Zo voorziet men best een koelvloeistof als koeltransportmedium in plaats van water of lucht. Indien dit niet voorzien kan worden is water de beste vervanger als transportmedium. Verschillende types opwekkers zijn ook mogelijk. Deze opwekkers worden in de volgende paragrafen besproken, waarbij de meest energiezuinige oplossing als eerste en de minst energiezuinige als laatste aan bod komt.

#### 4.4.1 Geo-cooling (open-systeem)

*Geo-cooling* levert het meest voordelige E-peil op wanneer men gebruik maakt van een koelinstallatie. Indien dit type opwekker in het basisbestand wordt ingegeven, levert dit een E-peil van 43 op. Verder in deze paragraaf zal aangetoond worden dat dit het laagste E-peil is wanneer de overige parameters constant blijven.

Het voordeel van dit systeem is dat het weinig energie vraagt. Er is enkel energie nodig voor de circulatie van het transportmedium en niet voor de koeling zelf. Bij *geo-cooling* wordt het koeltransportmedium op kamertemperatuur naar een bepaalde diepte in de aarde gebracht. Door de lagere temperatuur op diepte, zal de warmte van het koeltransportmedium afnemen en bijgevolg afkoelen. Dit medium op lagere temperatuur wordt dan op zijn beurt weer naar de te koelen ruimtes gebracht waar er op deze manier warmte onttrokken zal worden uit de ruimte.

#### 4.4.2 Compressiekoelmachine

Er bestaan verschillende soorten compressiekoelmachines. Deze types worden in volgorde van energie-voordeligheid opgesomd:

- multi-split systeem met variabel koelmiddeldebiet (VRF) (E47<sup>1</sup>),
- warmtepomp lucht/water, of luchtgekoelde koelgroep voor koelwater met of zonder condensor (E48<sup>1</sup>),
- luchtgekoelde klimaatregelaar, of luchtgekoeld multi-split systeem (E48<sup>1</sup>),
- watergekoelde klimaatregelaar, of watergekoeld multi-split systeem (E50<sup>1</sup>),
- warmtepomp (geglycoleerd)water/water, of watergekoelde koelgroep voor koelwater (E50<sup>1</sup>).

Indien men een compressiekoelmachine voorziet, kan men best steeds een zo groot mogelijk koelvermogen met eventuele *free-chilling* voorzien.

#### 4.4.3 Thermisch aangedreven koelmachine

De thermisch aangedreven koelmachine is het meest nadelig voor het E-peil. Indien dit type koeling voorzien wordt van een directe verwarming van de absorptiekoelmachine, stijgt het E-peil naar 53. Bij de keuze voor een indirecte verwarming stijgt het E-peil met maar liefst 11 punten (E64). Hieruit blijkt dat er dus best steeds geopteerd kan worden voor een directe verwarming van de absorptiekoelmachine. Ook zal het type energiedrager een bijdrage leveren bij de bepaling van het E-peil. De invloed van deze energiedragers wordt weergegeven in Tabel 30.

---

<sup>1</sup> Waardes volgens het basisbestand, waarbij de overige parameters constant gehouden blijven

**Tabel 30: Invloed van het type energiedrager van een thermisch aangedreven koelmachine op het E-peil**

Energiedrager	E-peil
Aardgas (start)	53
Butaan	53
Propaan	53
LPG	53
Houtpallets	53
Gasolie	53
Hout	53
Kolen	53
Elektriciteit uit WKK	59
Elektriciteit	64

Als men elektriciteit als energiedrager gebruikt, zal dit een zwaar negatieve invloed hebben op het E-peil. Dit kan deels beperkt worden door de elektriciteit op te wekken met een WKK. De reden van deze verhoging werd bij verwarming reeds besproken.

Indien men voor een indirecte type van verwarming van de absorptiekoelmachine kiest, levert dit een verhoging van het E-peil met 11 punten op.

#### **4.5 Invloed van de verlichting**

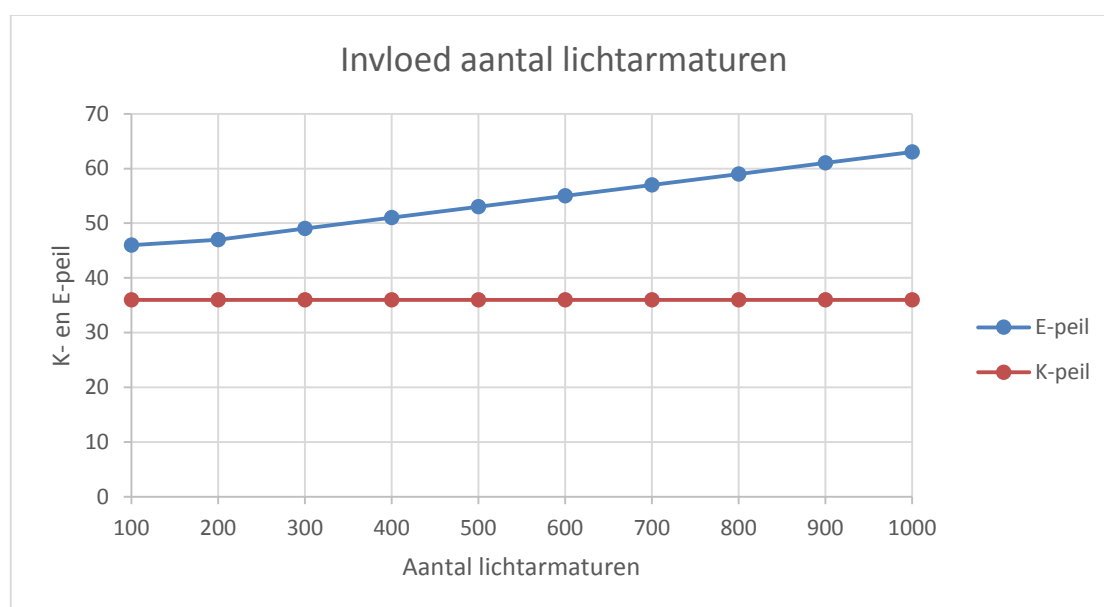
Verlichting is een zeer belangrijke parameter in kantoorgebouwen. Door de grote hoeveelheden verlichting zal dit zeker een invloed hebben op het E-peil. Deze invloed wordt in de volgende paragrafen besproken.

##### **4.5.1 Aantal lichtarmaturen**

Om de invloed van het aantal armaturen te onderzoeken, wordt gestart met een vast aantal armaturen per verdieping, namelijk 100. Vervolgens wordt dit aantal procentueel opgevoerd en de verandering in het energiepeil gemeten, zoals weergegeven in Tabel 31 en Figuur 19. Hierbij wordt ervoor geopteerd het aantal lichtarmaturen per verdieping gelijk te houden. Het vermogen werd bij deze simulatie constant gehouden met een waarde van 39 W per lichtarmatuur.

**Tabel 31: Invloed van het aantal lichtarmaturen op het K- en E-peil**

Aantal lichtarmaturen	E-peil	K-peil
100	46	36
200	47	36
300	49	36
400	51	36
500	53	36
600	55	36
700	57	36
800	59	36
900	61	36
1000	63	36



**Figuur 19: Grafische voorstelling van de invloed van het aantal lichtarmaturen op het K- en E-peil**

Zoals weergegeven in Tabel 31 en Figuur 19 veroorzaakt een stijging van het aantal lichtarmaturen een lineaire stijging van het E-peil. Het K-peil blijft zoals verwacht constant aangezien dit enkel beïnvloedt wordt door de graad van isolatie. Er kan echter gesteld worden dat in kantoorgebouwen niet op elke verdieping hetzelfde aantal lichtarmaturen hangen. Daarom wordt met behulp van de software 3G een simulatie gedaan waarbij per verdieping het aantal lichtarmaturen verandert. Hieruit blijkt dat bij een andere verdeling van het aantal lichtarmaturen per verdieping, waarbij de verdiepingen dezelfde oppervlakte hebben, het E-peil een waarde benadert die overeenkomt met het gemiddelde van het totaal aantal lichtarmaturen, genomen per verdieping. Hoe groter de spreiding van het aantal lichtarmaturen per verdieping, hoe groter de afwijking op het bovenstaande waargenomen wordt. Dit wordt verduidelijkt door Tabel 32, waar enkele onderzoeksresultaten in worden weergegeven.

**Tabel 32: Invloed van de spreiding van het aantal lichtarmaturen op het E-peil**

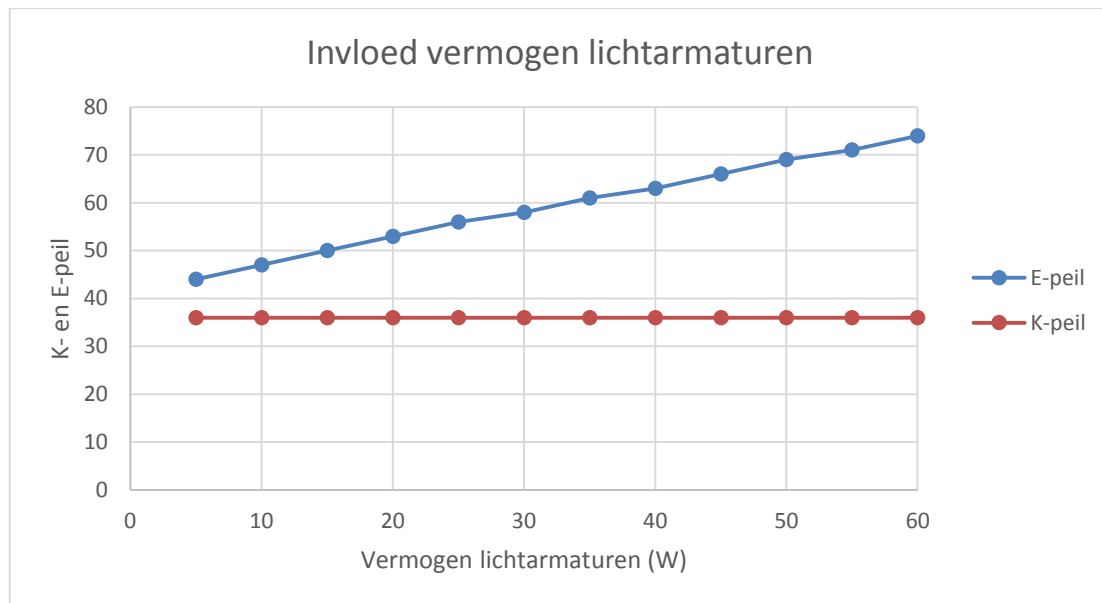
Aantal lichtarmaturen					
Verdieping 1	Verdieping 2	Verdieping 3	Som	Gemiddeld	E-peil
50	150	400	600	200	48
400	1000	400	1800	600	55
200	700	900	1800	600	55
1000	600	200	1800	600	55
500	400	300	1200	400	52
600	599	1	1200	400	52
1000	100	100	1200	400	53
1198	1	1	1200	400	59

#### 4.5.2 Vermogen per lichtarmatuur

Natuurlijk heeft het vermogen van de lichtarmaturen ook een bepaalde invloed op het energiepeil van een gebouw. Hogere wattages brengen uiteraard een hoger energieverbruik met zich mee, evenals meer warmte. Wordt het aantal lichtarmaturen per verdieping constant gehouden op 100, dan bestaat er een lineair verband tussen het vermogen van deze lichtarmaturen en het E-peil van het gebouw. Hierbij wordt ook de lichtstroom van de lampen constant gehouden op een eenheidswaarde van 100 lm. Tabel 33 en Figuur 20 geven dit verband weer.

**Tabel 33: Invloed van het vermogen van de lichtarmaturen op het K- en E-peil**

Vermogen (W)	E-peil	K-peil
5	44	36
10	47	36
15	50	36
20	53	36
25	56	36
30	58	36
35	61	36
40	63	36
45	66	36
50	69	36
55	71	36
60	74	36



**Figuur 20: Grafische voorstelling van de invloed van het vermogen van de lichtarmaturen op het K- en E-peil**

Hieruit blijkt dat een hoger vermogen van de lichtarmaturen een negatieve invloed heeft op het E-peil. Dit is een zeer belangrijk aspect bij kantoorgebouwen omdat het aantal lichtarmaturen zeer hoog kan oplopen om een ideale werkomgeving te creëren. Bij het ontwerp van het gebouw moet met dit aspect dus zeker rekening gehouden worden. Hogere wattages eisen enerzijds meer energieverbruik maar veroorzaken, zoals gezegd, ook een grotere hoeveelheid warmte. Bij grote hoeveelheden armaturen leidt dit tot een verhoogd risico op oververhitting, wat voor kantoorgebouwen mee bepalend is voor de eis in verband met het E-peil.

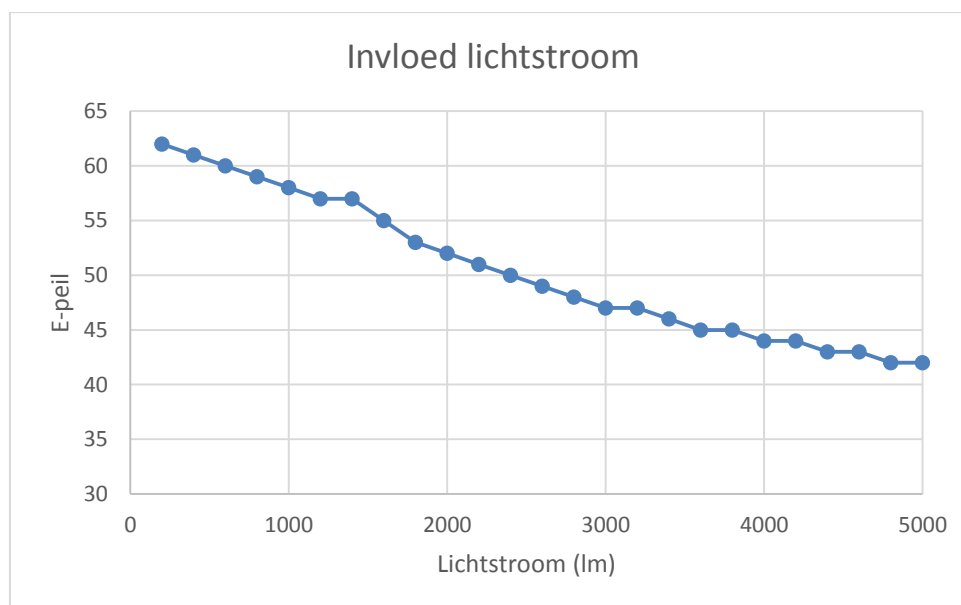
### 4.5.3 Lichtstroom

Om een energetisch zuinige verlichting te bekommen, kan men best opteren voor verlichting waarbij een hoge lichtstroom wordt gecreëerd bij een laag wattage. Deze conclusie kan getrokken worden op basis van Tabel 34 en Figuur 21. We zien hierin namelijk een lineair verband tussen de lichtstroom en het E-peil, wanneer het vermogen van de armaturen constant wordt gehouden.



