

19/02/2019

LEUVEN

Berekening energiebesparing coatings

Inhoud

Berekening energiebesparing coatings	1
1. Inleiding.....	2
2. Simulatie	2
2.1. Geometrie en gebouwschil van het magazijn	2
2.2. Binnenklimaat.....	3
2.3. Buitenklimaat.....	4
2.4. Dynamisch gebouwmodel	5
2.4.1. Eigenschappen van de twee dakbedekkingen	5
2.4.2. Bodemeigenschappen.....	5
2.4.3. Overgangsweerstanden	6
2.4.4. Interne winsten	6
2.4.5. Modelling PV panelen	6
2.4.6. Verschillende gebouwschilmodellen.....	7
3. Tussentijdse resultaten	7
3.1. Basismodel.....	8
3.2. Modelvarianten.....	9
3.2.1. Sensitiviteit parameters	9
3.2.2. Impact van de coating.....	11
3.2.3. Impact van de coating – Energiegebruik	14
3.3. Voorlopige conclusies	16
4. Finale resultaten	17
4.1. Buitenklimaat en hoogte van het magazijn	18
4.2. Isolatiekwaliteit gebouwschil	19

4.3.	Binnenklimaat: Insteltemperatuur en infiltratiedebiet	22
4.4.	PV-panelen en dakkoepels	24
4.5.	Vloeroppervlakte van het magazijn	28
5.	Rekentool	29
6.	Conclusie	30
7.	Referenties	32

1. Inleiding

De Afdeling Bouwfysica van de KU Leuven werd gevraagd door Liquisol om een onderzoek te doen naar de energiebesparing en comfortverbetering in een magazijn door gebruik te maken van coatings. Met behulp van dynamische simulaties zullen jaarsimulaties worden gemaakt om het effect van de 2WHITE-coating als afwerkingslaag op het dak te begroten. Er werd overeen gekomen verschillende varianten te onderzoeken van de volgende parameters:

- Twee verschillende dakafwerkingen: EPDM, 2WHITE
- Vijf varianten van buitenklimaten
- Vijf verschillende isolatiediktes van de gebouwschil
- Varianten van binnenklimaat (insteltemperaturen en ventilatievouden)

Onderstaand worden in hoofdstuk 2 de veronderstelde randvoorwaarden voor deze simulaties samengevat: de geometrie en gebouwschil van het magazijn, de binnenklimaten, de buitenklimaten en het opgestelde gebouwmodel. In hoofdstuk 3 worden de resultaten besproken.

2. Simulatie

2.1. Geometrie en gebouwschil van het magazijn

Er werd een magazijn doorgerekend met een vloeroppervlakte van 4900 m² (70 m x 70 m), met twee mogelijke hoogtes: een hoogte van 2.5 m, waardoor het totaal volume 12 250 m³ is en een hoogte van 6 m, waardoor het totaal volume 29 400 m³.

Dit volume wordt als één zone gemodelleerd, maar er zal wel rekening gehouden worden met de interne wanden en goederen die zich mogelijks in het magazijn kunnen bevinden. Ten eerste zal er extra massa worden toegevoegd in het volume, representatief voor de interne wanden in het magazijn. De oppervlakte van deze wanden wordt aangenomen als vier wanden die de volledige ruimte doorkruisen: een totaal van 700 m² voor het magazijn van 2.5 m hoog (4 x 2.5 x 70) en 1680 m² voor het magazijn van 6 m hoog (4 x 6 x 70). Ten tweede zal de thermische capaciteit van de goederen die zich in het magazijn bevinden ingerekend worden door de luchtcapaciteit te vertienvoudigen.