**Tabel 34: Invloed van de lichtstroom op het E-peil**

Lichtstroom (lm)	E-peil	Lichtstroom (lm)	E-peil
100	63	2200	51
200	62	2400	50
300	62	2600	49
400	61	2800	48
500	60	3000	47
600	60	3200	47
700	60	3400	46
800	59	3600	45
900	59	3800	45
1000	58	4000	44
1200	57	4200	44
1400	57	4400	43
1600	55	4600	43
1800	53	4800	42
2000	52	5000	42



**Figuur 21: Grafische voorstelling van de invloed van de lichtstroom op het E-peil**

#### 4.6 Invloed van de inertie

Het invullen van de inertie van het gebouw is een eenvoudige manier om het E-peil gevoelig te verbeteren. De waarde die bij ontstentenis is ingegeven is de meest nadelige situatie voor het E-peil. In het gebruikte basisbestand levert dit een E-peil van 46 op. Indien deze waarde op basis van een vereenvoudigde of gedetailleerde berekening wordt ingevuld, kan men het E-peil laten dalen.

Bij een vereenvoudigde berekening wordt gevraagd welke minimum massa de plafond- en vloerconstructie heeft. Zwaarder geconstrueerde gebouwen (dat wil zeggen: plafond- en vloerconstructie met een minimum massa van meer dan 400 kg/m<sup>2</sup>) scoren een stuk beter op het gebied van het E-peil dan lichte constructies (minder dan 100 kg/m<sup>2</sup>). Het basisbestand levert respectievelijk een E-peil van 42 en 46 op voor zware en lichte constructies. Tussen beide situaties in levert dit een E-peil op van 43. Het loont dus zeker om een zwaardere constructie te ontwerpen. Dit verschil kan verklaard worden door het feit dat zware constructies een bepaalde thermische capaciteit hebben. Deze constructies kunnen de warmte dus opnemen in warme dagen waardoor deze warmte aan de ruimte wordt onttrokken. Hierdoor wordt er ook langer een kouder gevoel gecreëerd. In koude dagen blijven deze zware constructies langer warm waardoor een warmer gevoel gecreëerd wordt. Ook een combinatie tussen zwaardere en lichtere constructiedelen levert een aanzienlijke verbetering van het E-peil op.

#### 4.7 Invloed van de hygiënische ventilatie

Om een gezonde en comfortabele leefomgeving te garanderen bestaat er een eis op het gebied van hygiënische ventilatie, meer bepaald een eis voor het minimum ventilatiedebiet. Voor niet-residentiële gebouwen is dit geëiste minimum ontwerpdebiet afhankelijk van 2 factoren, namelijk de gebruiksoppervlakte en de ontwerpbezetting van het gebouw. Deze 2 factoren zijn afhankelijk van elkaar aangezien de gebruiksoppervlakte bepalend is voor de maximale bezetting van het kantoorgebouw. Tabel 1 in bijlage X van het Energiebesluit van 19 november 2010 toont de minimale hoeveelheid vloeroppervlakte per persoon die nodig is voor de bepaling van de ontwerpbezetting. Voor ruimtes voor menselijke bezetting in kantoorgebouwen met als functie “kantoor” geldt een minimale vloeroppervlakte van 15 m<sup>2</sup>/persoon. Andere functies, die in hetzelfde kantoorgebouw kunnen voorkomen, hebben afwijkende waarden [19].

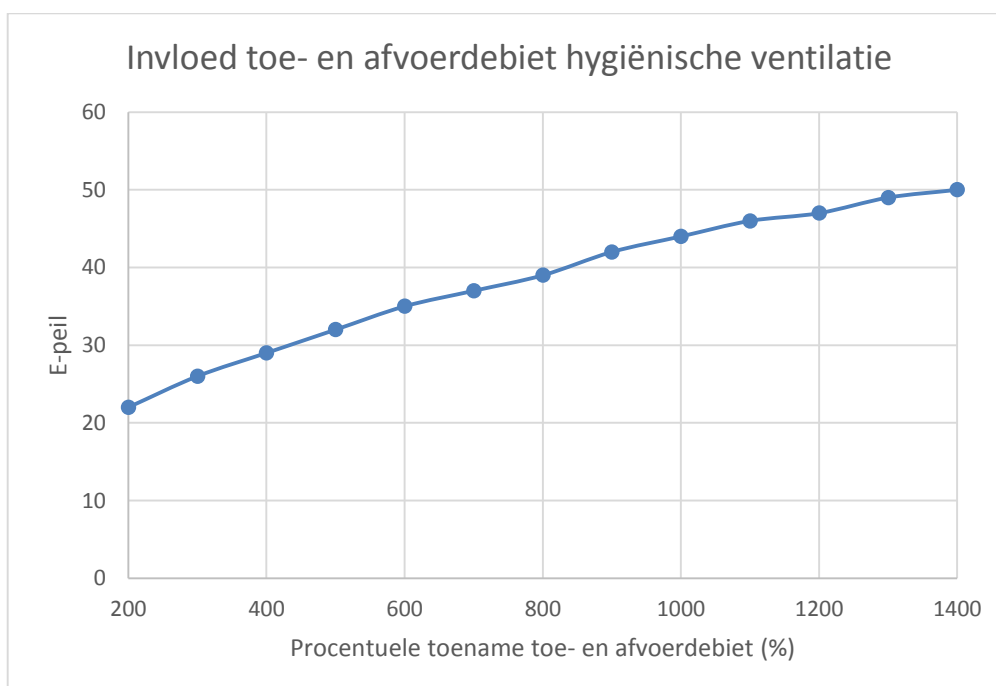
Vervolgens wordt per luchtkwaliteitsklasse een minimum ontwerpdebiet per persoon opgelegd. Aangezien kantoorgebouwen behoren tot luchtkwaliteit ETA1, of indien roken is toegestaan ETA2, moet in elke ruimte bestemd voor menselijke bezetting een minimum ontwerpdebiet van 22 m<sup>3</sup>/h.persoon, of 43 m<sup>3</sup>/h.persoon indien roken is toegestaan, voorzien worden. Dit minimum toevoerdebiet moet steeds uit verse buitenlucht bestaan. De afvoer ervan mag gebeuren door middel van doorvoer naar andere ruimtes [19], [20].

Zoals vermeld in ‘3 Opbouw basisbestand in de EPB-software’ voorziet het basisbestand drie verdiepingen met elk een gebruiksoppervlakte van 360 m<sup>2</sup>. Het minimum ontwerpdebiet van de ventilatie bedraagt vervolgens per verdieping  $\frac{360m^2}{15\frac{m^2}{persoon}} \cdot 22\frac{m^3}{h.persoon} = 528\frac{m^3}{h}$ . Dit ontwerpdebiet is berekend vanuit het standpunt dat er niet gerookt mag worden in het gebouw.

Het gelijkstellen van het toe- en afvoerdebiet aan dit minimum ontwerpdebiet levert het meest optimale E-peil op, namelijk E19. Hogere toe- en afvoerdebieten zijn steeds toegelaten maar dit zal resulteren in een verhoging van het E-peil. Tabel 35 en Figuur 29 tonen de stijging van het E-peil ten gevolg van een gelijke, procentuele toename van de debieten. Deze procentuele toename vertrekt steeds van het berekende minimum ontwerpdebiet.

**Tabel 35: Invloed van het toe- en afvoerdebiet van de hygiënische ventilatie op het E-peil**

Toe- en afvoerdebiet (m <sup>3</sup> /h)	Procentuele toename (%)	E-peil
528	100	19
1056	200	22
1584	300	26
2112	400	29
2640	500	32
3168	600	35
3696	700	37
4224	800	39
4752	900	42
5280	1000	44
5808	1100	46
6336	1200	47
6864	1300	49
7392	1400	50



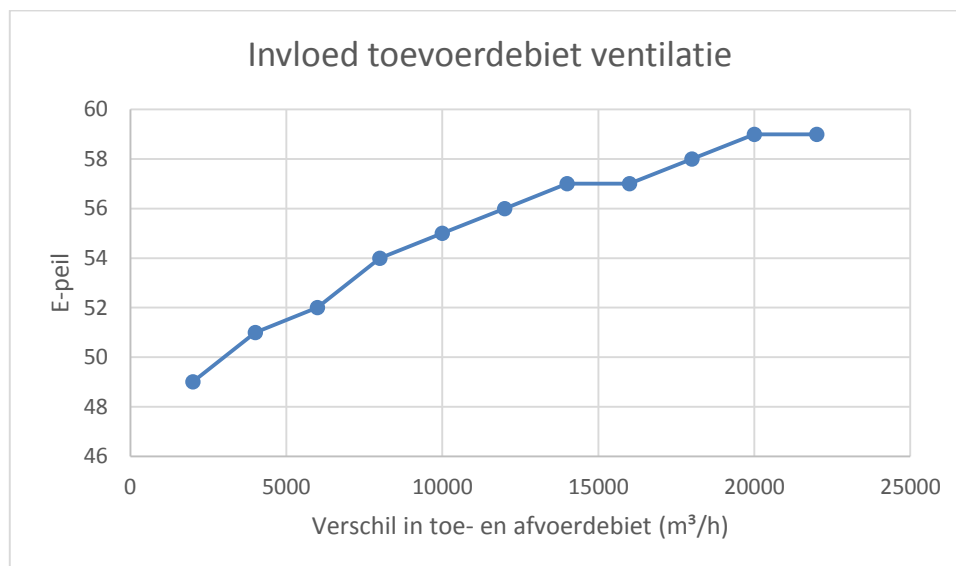
**Figuur 22: Grafische voorstelling van de invloed van het toe- en afvoerdebiet van de hygiënische ventilatie op het E-peil**

Indien dieper op deze resultaten wordt ingegaan, kan geconstateerd worden dat enkel het toevoerdebiet invloed heeft op het E-peil. Simulaties met een procentuele toename van het afvoerdebiet, waarbij het toevoerdebiet gelijk wordt gehouden, levert een constant E-peil. Indien het toevoerdebiet varieert terwijl het afvoerdebiet constant blijft, bekomt men identieke resultaten als in bovenstaande tabel en figuur. Dit is te verklaren door het feit dat de toegevoerde lucht op de juiste temperatuur wordt gebracht, waarvoor uiteraard energie nodig is. Het E-peil zal dus slechter worden.

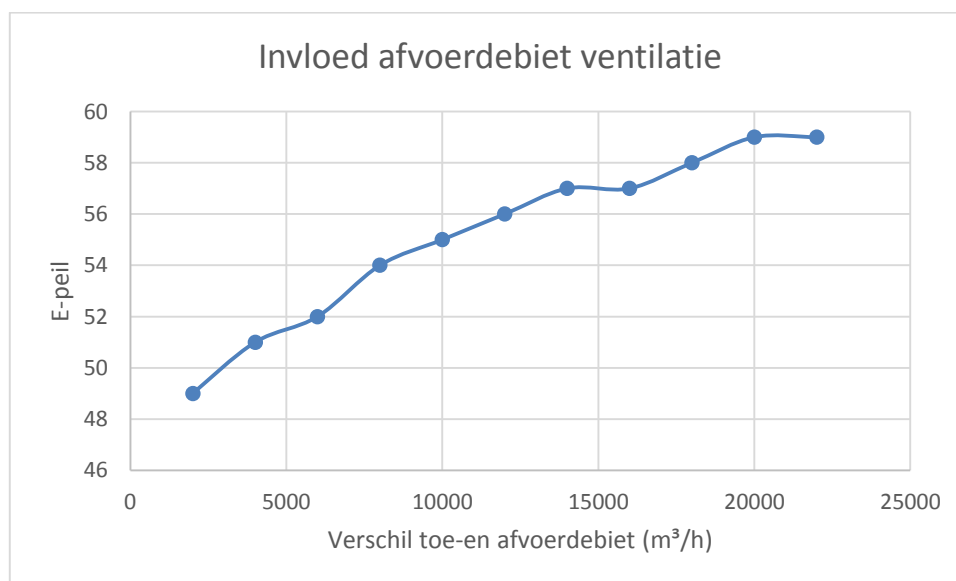
## 4.8 Invloed van de ventilatie

In het tabblad “Ventilatie” in de 3G software worden de ventilatievoorzieningen ingegeven. Deze systemen bepalen de ventilatiedebieten die in het tabblad “hygiënische ventilatie” bepaald werden.

De ventilatie heeft logischerwijs ook een invloed op het E-peil. Ook hierbij bestaan er meerdere parameters die een grote invloed hebben. In tegenstelling tot de verwachtingen zal bij een hoger ventilatiedebiet het E-peil niet veranderen, zolang het toe- en afvoerdebiet gelijk blijven. Het ingeven van een verschil in toe- en afvoerdebiet zal het E-peil in sterke mate doen stijgen. Dit is te zien in Figuur 23 en Figuur 24 waarbij eerst het afvoerdebiet varieert ten opzichte van een constant toevoerdebiet en vervolgens het toevoerdebiet ten opzichte van een constant afvoerdebiet. Het constant gehouden ontwerpdebiet werd steeds op 18.000 m<sup>3</sup>/h gehouden terwijl het verschil met het ander ontwerpdebiet werd uitgezet in de grafieken.



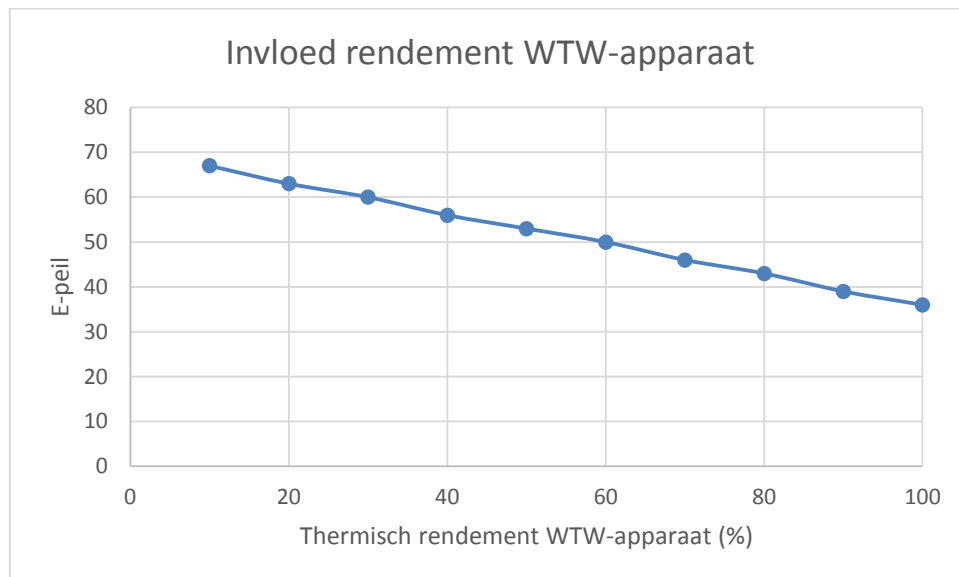
**Figuur 23:** Grafische voorstelling van de invloed van het toevoerdebiet van ventilatie op het E-peil



**Figuur 24:** Grafische voorstelling van de invloed van het afvoerdebiet van ventilatie op het E-peil

Deze fluctuaties in het E-peil zijn te verklaren door het gebruik van een warmteterugwinapparaat. Indien het afvoerdebiet groter is dan het toevoerdebiet, wordt er een overmatige hoeveelheid warmte onbenut en naar buiten gevoerd. Het E-peil zal hierdoor uiteraard stijgen. Ook indien het afvoerdebiet lager is dan het toevoerdebiet, geldt een gelijkaardige redenering. De grotere hoeveelheid toegevoerde lucht kan door de geringere hoeveelheid afgevoerde lucht niet genoeg verwarmd worden waardoor extra verwarmingsenergie verbruikt wordt.

Naast de toe- en afvoerdebieten van de ventilatie speelt de aanwezigheid en het rendement van het warmteterugwinapparaat een belangrijke rol bij de bepaling van het E-peil. Hoe groter dit rendement is, hoe meer warmte er gerecupereerd wordt uit de afgevoerde lucht en overgedragen wordt naar de toegevoerde lucht. Hierdoor zal de energie nodig voor het verwarmen van de ruimtes kleiner worden, wat bevorderlijk is voor het E-peil. Dit wordt duidelijk weergegeven in de relatie tussen het rendement en het E-peil, zoals te zien is in Figuur 25.



**Figuur 25:** Grafische voorstelling van de invloed van het rendement van een warmteterugwinapparaat op het E-peil

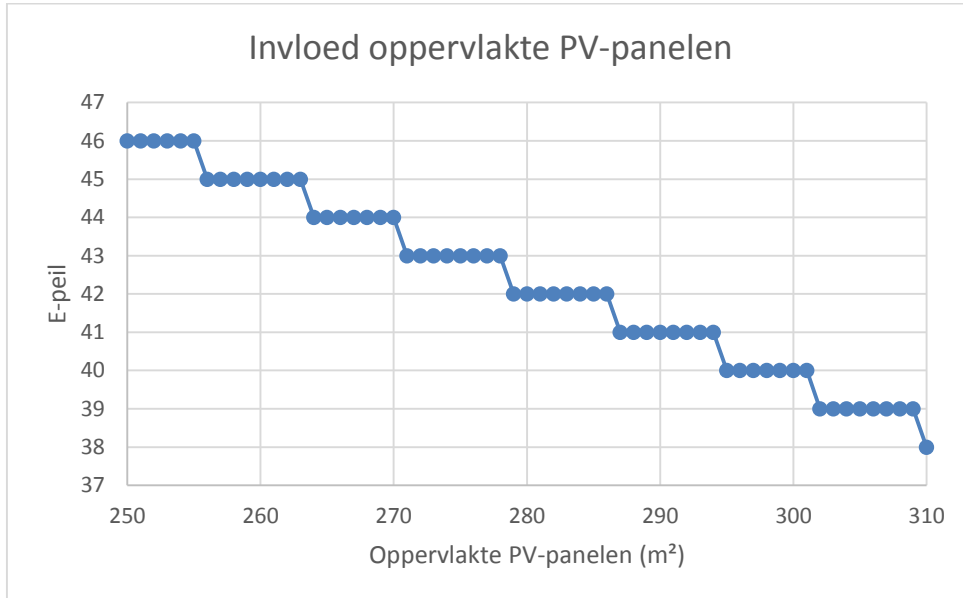
#### 4.9 Invloed van het fotovoltaïsch systeem

Volgens de huidige regelgeving moet er een minimale hoeveelheid hernieuwbare energie aanwezig zijn in het ontwerp. Dit kan onder andere gerealiseerd worden door gebruik te maken van PV-panelen. Indien deze panelen aanwezig zijn zal men onmiddellijk aan de eis voor hernieuwbare energie voldoen. Deze PV-panelen kan men best onder de optimale hoek van 32° plaatsen<sup>2</sup>. Deze optimale hoek kan een verlaging van het E-peil met 1 punt veroorzaken.

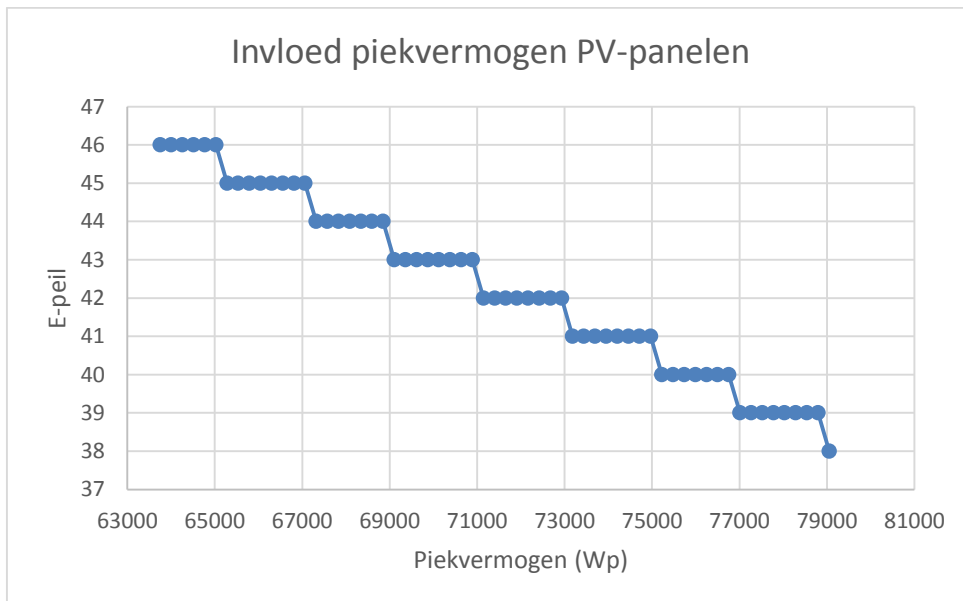
In het basisbestand zijn we gestart met 250 m<sup>2</sup> PV-panelen, met een piekvermogen van 63.750 Wp. Dit komt overeen met een piekvermogen van 255 Wp/m<sup>2</sup>. Het oppervlak PV-panelen kan worden ingevoerd in de software maar heeft geen betekenis in de berekening: de

<sup>2</sup> Hoek tussen de verticaal en de normaal naar buiten uit het paneel

invloed van de hoeveelheid PV-panelen wordt immers verwerkt in het piekvermogen. Om de invloed van het aantal PV-panelen aan te tonen, wordt het piekvermogen verhoogd met 255 Wp, wat dus overeenkomt met een stijging van 1 m<sup>2</sup>. Figuur 26 en Figuur 27 geven de resultaten hiervan weer.

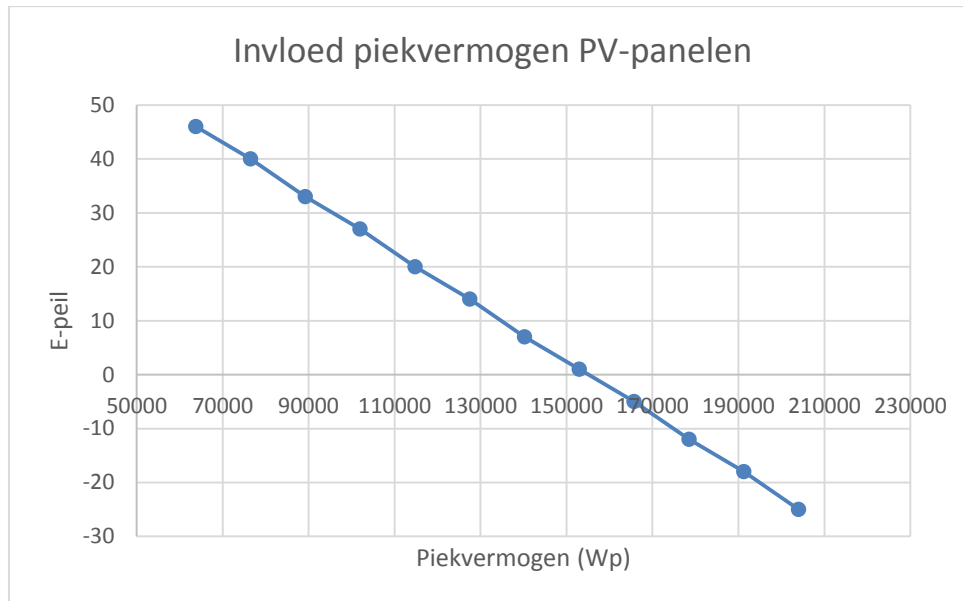


**Figuur 26:** Grafische voorstelling van de invloed van de oppervlakte van de PV-panelen op het E-peil



**Figuur 27:** Grafische voorstelling van de invloed van het piekvermogen van de PV-panelen op het E-peil, in stappen van 1 m<sup>2</sup>

In beide grafieken daalt het E-peil trapsgewijs bij een toenemende hoeveelheid PV-panelen of toenemend piekvermogen. In Figuur 26 merkt men dat per 6 à 8 m<sup>2</sup> het E-peil met 1 punt daalt. Aangezien in Figuur 27 geen stagnerend verloop wordt waargenomen, werd dit verloop ook op grotere schaal toegepast. Dit is weergegeven in Figuur 28, waar het oppervlak van de PV-panelen in stappen van 50 m<sup>2</sup> (12.750 Wp) toeneemt.



**Figuur 28: Grafische voorstelling van de invloed van het piekvermogen van de PV-panelen op het E-peil, in stappen van 50 m<sup>2</sup>**

Figuur 28 toont dat er geen limiet lijkt te zijn op de daling van het E-peil ten gevolge van een toename van het piekvermogen. Het is volgens de software zelfs mogelijk negatieve waarden voor het E-peil te bekomen. Dit is fysisch niet mogelijk maar is wel een opmerkelijke vaststelling. Dit betekent namelijk dat men steeds aan de eis van het E-peil kan voldoen, zolang men voldoende PV-panelen plaatst. De plaats van deze PV-panelen (gebouw- of perceelsgebonden) heeft hierbij geen belang. Dit betekent dus dat bijvoorbeeld het plaatsen van PV-panelen in de tuin kan zorgen voor een verlaging van het E-peil.





## 5 Oververhitting

Ondanks het feit dat er in het Vlaamse Gewest geen specifieke eisen gelden voor het risico op oververhitting bij kantoorgebouwen, is het toch noodzakelijk dit risico te bestuderen. Zeker bij risicogevalen als gebouwen met een grote hoeveelheid glas in de gevel is het risico op oververhitting niet ondenkbaar. Om niet toelaatbare situaties te vermijden inzake het comfort van de gebruiker moet dit risico dus meegenomen worden in het ontwerp.

Aangezien het onmogelijk is om voor kantoorgebouwen de oververhitting met behulp van getallen weer te geven, wordt gebruik gemaakt van een EPB-bestand van een woongebouw. Voor woongebouwen wordt in tegenstelling tot voor kantoorgebouwen wel een eis voor het risico op oververhitting opgelegd. Deze bedraagt een maximale waarde van 6500 K.h.

Warmtewinsten ten gevolge van de bezonning van het gebouw zijn een van de belangrijkste warmtewinsten die het risico op oververhitting verhogen. Om deze warmtewinsten te bestuderen, worden de verschillende parameters die hiertoe bijdragen, en dus ook tot een wijziging van dit risico op oververhitting, opgesomd en wordt hun invloed hierbij bestudeerd. Een belangrijke parameter die een grote bijdrage levert op het risico op oververhitting is de raamoppervlakte. Verwacht wordt dat een grotere hoeveelheid beglazing een groter risico op oververhitting met zich meebrengt. Ook de oriëntatie van de vensters zal het risico op oververhitting bepalen. Doordat de zon het langst en het hevigst schijnt uit zuidelijke richting, vermoeden we dat de aanwezigheid van grote glaspartijen in de zuidgevels een groot risico met zich meebrengt. De g-waarde van de beglazing zal door zijn definitie een invloed hebben op eventuele oververhitting van het kantoorgebouw. De aanwezigheid van thermisch verbeterde afstandshouders, een coating en het type raamprofiel zullen mogelijk ook een bepaalde invloed op deze eis hebben.

Er moet verder ook zeker stilgestaan worden bij het feit dat deze resultaten bekomen zijn door middel van simulaties in een woongebouw. Kantoorgebouwen zullen vaak groter zijn in volume waardoor de grootte van de gevels ook zal toenemen. Hoe groter de oppervlaktes, hoe hoger het risico op oververhitting zal zijn bij de overeenkomstige percentages ramen. Ook geldt dat deze resultaten louter worden gegeven om aan te tonen wat de invloed is van deze parameters. In werkelijkheid zijn komende waardes voor de oververhitting niet aanvaardbaar!

### 5.1 Oppervlakte en oriëntatie van de ramen

Om de invloed van de oppervlakte en oriëntatie van de ramen te bestuderen, wordt op analoge wijze als in paragraaf '4.2.1 Oppervlakte' gewerkt. Hierbij varieert de hoeveelheid glasoppervlakte terwijl de overige parameters constant gehouden worden. Op deze manier kan achteraf bepaald worden of er een wijziging van het risico op oververhitting is en in welke mate deze wijziging zal optreden.

Als vertrekpunt wordt er in het basisbestand van een woning in Vlaanderen uitgegaan van een 20% raam per gevel, in plaats van 30% zoals in het basisbestand van het kantoorgebouw. Dit

wordt gedaan om een EPB-bestand te bekomen dat voldoet aan de verschillende eisen. Dit geeft, mede door de keuze van de overige parameters, de startwaardes weergeven in Tabel 36.