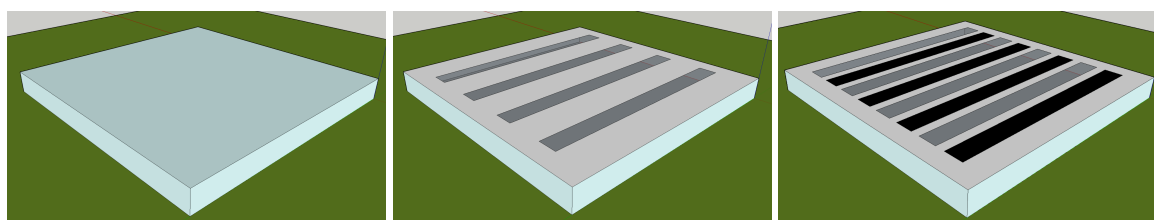
Tabel 1 omvat een overzicht van de vijf verschillende isolatiekwaliteiten van de gebouwschil die beschouwd worden: een niet-geïsoleerde schil, twee varianten van een lichte gebouwschil (5 cm en 10 cm isolatie) en twee varianten van een zwaardere gebouwschil (5 cm en 10 cm isolatie). De niet-

geïsoleerde gebouwschil (schil 1) is volledig opgebouwd uit betonplaten. Bij de lichte gebouwschilvarianten (schil 2 en schil 3) bestaan de wanden en het dak uit sandwichpanelen, met een geïsoleerde betonnen vloer. Bij de zwaardere gebouwschilvarianten (schil 4 en 5) zijn de vloer en de wanden opgebouwd uit geïsoleerde betonplaten, terwijl enkel het dak uit sandwichpanelen bestaat.

Tabel 1: Vijf varianten van de gebouwschil van het magazijn. Per component totale dikte d en U -waarde inclusief overgangscoefficienten (equivalente U -waarde voor de vloer, berekend volgens Bijlage V [5])

	Wanden	Vloer	Dak
Schil 1	Cellenbetonplaten $d = 17.5$ cm $U = 0.60$ W/(m ² K)	Gewapend beton $d = 15$ cm $U_{eq} = 0.80$ W/(m ² K)	Cellenbetonplaten $d = 24$ cm $U = 0.44$ W/(m ² K)
Schil 2	Sandwichpaneel (PUR-kern en metaal-afwerking) $d = 8.4$ cm $U = 0.38$ W/(m ² K)	Gewapend beton, geïsoleerd met 5 cm PUR $d = 20$ cm $U_{eq} = 0.35$ W/(m ² K)	Sandwichpaneel (PUR-kern en metaal-afwerking) $d = 8.4$ cm $U = 0.38$ W/(m ² K)
Schil 3	Sandwichpaneel (PUR-kern en metaal-afwerking) $d = 13.8$ cm $U = 0.19$ W/(m ² K)	Gewapend beton, geïsoleerd met 10 cm PUR $d = 25$ cm $U_{eq} = 0.22$ W/(m ² K)	Sandwichpaneel (PUR-kern en metaal-afwerking) $d = 13.8$ cm $U = 0.19$ W/(m ² K)
Schil 4	Prefab betonpaneel (PUR-kern tussen 2 betonplaten) $d = 20$ cm $U = 0.50$ W/(m ² K)	Gewapend beton, geïsoleerd met 5 cm PUR $d = 20$ cm $U_{eq} = 0.35$ W/(m ² K)	Sandwichpaneel (PUR-kern en metaal-afwerking) $d = 8.4$ cm $U = 0.38$ W/(m ² K)
Schil 5	Prefab betonpaneel (PUR-kern tussen 2 betonplaten) $d = 25$ cm $U = 0.32$ W/(m ² K)	Gewapend beton, geïsoleerd met 10 cm PUR $d = 25$ cm $U_{eq} = 0.22$ W/(m ² K)	Sandwichpaneel (PUR-kern en metaal-afwerking) $d = 13.8$ cm $U = 0.19$ W/(m ² K)

Naast deze vijf gebouwschilvarianten zal ook de invloed van lichtkoepels en PV-panelen op het dak geanalyseerd worden, zoals geïllustreerd door Figuur 1. Eerst zal een dak zonder lichtkoepels en PV-panelen bekeken worden, vervolgens zal 15 % van de dakoppervlakte als lichtkoepels verondersteld worden, daarna 25 % van de dakoppervlakte als PV-panelen en ten slotte een combinatie van beide.