**Tabel 36: Startwaardes van de oppervlakte en oriëntatie van de ramen**

	K-peil	E-peil	NE (kWh/m <sup>2</sup> )	Oververhitting (K.h)
Startwaarde	34	54	66	3667,54

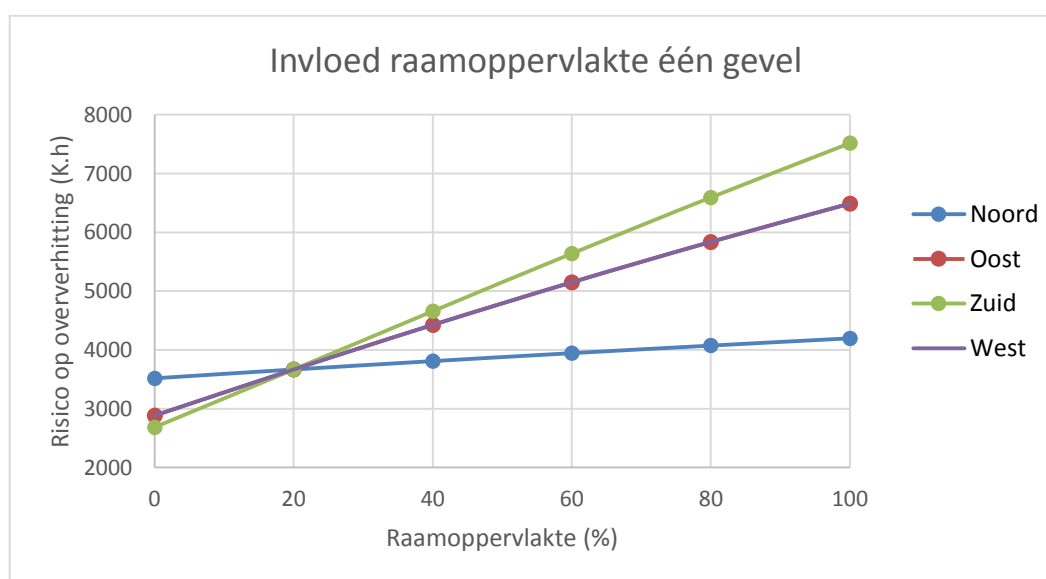
### 5.1.1 Oppervlakteverandering: één gevel

Allereerst wordt de invloed van een variatie van de glasoppervlakte in de verschillende gevels afzonderlijk onderzocht. Hierbij wordt per gevel de raamoppervlakte procentueel opgevoerd en worden de waardes die het risico op oververhitting karakteriseren met elkaar vergeleken. Merk op dat de overige gevels een procentuele raamoppervlakte van 20% behouden. Tabel 37 geeft het resultaat van deze variatie weer.

**Tabel 37: Invloed van de raamoppervlakte in één gevel op de oververhitting**

Raamoppervlakte (%)	Oververhitting (K.h)			
	Noorden	Oosten	Zuiden	Westen
0	3517,70	2884,08	2685,53	2884,08
20	3667,54	3667,54	3667,54	3667,54
40	3809,65	4425,49	4658,7	4425,49
60	3944,86	5149,68	5638,30	5149,68
80	4073,93	5837,36	6593,04	5837,36
100	4197,52	6488,42	7515,05	6488,42

Figuur 29 geeft de relatie weer tussen de variatie van de glasoppervlaktes en het risico op oververhitting.



**Figuur 29: Grafische voorstelling van de invloed van de raamoppervlakte in één gevel op de oververhitting**

Uit deze figuur blijkt dat er een nagenoeg lineair verband bestaat tussen de raamoppervlakte en het risico op oververhitting. Dit is ook hetgeen verwacht werd aangezien grote hoeveelheden glas leiden tot een opwarming van het gebouw. Dit fenomeen wordt het serre-effect genoemd. Hierbij zal het invallende zonlicht geabsorbeerd worden door allerlei voorwerpen in het gebouw. Deze voorwerpen zullen hierdoor opwarmen en bijgevolg ook thermische straling produceren. Deze thermische straling heeft een grotere golflengte dan het invallende zonlicht en kan door deze grote golflengte niet door de beglazing naar buiten treden. Dit betekent dat de warmte gevangen blijft in het gebouw wat zorgt voor een groter risico op oververhitting [21].

Ook blijkt uit Figuur 29 dat er voor de zuidgevel een groter risico op oververhitting is dan voor bijvoorbeeld de noordgevel. Dit is een logisch gevolg van de zonnestanden in de verschillende windrichtingen. Op gevels gericht naar het noorden vallen immers veel minder directe zonnestralen dan op gevels gericht naar het zuiden. Ook op oostelijke en westelijke gevels is het aandeel toetredende zonnestralen hoger dan op noordelijke gevels, maar door de lagere ochtend- en avondzon is dit aandeel kleiner dan bij zuidelijk georiënteerde gevels.

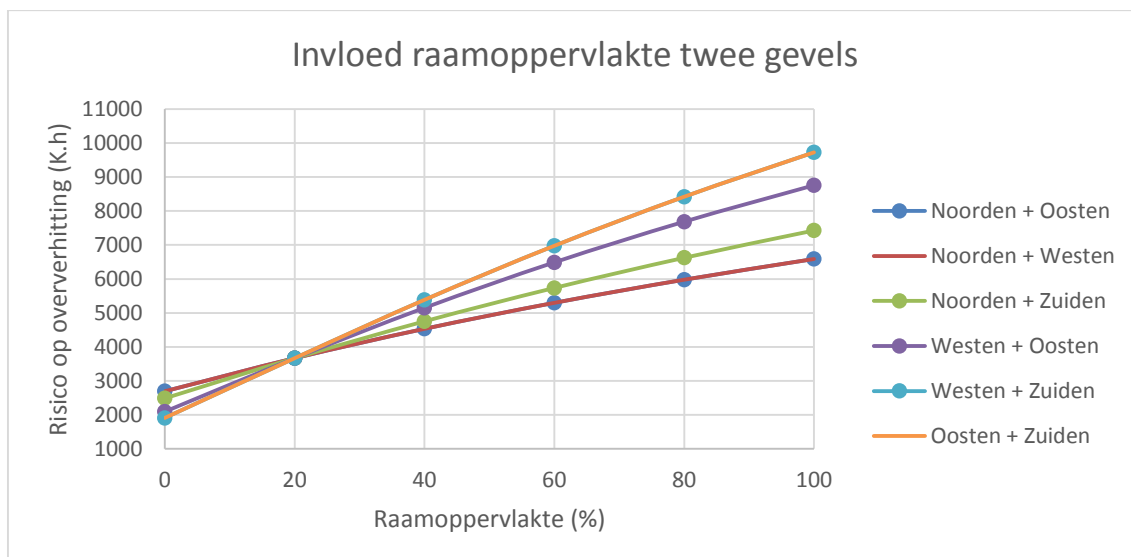
### 5.1.2 Oppervlakteverandering: twee gevels

Aangezien een variatie van de raamoppervlakte niet voor alle gevels hetzelfde effect heeft, wordt ook onderzocht wat de combinatie van een variatie van de raamoppervlakte bij verschillende gevels gelijktijdig teweeg brengt. Dit wordt eerst voor een variatie bij slechts 2 gevels gelijktijdig onderzocht. De overige 2 gevels blijven hierbij constant met een raamoppervlakte gelijk aan 20% van de geveloppervlakte.

Aangezien de invloed op het risico op oververhitting per gevel gekend is, wordt verwacht dat de combinaties zuiden + oosten en zuiden + westen het grootste risico op oververhitting teweeg zullen brengen. Combinaties met een noordelijke gevel zullen hierbij een lager risico vormen. Dit wordt bevestigd door de resultaten in Tabel 38 en Figuur 30.

**Tabel 38: Invloed van de raamoppervlakte in twee gevels op de oververhitting**

Oververhitting (K.h)						
Raamoppervlakte (%)	Noorden + Oosten	Noorden + Westen	Noorden + Zuiden	Westen + Oosten	Westen + Zuiden	Oosten + Zuiden
0	2695,01	2695,01	2486,42	2094,25	1910,36	1910,36
20	3667,54	3667,54	3667,54	3667,54	3667,54	3667,54
40	4532,22	4532,22	4752,90	5149,68	5385,78	5385,78
60	5297,32	5297,32	5735,49	6488,42	6975,78	6975,78
80	5977,57	5977,57	6622,69	7686,04	8420,21	8420,21
100	6586,84	6586,84	7425,73	8757,55	9725,72	9725,72



**Figuur 30: Grafische voorstelling van de invloed van de raamoppervlakte in twee gevels op de oververhitting**

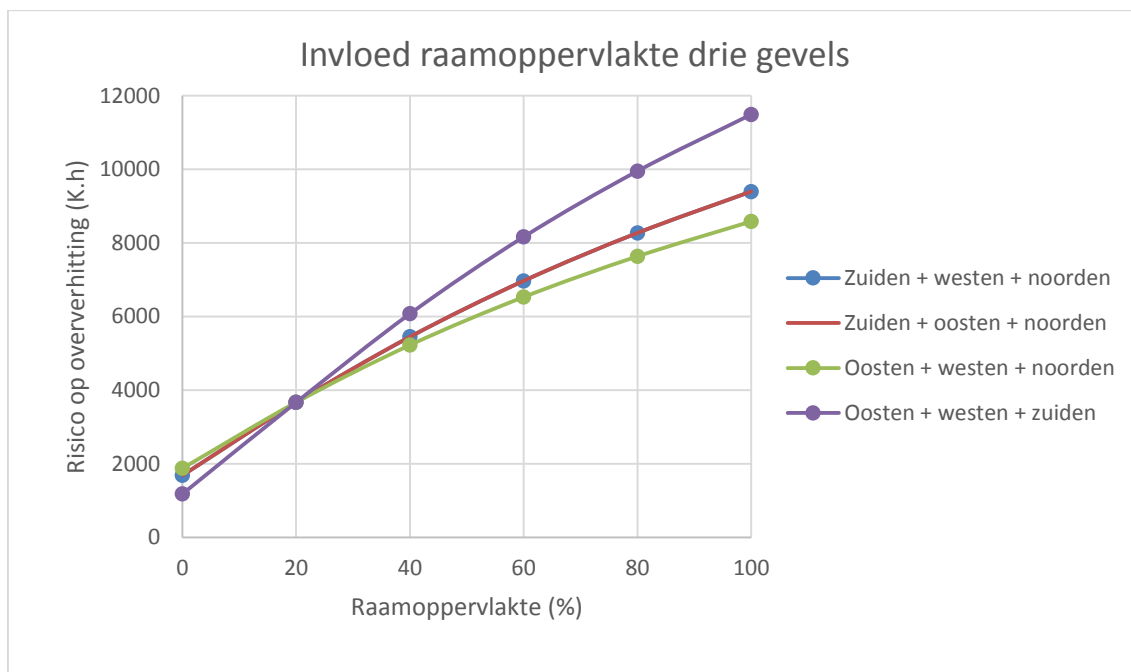
Figuur 30 toont inderdaad aan dat combinaties met de zuidelijk georiënteerde gevel het grootste risico op oververhitting teweeg brengt. Het lineaire verband dat vastgesteld werd in paragraaf ‘5.1.1 Oppervlakteverandering: één gevel’ is nog steeds aanwezig. Wel moet opgemerkt worden dat dit verband in werkelijkheid volgens een tweedegraads functie verloopt. In de volgende paragrafen zal dit tweedegraadsverloop sterker tot uiting komen.

### 5.1.3 Oppervlakteverandering: drie gevels

Analoge resultaten worden bekomen wanneer gelijktijdig de glasoppervlaktes in 3 gevels worden gevarieerd. Dit wordt weergegeven in Tabel 39 en Figuur 31.

**Tabel 39: Invloed van de raamoppervlakte in drie gevels op de oververhitting**

Raamoppervlakte (%)	Oververhitting (K.h)			
	Zuiden + Westen + Noorden	Zuiden + Oosten + Noorden	Oosten + Westen + Noorden	Oosten + Westen + Zuiden
0	1681,86	1681,86	1873,21	1176,07
20	3667,54	3667,54	3667,54	3667,54
40	5447,3	5447,3	5223,75	6074,64
60	6969,76	6969,76	6530,29	8164,98
80	8271,92	8271,92	7635,87	9953,27
100	9397,32	9397,32	8585,08	11491,00



**Figuur 31: Grafische voorstelling van de invloed van de raamoppervlakte in drie gevels op de oververhitting**

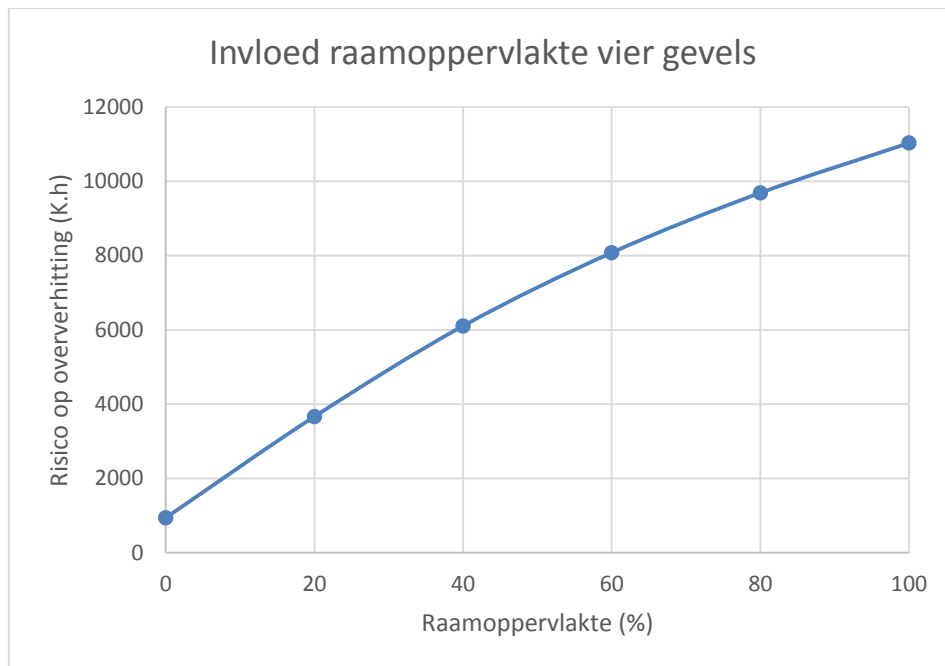
Ook in deze situatie blijkt hetzelfde verband tussen het risico op oververhitting en de hoeveelheid glasoppervlakte per gevel te bestaan. Combinaties met zuidelijk georiënteerde gevels vormen een groter risico op oververhitting dan combinaties met noordelijk georiënteerde gevels.

#### 5.1.4 Oppervlakteverandering: vier gevels

Tot slot wordt de hoeveelheid glasoppervlakte voor alle gevels gelijktijdig gevarieerd. Het resultaat wordt weergegeven in Tabel 40 en Figuur 32.