Figuur 1: Verschillende varianten van het dak: links geen lichtkoepels of PV-panelen, midden 15 % lichtkoepels of 25 % PV-panelen, rechts 15 % lichtkoepels en 25 % PV-panelen.

2.2. Binnenklimaat

In de offerte werd voorgesteld om vier varianten van het binnenklimaat door te rekenen: twee insteltemperaturen voor de verwarming, alsook twee waarden voor het infiltratievoud van het gebouw. Daarom zal de simulatie worden uitgevoerd voor een gewenste constante binnentemperatuur van 16 °C en 21 °C. Verder zal de berekening uitgevoerd worden voor drie waarden van het infiltratiedebiet: 6,

3 of 1.5 m³/h per vierkante meter vloeroppervlakte. Doordat deze waarde afhankelijk is van het gebouwvolume en de vloeroppervlakte, zal het infiltratievoud (i.e. aantal luchtwisselingen van het volume per uur) verschillen voor de twee groottes van het magazijn. Deze waarden worden weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2: Verschillende varianten van het infiltratiedebiet en de resulterende waarden voor het infiltratievoud (Air Changes per Hour - ACH) voor de twee groottes van het magazijn

Debiet	m ³ /hm ²	6	3	1.5
ACH groot	1/h	1.00	0.50	0.25
ACH klein	1/h	2.40	1.20	0.60

2.3. Buitenklimaat

Er werden vijf steden geselecteerd met verschillende klimaatregimes, waarvoor de simulaties zullen worden uitgevoerd:

1. Verenigd Koninkrijk Londen
2. Spanje Madrid
3. Frankrijk Nancy
4. Tsjechië Praag
5. Saudi-Arabië Riyadh



Figuur 2: Klimaatzones van de geselecteerde steden

2.4. Dynamisch gebouwmodel

De dynamische simulaties werden uitgevoerd met behulp van het softwarepakket TRNSYS. De aannames voor verschillende parameters worden in deze paragraaf opgesomd.

2.4.1. Eigenschappen van de twee dakbedekkingen

Ten eerste werden de eigenschappen van de 2WHITE-coating door de opdrachtgever aangeleverd in een rapport van Fraunhofer IBP: de emissiefactor van de coating is gelijk aan 0.91, de reflectiefactor is 0.86 en de absorptiefactor is 0.14.

Ten tweede geven verschillende bronnen aan dat de emissiefactor voor EPDM-dakbedekking gelijk gesteld kan worden aan 0.86, en de reflectiefactor gelijk aan 0.06. Daarmee kan de absorptiefactor gelijk gesteld worden aan 0.94. (zie [1] en [4])

2.4.2. Bodemeigenschappen

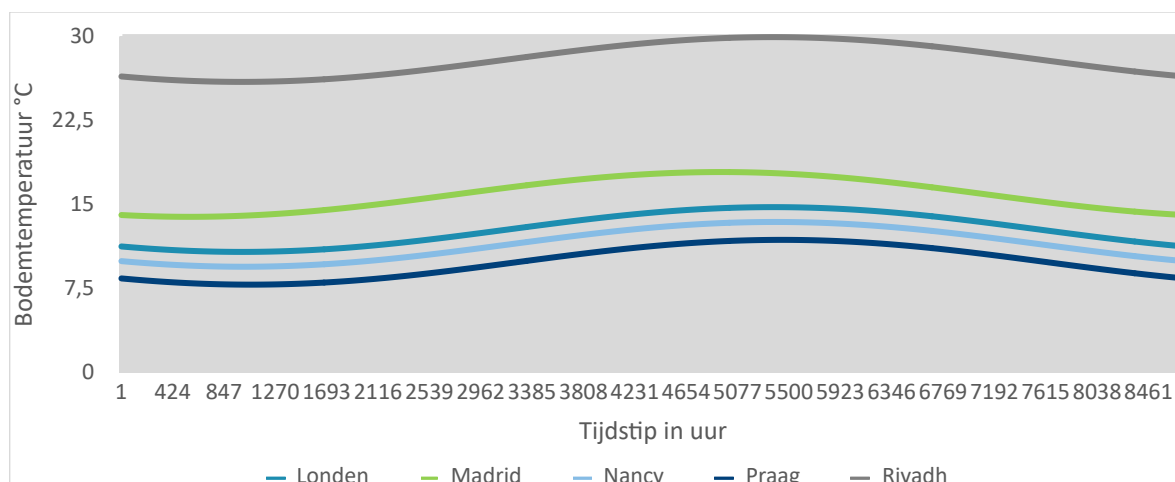
Voor de bodem werden de volgende thermische eigenschappen verondersteld:

- Thermische geleidbaarheid 12.2 kJ/(h.m.K)
- Dichtheid 2650 kg/m³
- Specifieke warmte 0.85 kJ/(kg.K)

Verder werd er voor de bodemtemperatuur T_{grond} een sinusmodel opgesteld in functie van de tijd (t in uur), dat werd opgelegd als randvoorwaarde op 0.50 meter onder de vloer. De opgestelde sinusfunctie is, naast het tijdstip t , ook afhankelijk van de gemiddelde buitentemperatuur $T_{e,gem}$ en van het tijdstip waarop de buitentemperatuur minimaal is in het jaar t_{min} . In de functie werd verondersteld dat de bodemtemperatuur 30 dagen na de minimale buitentemperatuur minimaal is.

$$T_{grond} = 2 * \sin \left[\frac{2\pi}{8760} * (t - (2910 + t_{min})) \right] + (T_{e,gem} + 2)$$

De variatie van deze bodemtemperatuur voor de vijf locaties wordt voorgesteld in Figuur 3.



Figuur 3: Bodemtemperatuur op 50 cm onder de vloer, als resultaat van het sinusmodel

2.4.3. Overgangsweerstanden

De convectieve overgangsweerstanden voor de verschillende gebouwcomponenten werden vastgelegd op de volgende waarden, in navolging van norm ISO 6946:2007 – bijlage A [3]:

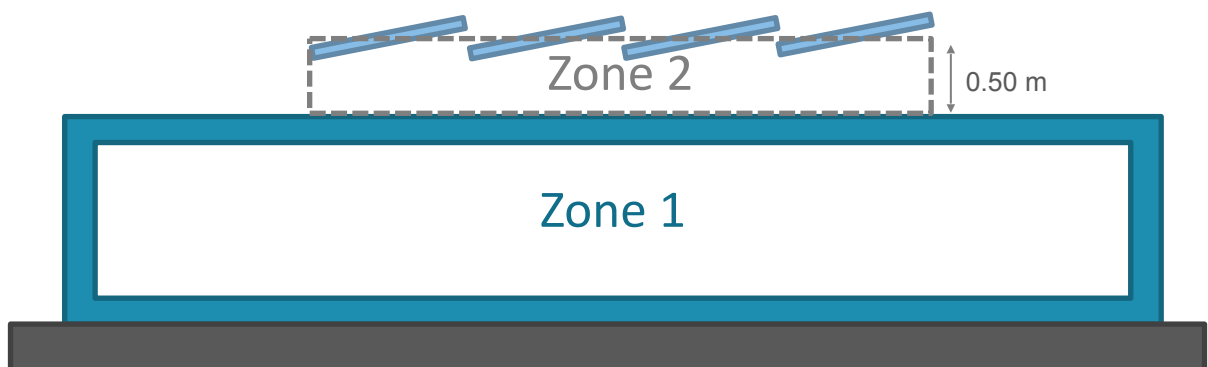
- Aan de binnenzijde:
 - o $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ voor warmtestroom opwaarts → $18 \text{ kJ/hm}^2\text{K}$
 - o $2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ voor warmtestroom horizontaal → $9 \text{ kJ/hm}^2\text{K}$
 - o $0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ voor warmtestroom neerwaarts → $2.5 \text{ kJ/hm}^2\text{K}$
- Aan de buitenzijde
 - o $4 + 4 \cdot v \text{ W/m}^2\text{K}$ met v de windsnelheid
Gemiddelde windsnelheid 3.5 m/s → $64 \text{ kJ/hm}^2\text{K}$
 - o Grond → $9999 \text{ kJ/hm}^2\text{K}$