**Tabel 40: Invloed van de raamoppervlakte in vier gevels op de oververhitting**

Raamoppervlakte (%)	Oververhitting (K.h)
0	942,73
20	3667,54
40	6106,99
60	8080,43
80	9689,90
100	11031,41



**Figuur 32: Grafische voorstelling van de invloed van de raamoppervlakte in vier gevels op de oververhitting**

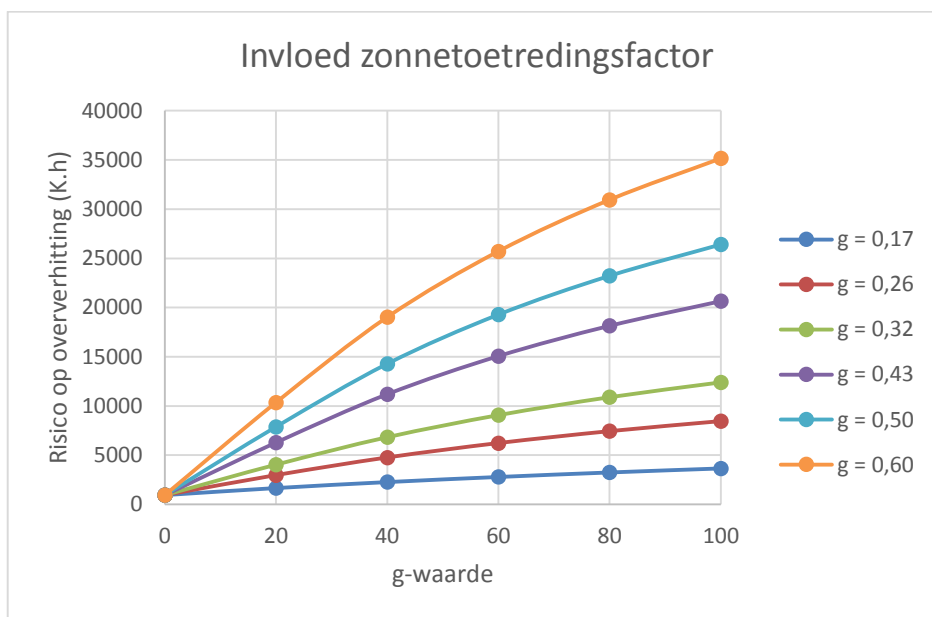
Figuur 32 toont het verloop volgens een tweedegraads functie waarover in paragraaf ‘5.1.2 Oppervlakteverandering: twee gevels’ werd gesproken. De reden waarom dit verband hier meer uitgesproken is, is omdat de totale hoeveelheid ramen in dit geval het grootste is. Bij de vorige paragrafen was in elke gevel waarbij de raamoppervlakte niet werd opgevoerd, de hoeveelheid beglazing steeds gelijk aan 20% van de geveloppervlakte.

## 5.2 Zonnetoetredingsfactor

De zonnetoetredingsfactor of g-waarde karakteriseert zoals vermeld in paragraaf ‘2.1.5 Oververhitting’ de hoeveelheid binnendringende zonnestrallen. Een lagere g-waarde betekent een kleinere hoeveelheid zonnestrallen die door de vensters het kantoorgebouw intreden. Aangezien deze zonnestrallen instaan voor warmtewinsten die het risico op oververhitting kunnen verhogen, zal de g-waarde een belangrijke invloed hebben op het comfort in het kantoorgebouw. Een lagere g-waarde betekent namelijk dat er minder warmtewinsten zullen optreden. Deze stelling wordt bevestigd door Tabel 41 en Figuur 33. Deze illustreren de resultaten bekomen via simulaties waarbij enkel de g-waardes van de vensters gevarieerd worden, en dit bij verschillende percentages glas in de verschillende gevels. De percentages aangeduid op de x-as staan voor de percentages ramen in de 4 gevels gelijktijdig. Alle overige parameters werden hierbij constant gehouden.

**Tabel 41: Invloed van de g-waarde op de oververhitting**

Oververhitting (K.h)						
Raamoppervlakte (%)	g = 0,17	g = 0,26	g = 0,32	g = 0,43	g = 0,5	g = 0,6
0	942,73	942,73	942,73	942,73	942,73	942,73
20	1655,23	2975,18	4035,07	6278,98	7878,10	10356,97
40	2262,08	4766,56	6821,07	11187,38	14282,18	19025,46
60	2783,15	6229,41	9065,74	15062,54	19281,08	25713,25
80	3240,97	7438,39	10886,46	18139,70	23220,00	30947,29
100	3651,06	8459,59	12396,07	20643,79	26404,15	35149,98



**Figuur 33: Grafische voorstelling van de invloed van de g-waarde op de oververhitting**

Uit deze resultaten blijkt dat een daling van de g-waarde effectief resulteert in een lager risico op oververhitting. Zeker bij hoge percentages ramen, zoals in grote kantoorgebouwen met gevels in glas, loont het plaatsen van vensters met lage g-waardes zeker de moeite om zo een comfortabelere werkomgeving te creëren.

### 5.3 Thermisch verbeterde afstandshouders

Het toepassen van thermisch verbeterde afstandshouders tussen de beglazing resulteert in het verbeteren van de U-waarde van het raam of zorgt met andere woorden voor een verlaging van deze U-waarde. Hierdoor zal dit raam een beter isolerende werking verkrijgen. Door deze hogere graad van isolatie kunnen warmtewinsten minder gemakkelijk via transmissie langs de ramen naar buiten treden. Bijgevolg zal een verhoging van het risico op oververhitting optreden. Tabel 42 bevestigt deze gedachtegang, waarbij simulaties werden uitgevoerd wanneer 100% van de gevels voorzien zijn van ramen.

**Tabel 42: Invloed van thermisch verbeterde afstandshouders op de oververhitting**

Thermisch verbeterde afstandshouders	
Positie	Oververhitting (K.h)
In 0 gevels	11701,51
In 1 gevel: N	11869,97
In 1 gevel: O	11869,97
In 1 gevel: Z	11869,97
In 1 gevel: W	11869,97
In 2 gevels	12041,83
In 3 gevels	12217,17
In 4 gevels	12396,07

Tabel 42 maakt ook duidelijk dat de invloed van de oriëntatie van de ramen waar gebruik gemaakt wordt van thermisch verbeterde afstandshouders geen rol speelt. Het risico op oververhitting blijft immers gelijk. Hoe meer ramen een thermisch verbeterde afstandshouder krijgt, hoe groter het risico op oververhitting. De reden hiervan werd reeds vermeld.

#### 5.4 Beglazing met coating

In '4.2.5 Beglazing met coating' is vermeld dat het aanbrengen van een coating op de beglazing een negatief effect heeft op het K- en E-peil. Het voordeel van deze coatings is echter dat het risico op oververhitting verlaagd kan worden. Volgens simulaties in het EPB-bestand voor woongebouwen blijkt dat het aanbrengen van coatings het risico op oververhitting sterkt kan doen dalen. Zo werd een simulatie uitgevoerd waarbij elke gevel een raamoppervlakte van 100% had. Het aanbrengen van coatings leverde het resultaat beschreven in Tabel 43 op.

**Tabel 43: Invloed van coating op de oververhitting**

Coating aangebracht op ramen in	Oververhitting (K.h)
0 gevels	12396,07
1 gevel	12217,17
2 gevels	12041,83
3 gevels	11869,97
4 gevels	11701,51

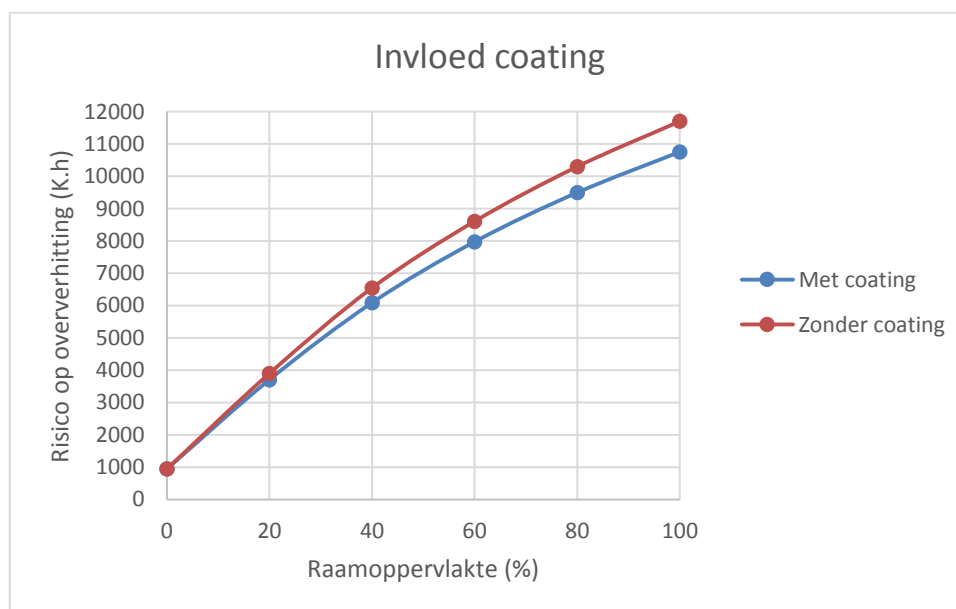
Bij deze simulaties werd ook vastgesteld dat de oriëntatie van de ramen hierbij geen invloed heeft. Coatings aangebracht op ramen in bijvoorbeeld de zuidgevel dragen niet meer of minder bij dan coatings aangebracht in ramen in de andere gevels. Wel kan opgemerkt worden dat de vermindering van het risico op oververhitting kleiner wordt wanneer ramen in meerdere gevels een coating krijgen. Deze vermindering is echter zodanig klein dat deze verwaarloosd mag worden.



Indien men het risico op oververhitting wanneer er een coating wordt aangebracht op de beglazing vergelijkt met het risico op oververhitting wanneer deze coating niet is aangebracht, bekomt men het resultaat weergegeven in Tabel 44 en Figuur 34.

**Tabel 44: Invloed van de coating op de oververhitting: vergelijking**

Oververhitting (K.h)		
Raamoppervlakte (%)	Met coating	Zonder coating
0	942,73	943,73
20	3705,89	3899,58
40	6088,64	6545,81
60	7975,13	8607,62
80	9496,51	10299,47
100	10757,73	11701,51



**Figuur 34: Grafische voorstelling van de invloed van de coating op de oververhitting**

Zoals deze resultaten beschreven, is er een verschil van 943.78 K.h tussen beide gevallen aangaande het risico op oververhitting. In verhouding met de totale waarden lijkt dit niet veel maar deze waarden moeten vergeleken worden met de maximaal toegelaten eis van 6500 K.h. Het verschil tussen beide gevallen is 14,5% van het totaal toegelaten risico, waaruit geconcludeerd mag worden dat het aanbrengen van een coating zeer belangrijk is. Een coating op de beglazing zorgt er namelijk voor dat er minder zonnestrallen binnentreden waardoor er minder warmtewinsten in het gebouw aanwezig zijn. Bijgevolg zal het risico op oververhitting afnemen.

## 5.5 Type raamprofiel

Het type raamprofiel levert ook een bepaalde bijdrage aan het risico op oververhitting. Indien in elke gevel een raamoppervlakte gelijk aan 100% van de geveloppervlakte voorzien wordt en waarbij de g-waarde gelijk is aan 0,32, wordt het risico op oververhitting zoals weergegeven in Tabel 45.

**Tabel 45: Invloed van het type raamprofiel op de oververhitting**

Type raamprofiel	Oververhitting (K.h)
Hout	12764,93
Kunststof	12764,93
Metaal met thermische onderbreking	12396,07
Metaal zonder thermische onderbreking	14402,04

Hieruit blijkt dat een metaal raamprofiel met een thermische onderbreking het beste scoort op het gebied van de beperking van de oververhitting. Indien deze thermische onderbreking niet aanwezig is, zal het risico op oververhitting sterk toenemen ten gevolge van de goede geleidbaarheid van het metaal. Warmte kan dan immers eenvoudig doorheen het metaal binnendringen. De keuze tussen houten en kunststoffen raamprofielen heeft geen invloed op de oververhitting.

Deze resultaten worden bekomen aangezien metalen profielen met thermische onderbreking de grootste U-waarde hebben. Hierdoor zal volgens formules 15 en 16 de indicator voor de oververhitting het laagste zijn aangezien de warmteoverdrachtscoëfficiënt, die bepaald wordt aan de hand van de U-waarde, in de noemer van de breuk staat.

$$I_{overh,sec\ i} = \sum_{m=1}^{12} Q_{excess\ norm,sec\ i,m} \quad (15)$$

Met

$$Q_{excess\ norm,sec\ i,m} = \frac{(1 - \eta_{util,overh,sec\ i,m}) \cdot Q_{g,overh,sec\ i,m}}{H_{T,overh,sec\ i,m} + H_{V,overh,sec\ i,m}} \cdot \frac{1000}{3,6} \quad (16)$$

Waarin:

$I_{overh,sec\ i}$	de indicator voor oververhitting van energiesector i
$Q_{excess\ norm,sec\ i,m}$	de maandelijkse genormaliseerde overtollige warmtewinsten van energiesector i t.o.v. de insteltemperatuur voor koeling
$\eta_{util,overh,sec\ i,m}$	de benuttingsfactor van de maandelijkse warmtewinsten van energiesector i, voor de evaluatie van het oververhittingsrisico
$Q_{g,overh,sec\ i,m}$	de maandelijkse warmtewinsten door bezonning en interne warmteproductie in energiesector i voor de evaluatie van het oververhittingsrisico, in MJ
$H_{T,overh,sec\ i,m}$	de warmteoverdrachtscoëfficiënt van energiesector i door transmissie voor evaluatie van het oververhittingsrisico, in W/K
$H_{V,overh,sec\ i,m}$	de warmteoverdrachtscoëfficiënt van energiesector i door ventilatie voor evaluatie van het oververhittingsrisico, in W/K

## 5.6 Zonnewering

Om het risico op oververhitting te beperken, kan men naast het verminderen van het raamoppervlak ook andere maatregelen nemen. Het plaatsen van een zonnewering is een van deze oplossingen. Deze zonnewering kan op globaal gezien op 3 manieren gerealiseerd worden. Aan de hand van een binnenzonnewering, buitenzonnewering of door het voorzien van een ongeventileerde zonnewering, aangebracht tussen de transparante delen van het venster. De keuze van de positie van de zonnewering bepaalt de mate waarin de oververhitting beperkt wordt. Dit blijkt uit de resultaten bekomen door middel van simulaties in een woongebouw en weergegeven in Tabel 46. Om de verschillen tussen de verschillende keuzes duidelijk weer te geven werden deze simulaties uitgevoerd met een raamoppervlakte van 100% in elke gevel. Ook werd voor de overzichtelijkheid gekozen de resultaten horende bij de mobiele zonneweringen enkel weer te geven wanneer de bediening van het systeem automatisch verloopt.

**Tabel 46: Invloed van de zonnewering op de oververhitting**

Oriëntatie zonnewering	Oververhitting (K.h)					
	Binnenzonnewering		Buitenzonnewering		Ongeventileerde tussenzonnewering	
	Vast	Mobiel	Vast	Mobiel	Vast	Mobiel
Geen	11701,51	11701,51	11701,51	11701,51	11701,51	11701,51
In 1 gevel: N	11383,63	11700,68	10137,68	11697,37	10445,21	11698,20
In 1 gevel: O	11140,98	11409,96	8984,57	10266,10	9510,10	10548,60
In 1 gevel: W	11140,98	11371,07	8984,57	10080,46	9510,10	10398,29
In 1 gevel: Z	11035,30	11291,53	8520,38	9715,17	9125,58	10099,51
In 2 gevels: N + O	10827,63	11409,13	7550,43	10262,00	8333,91	10545,31
In 2 gevels: N + W	10827,63	11423,24	7550,43	10332,92	8333,91	10601,99
In 2 gevels: N + Z	10723,28	11290,70	7122,80	9711,08	7972,28	10096,23
In 2 gevels: W + O	10588,67	11082,07	6511,58	8715,65	7468,00	9289,42
In 2 gevels: Z + W	10485,46	10965,25	6116,09	8207,29	7126,37	8867,22
In 2 gevels: Z + O	10485,46	11003,35	6116,09	8371,96	7126,37	9004,30
In 3 gevels: Z + N + O	11002,52	10178,18	8367,92	4884,00	9001,05	6070,28
In 3 gevels: N + W + O	10280,04	11081,25	5240,03	8711,61	6387,49	9286,17
In 3 gevels: Z + N + W	10178,18	10964,43	4884,00	8203,26	6070,28	8863,97
In 3 gevels: Z + W + O	9944,22	10679,70	4021,71	6945,38	5307,72	7821,33
In 4 gevels	9641,89	10678,88	2998,22	6941,42	4368,43	7818,13

Uit deze resultaten blijkt dat de beperking van het risico op oververhitting afhangt van de positie van de zonnewering, de oriëntatie van de gevels waar de zonnewering wordt aangebracht en het bedieningssysteem. De volgende paragrafen bespreken deze parameters afzonderlijk.

### 5.6.1 Positie van de zonnewering

Zoals blijkt uit bovenstaande resultaten levert een buitenzonnewering steeds een betere beperking van het risico op oververhitting op in vergelijking met de andere types. Deze resultaten kunnen verklaard worden aan de hand van formule 12, die de berekening van de gemiddelde zonnetoetredingsfactor van het venster weergeeft.

$$g_{m,j} = 0,9 \cdot (a_{c,m} \cdot F_c + (1 - a_{c,m})) \cdot g_{g,\pm} \quad (17)$$

Hierin staat  $F_c$  voor de reductiefactor voor de zonnewering. De waarden bij ontstentenis voor deze reductiefactoren werden reeds weergegeven in Tabel 21.

Hieruit blijkt dat de reductiefactor bij buitenzonnewering het kleinste is. Dit betekent volgens formule 12 dat het aanbrengen van buitenzonneweringen een kleinste gemiddelde zonnetoetredingsfactor van het venster oplevert. Zoals vermeld in 5.2 Zonnetoetredingsfactor resulteert een lagere g-waarde in een lager risico op oververhitting.

Bovenstaande resultaten kunnen ook bevestigd worden door het eerder vernoemde serre-effect. Indien de zonnewering aan de binnenzijde van de beglazing wordt aangebracht, zal deze ten gevolge van de zonnestrallen opwarmen. Deze warmte zit gevangen in het gebouw aangezien deze slecht in beperkte maten via de beglazing naar buiten kan treden. Indien de zonnewering buiten is geplaatst, zal deze eveneens opwarmen maar is deze warmte niet aanwezig in het gebouw.

### 5.6.2 Oriëntatie van de zonneweringen

Tabel 46 toont ook aan dat de oriëntatie van de gevels waar de zonneweringen zijn aangebracht een rol speelt op de beperking van het risico op oververhitting. Simulaties met zonneweringen aangebracht in slechts 1 gevel tonen aan dat zonneweringen aangebracht aan de zuidgevels het meeste profijt opleveren. Dit is een logisch gevolg uit het feit dat ramen in de zuidgevels het grootste risico op oververhitting met zich meebrengen. Wanneer deze vensters beschikken over zonnewering zal dit risico afnemen. Op deze manier wordt de grootste leverancier van warmtewinsten sterk verminderd. Deze redenering klopt ook voor zonneweringen geplaatst in meerdere gevels gelijktijdig.

Opvallend bij de oriëntatie van de zonneweringen is dat de resultaten bekomen bij zonneweringen geplaatst in enkel de oostgevel en in enkel de westgevel van elkaar verschillen indien er voor een automatisch mobiele zonnewering wordt gekozen. Aangezien vensters in deze gevels hetzelfde risico op oververhitting met zich meebrachten (bij eenzelfde oppervlakte) in '5.1 Oppervlakte en oriëntatie van de ramen' werd hier ook steeds identieke resultaten verwacht. De reden achter deze wijziging heeft te maken met het bedieningssysteem en wordt in de volgende paragraaf beschreven.

### 5.6.3 Bedieningssysteem

Vaste zonneweringen beperken het risico op oververhitting meer dan mobiele zonneweringen. Dit is te verklaren door het feit dat deze zonnewering permanent aanwezig is en er daardoor geen zonnewinsten zullen optreden in de tijd dat de mobiele zonnewering nog niet is geactiveerd. Dit wordt gekenmerkt door de gebruiksfactor  $a_{c,m}$ . Deze factor verklaart ook de verschillen tussen de resultaten bekomen voor de oost- en westgevel. Tabellen C1 en C2 uit bijlage V van het Energiebesluit van 19 november 2010 leveren deze gebruiksfactoren en hieruit blijkt dat deze kleiner zijn voor zonneweringen aangebracht in de oostgevels dan voor zonneweringen aangebracht in de westgevels. Volgens formule 12 volgt hieruit dat de gemiddelde zonnetoetredingsfactor van de vensters in gevels in het oosten hoger zal liggen dan deze voor vensters gelegen in de westgevels. Dit betekent dat er meer warmtewinsten zullen zijn door vensters in de oostelijke gevels wat resulteert in een hoger risico op oververhitting. Dit geldt uiteraard enkel voor mobiele zonneweringen aangezien de gebruiksfactor voor vaste zonneweringen in alle gevels gelijk is aan 1.

Bij de simulaties is steeds uitgegaan van een automatische bediening van de mobiele zonneweringen. Aangenomen kan worden dat dit niet steeds het geval is en dus de bediening ook regelmatig handbediend wordt. Tabel 47 toont het verschil tussen de verschillende wijzen van bediening.

**Tabel 47: Invloed van de zonnewering op de oververhitting**

Oververhitting (K.h)			
Bediening mobiele zonnewering	Binnenzonnewering	Buitenzonnewering	Ongeventileerde tussenzonnewering
Automatisch	10678,88	6941,42	7818,13
Handmatig	10895,91	7894,61	8609,57

Uit deze resultaten blijkt dat een handmatige bediening van de mobiele zonnewering nadeliger is voor het risico op oververhitting dan een automatische bediening. Dit is het gevolg van een verschil in gebruiksfactoren. Tabel C1 geeft de gebruiksfactoren voor handmatige bediening weer terwijl tabel C2 deze voor een automatische bediening weergeeft. Voor handbediende zonneweringen liggen deze factoren lager wat resulteert in een hoger risico.



## 6 Maximale raamoppervlakte

In de voorgaande hoofdstukken is besproken wat de invloed is van de verschillende parameters die in de EPB-software gebruikt worden. Met behulp van deze informatie kan nu bepaald worden wat de maximale raamoppervlakte is die men in een kantoor kan bekomen. Het is echter moeilijk om een absoluut maximum te bepalen aangezien er zeer veel verschillende configuraties mogelijk zijn. Om deze reden zal dit hoofdstuk onderverdeeld worden in verschillende delen.

In het eerste deel zal de maximale raamoppervlakte bepaald worden indien men uitgaat van de best mogelijke configuratie. De raamoppervlakte in de wanden die niet gebruikt worden in deze simulatie zal gelijkgesteld worden aan 0%. Vervolgens zal de maximale oppervlakte bepaald worden gebruikmakende van standaard waarden. Zo zal in de eerste simulatie bijvoorbeeld een  $U_g$ -waarde van  $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  gehanteerd worden, waar deze in de tweede paragraaf gelijkgesteld wordt aan  $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . In deze simulatie zal men er wederom van uitgaan dat de raamoppervlakte in de wanden die men niet in de simulatie gebruikt gelijk is aan 0%. In het derde deel wordt voorgaande simulatie opnieuw gedaan, maar dan met een standaard raamoppervlakte van 30%. Zoals aangehaald in '4.2.6 Aantal ramen' heeft de methode van invoeren een grote invloed op het K- en E-peil, zeker als er grote ramen gebruikt worden, dus hier wordt ook kort op teruggekomen.

Er zijn nog twee belangrijke opmerkingen die gemaakt dienen te worden. Ten eerste kan het E-peil op zeer eenvoudige wijze verlaagd worden met behulp van zonnepanelen. Er kan dus op basis van dit peil geen maximale raamoppervlakte bepaald worden. Het K-peil zal dus de doorslaggevende factor zijn in deze berekening. Ten tweede is er, zoals reeds eerder aangehaald, in het Vlaams Gewest geen eis in verband met het risico op oververhitting. In het Brussels Hoofdstedelijk Gewest zal deze eis wel ingevoerd worden vanaf 2017 maar in de software die op dit moment voorhanden is, is de berekening van de oververhitting nog niet opgenomen. Om toch een inschatting te maken in verband met het risico op oververhitting wordt de link gelegd naar de oververhitting in een woongebouw met dezelfde afmetingen en configuratie.

### 6.1 Optimale configuratie

De eerste simulatiereeks die uitgevoerd wordt is deze met de best mogelijke configuratie. Hierbij worden de parameters die invloed hebben op het K-peil gelijk genomen aan de best geteste waarde. Welke parameters dit zijn en welke waarden aangenomen worden, is hieronder opgelijst:

- $U_{\text{gevel}}$ :  $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- $U_g$ :  $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- $U_f$ :  $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- $U_{\text{vloer}}$ :  $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- $U_{\text{dak}}$ :  $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Om een optimale situatie te bekomen zijn coatings op de beglazing en thermisch verbeterde afstandhouders tussen de beglazing steeds aanwezig. In verband met de bouwknopen is er gerekend met de methode van de EPB-aanvaarde bouwknopen. Aangezien de simulaties voor een fictief kantoorgebouw uitgevoerd worden, zijn er echter geen plannen voorhanden om de bouwknopen goed in te brengen. Om toch rekening te houden met onvermijdelijke bouwknopen zoals bijvoorbeeld bij deuren, wordt er bij het bekomen K-peil 1 punt opgeteld. Deze manier van werken wordt ook bij de andere simulaties toegepast.

Tabel 48 geeft het K-peil weer bij toenemende raamoppervlakte. Deze simulatie is vier keer uitgevoerd; het K-peil is bestudeerd wanneer de raamoppervlakte in één, twee, drie of alle gevels is veranderd. Hierbij is aangenomen dat de raamoppervlakte in de gevels die niet in de simulatie meegenomen worden gelijk is aan 0%. Voor het K-peil in één gevel is de raamoppervlakte in het noorden dus van 0 tot 100% gegaan, terwijl de gevels in het zuiden, oosten en westen zonder ramen opgebouwd zijn.

**Tabel 48: Bepaling van de maximale raamoppervlakte m.b.v. de optimale configuratie**

Raamoppervlakte (%)	K-peil			
	1 gevel	2 gevels	3 gevels	4 gevels
0	14	14	14	14
20	15	16	17	18
40	16	18	21	23
60	17	21	24	28
80	18	23	28	32
100	20	25	31	37

Het blijkt dus dat met deze configuratie alle gevels volledig uit glas opgebouwd kunnen worden. Hierbij dienen wel twee opmerkingen gemaakt te worden. Enerzijds is de vereenvoudigde manier van ingeven gebruikt in deze simulaties. Dit betekent dat het K-peil zelfs nog lager kan worden dan het nu al is, wat uiteraard voordelig is. Anderzijds, en dit is belangrijker dan de vorige opmerking, is hierbij zoals reeds gezegd nog geen rekening gehouden met het risico op oververhitting. Om toch een inschatting te kunnen maken van dit risico is gebruik gemaakt van simulatie op een woongebouw met eenzelfde configuratie.

Met behulp van deze simulatie wordt bekomen dat de raamoppervlakte maximaal 37% mag bedragen. Dit is een op het eerste zicht zeer lage waarde, aangezien op basis van het K-peil 100% voorzien kan worden. De verklaring voor deze lage waarde is echter makkelijk te vinden: de maatregelen die goed zijn voor het K-peil, zijn immers minder goed voor het risico op oververhitting. Door een goede isolatie te creëren blijven de warmtewinsten in het gebouw aanwezig.

Indien er ook rekening gehouden wordt met het risico op oververhitting in de configuratie, is te merken dat de bekomen waarde van 37% drastisch verbeterd kan worden. Door glas te gebruiken met een g-waarde van 0,17 is het mogelijk om een raamoppervlakte van 100% te realiseren. Hiervoor dient er zelfs geen zonnewering voorzien te worden en kan de coating weggelaten worden. Indien er toch voor gekozen wordt om glas te gebruiken met een slechtere g-waarde van 0,30 is het nog steeds mogelijk om op een eenvoudige wijze aan de eis in verband



met oververhitting te voldoen en toch een raamoppervlakte van 100% te bekomen. Het gebruik van vaste buitenzonnewering bijvoorbeeld zorgt ervoor dat de eis ruim gehaald wordt. Specifiek is hierbij een waarde van 4213,16 K.h behaald, waarmee men onder de eis van 6500 K.h blijft.

## 6.2 Standaard configuratie

In deze tweede simulatiereeks worden niet meer de best mogelijke waardes gebruikt zoals in de vorige reeks. De waardes gebruikt in deze simulaties zijn de volgende:

- $U_{\text{gevel}}$ : 0,21 W/m<sup>2</sup>K,
- $U_{\text{g}}$ : 1,0 W/m<sup>2</sup>K,
- $U_{\text{r}}$ : 2,0 W/m<sup>2</sup>K,
- $U_{\text{vloer}}$ : 0,21 W/m<sup>2</sup>K,
- $U_{\text{dak}}$ : 0,21 W/m<sup>2</sup>K.

Standaard wordt tegenwoordig reeds gebruik gemaakt van beglazingen met coatings en zijn thermisch verbeterde afstandshouders reeds aanwezig. Tabel 49 geeft de verandering van het K-peil weer bij toenemende raamoppervlakte. De manier van simuleren is uiteraard hetzelfde als bij de best mogelijke configuratie.

**Tabel 49: Bepaling van de maximale raamoppervlakte m.b.v. de standaard configuratie en vereenvoudigde manier van ingeven**

Raamoppervlakte (%)	K-peil			
	1 gevel	2 gevels	3 gevels	4 gevels
0	17	17	17	17
20	19	21	24	26
40	21	26	31	36
50				40
60	24	31	38	
65			40	
80	26	36		
100	29	40		

In deze tabel is te zien dat tot twee gevels volledig uit glas opgebouwd kunnen worden zonder in de problemen te komen aangaande het K-peil. Hierbij is er wel geen glas aanwezig in de andere twee gevels. Indien er toch glas in de andere gevels aanwezig is, zien we dat niet alle gevels volledig uit glas kunnen bestaan. Bij de simulatie voor drie en vier gevels zien we dat de maximale raamoppervlakte in elke gevel respectievelijk gelijk is aan 65 en 50%.

Indien de vergelijking gemaakt wordt met de optimale configuratie is er dus een zeer groot verschil merkbaar. Het loont dus zeker de moeite voldoende aandacht te besteden aan de opbouw van de scheidingsconstructies.