2.4.4. Interne winsten

Vermits verlichting een belangrijke bron vormt van interne winsten, wordt hiervoor een waarde van 3 W/m^2 aangenomen, in navolging van de norm NBN EN 13779 2004 ([2] pag 24-25). Deze interne winsten worden echter enkel in het magazijn opgelegd bij afwezigheid van lichtkoepels als natuurlijke lichtbron.

2.4.5. Modelleren PV panelen

Indien er PV-panelen op het dak aanwezig zijn, zal de ruimte tussen de PV-panelen en het dak zich op een specifieke manier gaan gedragen. Daarom zal deze zone als een extra zone aan het model worden toegevoegd, zoals in onderstaande figuur wordt geïllustreerd. Zone 1 is hierbij het magazijn en zone 2 de ruimte tussen de PV-panelen en het dak. Hierbij werd aangenomen dat de gemiddelde hoogte van zone 2 0.50 meter bedraagt, met een infiltratievoud van 5 luchtwisselingen per uur.



Figuur 4: Illustratie modellering PV-panelen

2.4.6. Verschillende gebouwschilmodellen

De combinatie van alle variabelen resulteert in verschillende gebouwschilvarianten enerzijds en verschillende modellen anderzijds.

De gebouwschilvarianten kregen allemaal een code in de vorm van "Schilabcde" waarbij de volgende parameters variëren:

- a. 1 tem 5: Verwijzend naar de isolatiekwaliteit van de gebouwschil
- b. E of C: EPDM dakbedekking of Coating dakbedekking
- c. Y of N: PV panelen (25 %) op het dak aanwezig Yes of No
→ EPDM onder de PV panelen: Absorptiecoëfficiënt 0.94 & emissie 0.86
- d. L of H: Laag (2.5 meter) of Hoog (6 meter) magazijn
- e. D of L: D met dakkoepels & zonder interne winsten van verlichting
L zonder dakkoepels & met interne winsten van verlichting

De modelvarianten kregen allemaal een code in de vorm van "Modelfggh" waarbij de volgende parameters variëren:

- f. L, M, N, P of S: Buitenklimaat: Londen (L), Madrid (M), Nancy (N), Praag (P) of Riyadh (R)
- g. 16 of 21: De insteltemperatuur van de thermostaat tussen 7u en 19u
→ 's nachts is de insteltemperatuur steeds 16 °C
- h. a, b of c: Infiltratiedebiet tussen 7u en 19u: 6 m³/hm² (a), 3 m³/hm² (b) of 1.5 m³/hm² (c)
→ 's nachts is het infiltratiedebiet steeds 1.5 m³/hm²

3. Tussentijdse resultaten

In deze eerste reeks van simulaties worden enkel de resultaten van het magazijn met isolatiekwaliteit 2 bekeken (zie Tabel 1), in het buitenklimaat van Londen. De geanalyseerde output is tweeledig:

1. $t_{\text{oververhitting}}$ (uur) Het aantal uur in een jaar dat de binnentemperatuur hoger ligt dan 25 °C
2. Q_{verw} (kWh/m²) Energiegebruik voor de verwarming van het gebouw, per vierkante meter vloeroppervlakte per jaar.

Het energiegebruik Q is gedefinieerd als de warmtevraag van het gebouw gedeeld door het systeemrendement van de verwarmingsinstallatie, waarvoor een default waarde van 75 % werd aangenomen.

Onderstaand wordt allereerst een basismodel besproken, waarna in een tweede luik de invloed van de parameters wordt afgetoetst, om ten slotte te eindigen met een bespreking van de impact van het aanbrengen van de coating op het dak.