De twee opmerkingen die gemaakt werden in '6.1 Optimale configuratie' zijn uiteraard ook op deze tabel van toepassing. Bij deze simulaties is gebruik gemaakt van de vereenvoudigde

manier van ingeven. Om nogmaals aan te tonen hoe groot de verandering is indien de niet-vereenvoudigde manier van ingeven gebruikt wordt, wordt verwezen naar Tabel 50.

**Tabel 50: Bepaling van de maximale raamoppervlakte m.b.v. de standaard configuratie en niet-vereenvoudigde manier van ingeven**

Raamoppervlakte (%)	K-peil			
	1 gevel	2 gevels	3 gevels	4 gevels
0	17	17	17	17
20	18	20	21	23
40	20	23	26	29
60	21	26	30	35
80	23	29	34	40
100	24	31	39	

In deze tabel is te zien dat de maximale raamoppervlakte in alle gevels van 50 naar 80% stijgt. Hiermee is nogmaals aangetoond dat het nauwkeurig ingeven van de ramen voor een aanzienlijke verbetering kan zorgen.

Met de oververhitting is op dit moment ook nog geen rekening gehouden, dus dit wordt op dezelfde manier bekeken als in die simulaties. Uit de simulaties bleek dat er een raamoppervlakte van 81% bekomen kan worden indien enkel gekeken wordt naar het risico op oververhitting. Dit is reeds hoger dan de maximaal toegelaten raamoppervlakte bekomen op basis van het K-peil, dus we kunnen stellen dat de eis in verband met oververhitting geen extra beperking oplegt aan de raamoppervlakte. Met behulp van extra maatregelen, zoals het voorzien van zonnewering of het gebruik van glas met een betere g-waarde, is het ook hier mogelijk om een raamoppervlakte van 100% te bekomen.

Tot slot wordt nog één simulatiereeks uitgevoerd. De gebruikte waarden blijven dezelfde als in de vorige simulatie, maar de raamoppervlakte van de gevels die niet gebruikt worden in de simulatie wordt op 30% gezet. Het resultaat van deze simulatie is te zien in Tabel 51.

**Tabel 51: Bepaling van de maximale raamoppervlakte m.b.v. de standaard configuratie en niet gebruikte gevels op 30%**

Raamoppervlakte (%)	K-peil			
	1 gevel	2 gevels	3 gevels	4 gevels
0	27	23	20	17
20	30	29	27	26
40	32	33	34	36
50				40
60	34	38	40	
70		40		
80	37			
100	39			

## 7 Conclusie

De EPB-regelgeving is vandaag de dag een zeer belangrijk aspect binnen de bouwwereld. De eisen in verband met het isolatiepeil en het primair energieverbruik zullen jaarlijks aangescherpt worden totdat men in 2021 aan de BEN-eisen voldoet. Dit heeft tot gevolg dat de isolatiegraad moet verbeteren en er hierdoor ook steeds meer bespaard moet worden op energie. Een juiste opbouw van de gevelementen en een optimale configuratie van de technieken kunnen hierbij ook een fors voordeel opleveren. In de komende paragrafen zullen de bekomen resultaten van deze paper nogmaals kort besproken worden.

### 7.1 K-peil

Voor nieuwbouwprojecten vanaf 2017 bedraagt de maximumeis K40 voor kantoorgebouwen gelegen in het Vlaamse Gewest. Dit peil wordt, zoals uit deze studie gebleken is, enkel beïnvloed door de U-waarde van de verschillende scheidingsconstructies. Meer specifiek is in dit onderzoek de invloed van de U-waarde van de volgende scheidingsconstructies onderzocht:

- gevel,
- dak,
- vloer,
- ramen.

Een hogere U-waarde betekent, zoals vermeld, een slechtere isolatiewaarde van het element. Dit resulteert in alle situaties in een hoger en dus slechter K-peil. Algemeen kan dan ook gesteld worden dat een zo laag mogelijke U-waarde nagestreefd moet worden. Hierbij dient echter wel opgemerkt te worden dat de verandering van het K-peil ook samenhangt met de oppervlakte van de scheidingsconstructies. Dit is echter logisch aangezien een grotere oppervlakte van bijvoorbeeld de ramen ervoor zorgt dat een verandering van de U-waarden van deze ramen een grotere invloed zal hebben op het K-peil.

De invloed van deze scheidingsconstructies op het K-peil zal hieronder nogmaals kort opgesomd worden. Hierbij is er altijd gebruik gemaakt van een raamoppervlakte van 20% in alle gevels:

**Tabel 52: Variatie van het K-peil bij een variatie van de U-waarde van de scheidingsconstructies**

Scheidingsconstructie	Stijging U-waarde (W/m <sup>2</sup> K)	Stijging K-peil
Gevel	0,14	4
Dak	0,14	2
Vloer	0,40	2
Glas	0,70	4
Raamprofiel	1,50	3

De oppervlaktes van de scheidingsconstructies hebben hierin zoals gezegd uiteraard een zeer grote invloed. De raamoppervlakte is in deze simulatie klein ten opzichte van de oppervlakte van de gevel, dus zal een verandering van de U-waarde van de gevel relatief gezien een grotere

invloed hebben. Deze redenering trekt zich ook door in het verschil tussen glas en raamprofiel: default wordt er gerekend met 70% glas en 30% raamprofiel in een venster. Er is dus meer glas aanwezig, waardoor er bij deze parameter een grotere fluctuatie op het K-peil bekomen wordt.

Er zijn echter ook andere parameters die een invloed hebben op het K-peil, zoals het gebruik van thermisch verbeterde afstandshouders, een coating op de beglazing en slecht uitgevoerde bouwknopen. Deze elementen beïnvloeden namelijk rechtstreeks de U-waarde:

- thermisch verbeterde afstandshouders hebben een positieve invloed op de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt, waardoor de U-waarde van het raam op zijn beurt positief beïnvloed wordt. Bij een raamoppervlakte van 20% zorgt dit voor een daling van het K-peil met 1 punt;
- coatings op de beglazing zorgt in de software voor een stijging van de U-waarde. De reden achter deze stijging is onbekend en is volgens ons tegenstrijdig met de werkelijkheid. De aanwezigheid van de coating zorgt immers voor een verbeterde thermische performantie van het glas. Dit wordt aangegeven door de helpdesk van de software en wordt ook bevestigd door verschillende online bronnen. We vermoeden dus dat er een fout in de software geslopen is;
- slecht uitgevoerde bouwknopen zorgen voor een lokale verhoging van de U-waarde. Er wordt immers een koudebrug gecreëerd waardoor er een grotere warmtestroom van binnen naar buiten kan ontsnappen. Zo vormen ze een zwakke schakel in het isolatiepantser van het gebouw.

In verband met het K-peil is dus wel degelijk alles te herleiden tot het verbeteren van de U-waardes van de scheidingsconstructies.

Een laatste opmerking aangaande het K-peil heeft te maken met het type raamprofiel. Er is gebleken dat de manier van invoeren hierbij van groot belang is. Door raamprofielen zonder thermische onderbreking te gebruiken in de software wordt een beter K-peil bekomen dan bij raamprofielen met thermische onderbreking. De manier van ingeven in de software kan deze bijzonderheid verklaren. Met behulp van de thermische onderbreking kunnen bouwknopen immers omgevormd worden tot EPB-aanvaarde bouwknopen. Het voordeel dat hiermee behaald wordt zorgt ervoor dat het K-peil toch lager zal zijn dan in de situatie zonder thermische onderbreking.

## **7.2 E-peil**

Voor nieuwbouwprojecten vanaf 2017 bedraagt de maximumeis E55 voor kantoorgebouwen gelegen in het Vlaamse Gewest. Het E-peil is enerzijds afhankelijk van de thermische isolatie van het gebouw en anderzijds moeten ook de vaste installaties zoals verwarming, ventilatie, warmwatervoorzieningen, verlichting etc. in rekening worden gebracht. Deze parameters zijn allen onderzocht; de resultaten hiervan worden hieronder nogmaals kort aangehaald.

De eerste parameter die onderzocht werd is de U-waarde van de scheidingsconstructies (gevel, vloer, dak en ramen). Hierbij kan eenzelfde conclusie getrokken worden als bij het K-peil. Een hogere U-waarde resulteert in een slechtere isolatie waardoor er meer warmte kan ontsnappen.

Het is dus logisch dat hierdoor het E-peil nadelig wordt beïnvloed en dus stijgt. De grootte van deze stijging is te raadplegen in Tabel 53.

**Tabel 53: Variatie van het E-peil bij een variatie van de U-waarde van de scheidingsconstructies**

Scheidingsconstructie	Stijging U-waarde (W/m <sup>2</sup> K)	Stijging E-peil
Gevel	0,14	3
Dak	0,14	1
Vloer	0,40	1
Glas	0,70	2
Raamprofiel	1,50	2

In verband met de ramen zijn er echter nog andere parameters die het E-peil beïnvloeden, namelijk:

- de zonnetoetredingsfactor: een lagere g-waarde resulteert in een beter E-peil. Als de g-waarde daalt, zal het glas immers minder zonnestralen doorlaten. Er zal bijgevolg minder koeling nodig zijn waardoor het energieverbruik zal afnemen. Een dalend E-peil is dus het logische gevolg. Een daling van de g-waarde van 0,43 zorgt hierbij voor een daling van het E-peil met 1 punt bij 20% raamoppervlakte;
- de zonnewering: het aanbrengen van zonnewering zal een vergelijkbare invloed hebben als het verbeteren van de g-waarde van het glas. Het E-peil zal dus dalen, maar deze daling is relatief beperkt. Bij een raamoppervlakte van 100% in alle gevels zorgt het aanbrengen van zonnewering slechts voor een daling van 2 punten.

Een tweede parameter die invloed heeft op het E-peil is de verwarming. In verband met deze verwarming kunnen volgende conclusies getrokken worden:

- bij alle verwarmingselementen hebben parameters als het type transportmedium, type warmtebron... een grote invloed. Door een goede keuze van deze elementen kan het E-peil gevoelig verbeteren;
- een elektrische warmtepomp vormde in deze studie de meest optimale keuze om het kantoorgebouw te verwarmen, terwijl een elektrische weerstandsverwarming de slechtste keuze is. Dit is uiteraard sterk afhankelijk van de configuratie van deze systemen;
- gebouwgebonden WKK vervult hierin een speciale rol. Het is gebleken dat dit zeer sterk afhankelijk is van het elektrisch en nominaal vermogen. Afhankelijk van het verschil tussen deze twee vermogens kan de gebouwgebonden WKK zowel de slechtste als de beste oplossing zijn om het kantoorgebouw te verwarmen.

Om vervolgens een indicatie te geven van de grootte van de invloed van de verschillende verwarmingstoestellen, wordt in Tabel 54 een overzicht gegeven van de wijziging van het E-peil ten gevolge van een gewijzigde keuze van verwarmingstoestel. Deze wijziging is steeds ten opzichte van de configuratie met warmtepomp, waarmee een E-peil van 38 bereikt wordt. Hierbij moet wel vermeld worden dat deze toenames van het E-peil enkel geldig zijn bij een configuratie zoals toegepast in het basisbestand. Bij de gebouwgebonden WKK wordt geen indicatie weergegeven aangezien deze in te grote mate bepaald wordt door de ingevoerde vermogens.

**Tabel 54: Overzicht van de wijziging van het E-peil naargelang de keuze van het verwarmingstoestel**

Verwarmingstoestel	Stijging E-peil
Externe warmtelevering	9
Condenserende waterketel	10
Warmeluchtgenerator	12
Niet-condenserende waterketel	16
Elektrische weerstandsverwarming	57
Gebouwgebonden WKK	/

In verband met de koeling kunnen grotendeels dezelfde conclusies getrokken worden. Zo is gebleken dat *geo-cooling* de beste manier van koelen biedt. Uiteraard zijn de bekomen waardes ook hier zeer sterk afhankelijk van de configuratie van de koelementen. Tabel 55 geeft een indicatie van de wijzigingen van het E-peil bij een verschillende keuze van koeling. Deze waardes zijn een stijging in vergelijking met het E-peil dat gehaald wordt met behulp van *geo-cooling*, namelijk 43. De indicaties weergegeven voor de compressiekoelmachine zijn de minimale en maximale stijging die volgens de gebruikte configuratie van toepassing zijn indien het type compressiekoelmachine wordt gewijzigd.

**Tabel 55: Overzicht van de wijzigingen van het E-peil naargelang de keuze van het koelsysteem**

Type opwekker	Stijging E-peil
Compressiekoelmachine	4/7
Thermisch aangedreven koelmachine	10

De vierde parameter die bepalend is voor het E-peil, is de verlichting. Ten eerste heeft hierbij het vermogen van de lichtarmaturen een negatieve invloed op dit peil. Hoge wattages zorgen enerzijds voor een hoger energieverbruik maar veroorzaken ook een grotere hoeveelheid warmte. Bij veel armaturen kan dit leiden tot een verhoogd risico op oververhitting, wat voor kantoorgebouwen mee bepalend is voor de eis in verband met het E-peil. Zo wordt volgens de gebruikte configuratie een stijging in het E-peil bekomen van ongeveer 5 punten per stijging van 10 W per lichtarmatuur.

Ten tweede opteert men ook best voor verlichting waarbij een hoge lichtstroom gecreëerd wordt bij een laag wattage. Hierdoor dienen er minder lichtarmaturen gebruikt te worden, wat resulteert in een beter E-peil. Een daling van 1 E-peil punt wordt op deze manier gerealiseerd bij een stijging van 200 lumen per lichtarmatuur.

De ventilatie heeft uiteraard ook een invloed op het E-peil: het E-peil zal niet veranderen zolang het toe-en afvoerdebiet gelijk blijven. Deze verandering is te verklaren door het gebruik van een warmteterugwinapparaat. Indien het afvoerdebiet groter is dan het toevoerdebiet, wordt er een overmatige hoeveelheid warmte onbenut en naar buiten gevoerd. Het E-peil zal hierdoor uiteraard stijgen. Bij een verschil van 5000 m<sup>3</sup>/h zal er op deze manier een stijging in het E-peil van ongeveer 3 punten geïntroduceerd worden. Ook indien het afvoerdebiet lager is dan het toevoerdebiet, geldt een gelijkaardige redenering en zal het E-peil op een gelijkaardige manier veranderen. De grotere hoeveelheid toegevoerde lucht kan door de geringere hoeveelheid afgevoerde lucht niet genoeg verwarmd worden waardoor extra verwarmingsenergie verbruikt wordt. Het is dus aan te raden om toe- en afvoerdebiet even groot te houden.

Tot slot is er nog een zeer belangrijke parameter die een grote en opvallende invloed heeft op het E-peil: het fotovoltaïsch systeem. Er is gebleken dat het totaal piekvermogen van de PV-panelen een zeer gunstige invloed heeft op het E-peil. Dit gaat zelfs zover dat het mogelijk is om een negatief E-peil te bekomen. Dit is volgens ons een zeer merkwaardige vaststelling. Dit betekent namelijk dat men steeds aan de eis van het E-peil kan voldoen, zolang men maar investeert in voldoende PV-panelen. De plaats van deze PV-panelen (gebouw- of perceelsgebonden) heeft hierbij geen belang. Dit betekent dus dat bijvoorbeeld het plaatsen van PV-panelen in de tuin kan zorgen voor een verlaging van het E-peil.

### **7.3 Oververhitting**

Er is geen afzonderlijke eis voor kantoorgebouwen in Vlaanderen aangaande de oververhitting. Dit in tegenstelling tot de woongebouwen, waar er wel zo'n eis bestaat en die een maximale indicator op oververhitting gelijk aan 6500 K.h voorschrijft. Dit is eigenaardig aangezien er begrepen kan worden dat grote glaspartijen kunnen zorgen voor oncomfortabel hoge binnentemperaturen in de zomer. Om toch een raming te kunnen maken van dit niet te onderschatten risico op oververhitting wordt daarom gebruik gemaakt van een woongebouw met identieke afmetingen als het kantoor. Hierbij is er specifiek gekeken naar de warmtewinsten ten gevolge van de bezonning van het gebouw, aangezien dit de belangrijkste warmtewinsten zijn die het risico op oververhitting verhogen. Er zijn verschillende parameters die hierbij een invloed hebben op dit risico, die in de volgende paragrafen besproken worden.

De eerste parameter is de oppervlakte en oriëntatie van de ramen. Uit de resultaten blijkt dat de oppervlakte van de ramen een zeer grote invloed heeft op het risico op oververhitting. Hoe groter de raamoppervlakte immers is, hoe meer de warmte afkomstig van de zon het gebouw zal kunnen binnengaan en hoe groter deze warmtewinsten zullen zijn. Door het serre-effect zal deze warmte gevangen blijven in het gebouw, wat zorgt voor een groter risico op oververhitting. Het is ook zeer duidelijk dat er voor de zuidgevel een groter risico op oververhitting is dan voor de andere drie gevels. Dit is ook hetgeen intuïtief verwacht kan worden: het is een logisch gevolg van de zonnstanden in de verschillende windrichtingen. Op de oostelijke en westelijke gevels is het aandeel toetredende zonnestrallen hoger dan op de noordelijke gevels, maar het is toch een beduidend kleiner aandeel in vergelijking met de zuidelijk georiënteerde gevels.

Een tweede parameter is de zonnetoetredingsfactor. Een lagere g-waarde betekent een kleinere hoeveelheid zonnestrallen die door de ramen het gebouw intreden, waardoor er minder warmtewinsten zullen zijn. Dit zal uiteraard resulteren in een lager risico op oververhitting, zeker bij gebouwen met veel glaselementen in de gevel.

Vervolgens wordt de invloed van thermisch verbeterde afstandshouders besproken. Zoals reeds vermeld zorgen deze afstandshouders voor een verbetering van de U-waarde van het raam, waardoor een betere isolerende werking verkregen wordt. De warmtewinsten zullen daardoor minder gemakkelijk via transmissie naar buiten kunnen treden, waardoor er een verhoging van het risico op oververhitting optreedt. Hierbij maakt het overigens ook niet uit of deze afstandshouders aangebracht worden in het noorden, oosten, zuiden of westen.

Ten vierde zal het aanbrengen van coating op de beglazing een positief effect hebben op het risico op oververhitting. Een coating op de beglazing zorgt er namelijk voor dat er minder zonnestrallen binnentreden waardoor er minder warmtewinsten in het gebouw aanwezig zijn. Bijgevolg zal het risico op oververhitting afnemen. Net zoals bij de thermisch verbeterde afstandshouders maakt het hierbij niet uit in welke gevel deze coating aangebracht wordt.

De voorlaatste parameter die een invloed heeft op de warmtewinsten ten gevolge van de bezonning van het gebouw, is het type raamprofiel. Een metalen raamprofiel met thermische onderbreking is hierbij het beste. Indien deze thermische onderbreking niet aanwezig is, zal het risico op oververhitting sterk toenemen ten gevolge van de goede geleidbaarheid van metaal aangezien de warmte dan makkelijk door het metaal kan binnendringen.

De laatste factor die besproken wordt en die een positieve invloed heeft op het risico op oververhitting, is het aanbrengen van een zonnewering. Hierbij hangt de beperking van het risico op oververhitting af van drie factoren: de positie van de zonnewering, de oriëntatie van de gevels waar de zonnewering wordt aangebracht en het bedieningssysteem:

- positie van de zonnewering: een buitenzonnewering is het beste in vergelijking met de andere types. De warmte wordt met een buitenzonnewering het meeste buiten het gebouw gehouden, wat uiteraard het beste is;
- oriëntatie van de gevels waar de zonnewering wordt aangebracht: zonnewering aan de zuidgevel levert het meeste voordeel op aangezien de ramen in deze gevels het grootste risico op oververhitting met zich meebrengen;
- bedieningssysteem van de zonnewering: vaste zonneweringen beperken het risico op oververhitting meer dan mobiele zonneweringen aangezien deze zonneweringen permanent aanwezig zijn. Indien er toch geopteerd wordt voor een mobiele zonnewering wordt aangeraden voor een automatische bediening te opteren.

#### **7.4 Maximale raamoppervlakte**

In het laatste hoofdstuk van deze thesis is de maximale raamoppervlakte bepaald. Hierbij wordt er vooral gekeken naar de eis in verband met het K-peil, aangezien het E-peil gemakkelijk verlaagd kan worden met behulp van PV-panelen. In tweede instantie zijn de bekomen waardes ook getoetst aan het risico op oververhitting. Dit is echter slechts een benadering, aangezien er in Vlaanderen voor kantoren geen eis is inzake het risico op oververhitting. Het geeft echter een goede indicatie aangezien er gebruik gemaakt is van een woning met identieke afmetingen.

Het bepalen van de maximale raamoppervlakte is vervolgens driemaal uitgevoerd:

- eerste keer: optimale configuratie,
- tweede keer: standaard configuratie, waarbij de vereenvoudigde manier van ingeven gebruikt wordt,
- derde keer: standaard configuratie, waarbij de niet-vereenvoudigde manier van ingeven gebruikt wordt.



De resultaten van deze simulaties zijn gebundeld in Tabel 56:

**Tabel 56: Maximale raamoppervlakte**

Raamoppervlakte (%)		
Optimaal	Standaard – vereenvoudigd	Standaard – niet-vereenvoudigd
100	50	80

Zoals te zien is in deze tabel, is er een zeer groot verschil tussen de vereenvoudigde en niet-vereenvoudigde manier van ingeven. De reden achter dit grote verschil is te verklaren door het feit dat er bij de vereenvoudigde bepaling van de U-waarde vanuit wordt gegaan dat het raam bestaat uit 30% raamprofiel en 70% uit beglazing. Deze benadering is aanvaardbaar bij kleine raamoppervlaktes. Indien men echter grote ramen voorziet, is dit een overschatting van de hoeveelheid raamprofiel, wat door zijn hogere  $U_F$ -waarde resulteert in een hogere U-waarde van het geheel. Deze hogere U-waarde resulteert op zijn beurt in een verhoging van het K-peil.

## 7.5 Opmerkingen in verband met dit onderzoek

Tot slot zouden we graag nog enkele opmerkingen willen formuleren aangaande het geleverde onderzoek. Deze opmerkingen gaan zowel over rariteiten die we gedurende het maken van deze thesis zijn tegengekomen, maar ook over de gebreken van ons onderzoek.

Ten eerste zouden we nogmaals willen terugkomen op een item dat al een paar keer genoemd is: het ontbreken van een eis op het risico op oververhitting voor kantoorgebouwen in Vlaanderen. Volgens ons is dit een zeer vreemd gegeven, aangezien het comfort in een gebouw in grote mate door de oververhitting bepaald wordt. Het is dus merkwaardig dat er geen reglementering is aangaande de oververhitting omdat in een kantoor op weekdays vaak zeer veel mensen aanwezig zijn op een beperkte ruimte.

Een gevolg van het ontbreken van deze eis, bestaat erin dat een kantoor op relatief makkelijke wijze kan voldoen aan alle andere eisen. Indien een kantoor gecreëerd wordt dat net voldoet aan de eisen in verband met de U-waardes, het K-peil en ventilatie, kan er automatisch voldaan worden aan alle andere eisen door het plaatsen van genoeg zonnepanelen. Zoals reeds aangehaald zorgen zonnepanelen immers voor een grote daling van het E-peil; er kunnen zelfs negatieve waardes bereikt worden. Op deze manier is logischerwijs ook voldaan aan de eis inzake hernieuwbare energie. Het maakt dus niet uit wat de g-waarde van het glas is, welke verwarming, koeling... voorzien wordt, aangezien deze gebreken allemaal gecompenseerd kunnen worden door het verhogen van het piekvermogen van de PV-panelen. Het lijkt ons dan ook aangewezen dat er ook voor kantoren zo snel mogelijk een eis in verband met het risico op oververhitting komt!

Ten tweede willen we ook nog even stilstaan bij het gebruik van de coating op de beglazing. De resultaten bekomen in de software stemmen immers niet overeen met wat verwacht wordt. De coating zou moeten zorgen voor een verlaging van de U-waarde van het raam, maar de software geeft een tegenovergesteld effect aan. Wegens tijdsgebrek zijn we er niet in geslaagd een verklaring te vinden voor dit probleem, dus dit is zeker iets dat met de nodige voorzichtigheid behandeld moet worden.

Verder zijn er nog een aantal andere gebreken aangaande ons onderzoek. Deze gebreken worden hieronder opgelijst, en kunnen een bron zijn voor eventueel verder onderzoek:

- bij de simulaties van verwarming en koeling is er uitgegaan van één installatie die instaat voor het volledige gebouw. Er is echter niet onderzocht wat er verandert indien er meerdere installaties gebruikt worden;
- het gevoerde onderzoek is enkel geldig voor het Vlaamse Gewest. Of de bevindingen van deze thesis ook gelden voor de andere gewesten is niet onderzocht. We vermoeden dat het merendeel van de conclusies geldig blijven, maar zekerheid hierover is er niet;
- een parameter die niet onderzocht is, is de dimensionering van het gebouw zelf. Er is met andere woorden niet onderzocht of de conclusies die in deze thesis gemaakt worden ook geldig zijn bij een kantoorgebouw met andere afmetingen;
- door het ontbreken van een bestaand kantoorgebouw om de simulaties op uit te voeren is er nagenoeg geen aandacht besteed aan de bouwknopen. Aangezien bouwknopen een grote invloed kunnen hebben, kan dit toch als een ernstig gebrek aanzien worden;
- er is geen rekening gehouden met de kostprijs van de verschillende oplossingen en installaties. Een interessant onderzoek dat verdergaat op deze thesis zou bijvoorbeeld kunnen zijn dat er voor een kantoorgebouw bepaald wordt wat de meest kosten-efficiënte manier is om het K- en E-peil te verlagen.

## Bibliografie

- [1] United Nations Framework, „Kyoto Protocol to the United Nations Framework,” Kyoto, Japan, 1998.
- [2] Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie, „Richtlijn 2002/91/EG van 16 december 2002, betreffende de energieprestatie van gebouwen,” Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie, 2002.
- [3] Het Vlaamse Energieagentschap, „Energiesparen,” Het Vlaams Energieagentschap, [Online]. Available: [www.energiesparen.be](http://www.energiesparen.be). [Geopend 12 oktober 2015].
- [4] Vlaamse Overheid, „Ministerieel besluit betreffende de opleiding tot verslaggever en de opleidingsinstellingen bedoeld in [artikel 8.6.1 en 8.6.3] van het Energiebesluit van 19 november 2010,” Vlaamse Overheid, 2010.
- [5] Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf - WTCB, „wtcb.be,” [Online]. Available: <http://www.wtcb.be>. [Geopend 18 november 2015].
- [6] Fédération Wallonie-Bruxelles, „énergie wallonie,” Fédération Wallonie-Bruxelles, [Online]. Available: <http://energie.wallonie.be>. [Geopend 18 november 2015].
- [7] Leefmilieu Brussel, „leefmilieu brussel.brussels,” Leefmilieu Brussel, [Online]. Available: <http://www.leefmilieu.brussels>. [Geopend 18 november 2015].
- [8] Vlaamse Regering, „Bepalingsmethode van het peil van primair energieverbruik van niet-residentiële eenheden,” in *Bijlage VI - EPN methode*, 2016.
- [9] Vlaamse Regering, „Bepalingsmethode van het peil van primaire energieverbruik van residentiële eenheden,” in *Bijlage V - Bepalingsmethode EPW*, 2015.
- [10] „passiefhuis-platform,” Passiefhuis-Platform vzw, 2011 oktober 26. [Online]. Available: <http://www.passiefplus.be>. [Geopend 19 september 2015].
- [11] Vlaamse Regering, „Berekening van de warmtedoorgangscoefficiënt van wanden van gebouwen (U-waarde) en van de warmteoverdrachtscoefficient door transmissie in gebouwen (H-waarde),” in *Transmissie Referentie Document - Belgisch Staatsblad*, 2010.
- [12] „Thermisch verbeterde afstandhouders, Psi-waarde ( $\Psi$ ) en hun invloed op de Uw-waarde van het venster,” Verbond van de glasindustrie vzw, Brussel, 2010.
- [13] Altran\_SA/NV en Lucid-Ulg, *Software voor het bepalen van de energieprestatie van gebouwen*, SPW - DG04, leefmilieu Brussel 2011, 2016.
- [14] Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor de Bouwnijverheid, „Glas en glasproducten, functies van beglazing,” WTCB, 1999.
- [15] PATHB2010, *Implementatie van bouwknopen in EPR*, 2010.
- [16] Het Vlaamse Energieagentschap, „Goedkeuringsleidraad externe warmtelevering versie 2.0,” 2014.
- [17] Het Vlaamse Energieagentschap, „Veelgemaakte fout: warmteopwekkingssysteem,” 2014.
- [18] Egeon B.V.B.A., Egeon B.V.B.A., 2015. [Online]. Available: <http://www.egeon.be/haalbaarheidsstudie/warmtekrachtkoppeling-of-wkk-dimensionering-steun-economische-analyse>. [Geopend 10 December 2016].

- [19] Vlaamse Regering, „Besluit van de Vlaamse Regering houdende algemene bepalingen over het energiebeleid,” Staatsblad, 2010.
- [20] Wetenschappelijk en Technische Centrum voor de Bouwnijverheid, „Ventilatie van gebouwen – Ontwerp- en dimensioneringseisen,” februari 2010. [Online]. Available: <http://www.wtcb.be/>. [Geopend 6 mei 2016].
- [21] Derito, „Glas en zonwering,” [Online]. Available: <http://www.derito.be>. [Geopend 29 April 2016].

# Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

**Gevels (geheel) in glas en gebouwen met lage energiewaarden of passieve gebouwen: ontwerp en comfort**

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**

Jaar: **2016**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

**Baens, Tom**

**Hermans, Jeroen**

Datum: **6/06/2016**