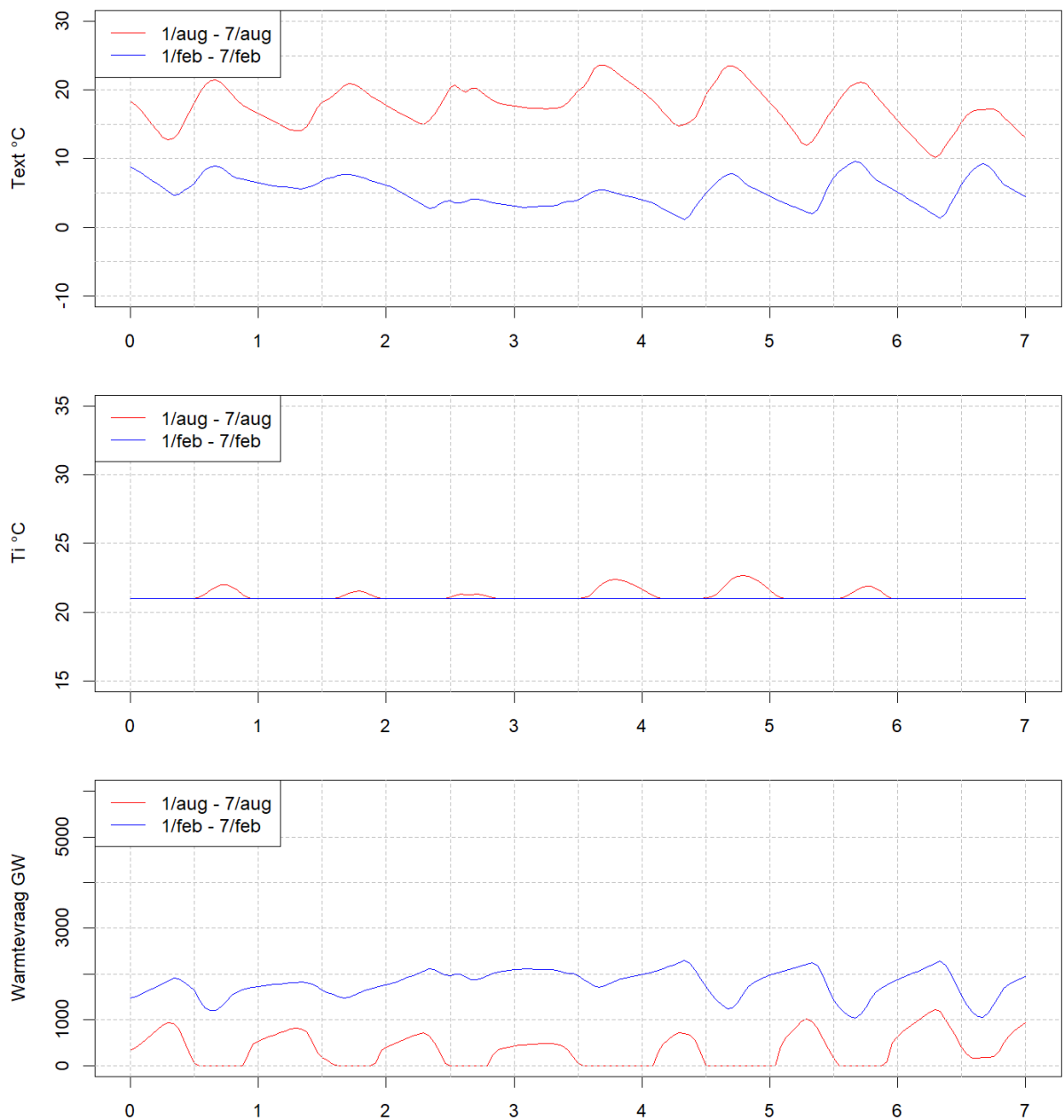
3.1. Basismodel

Er werd een basismodel gedefinieerd met de volgende parameters:

- Geen coating op het dak
- Geen PV panelen
- Een hoog magazijn (6 meter)
- Geen dakkoepels, wel interne winsten van de verlichting
- 21 °C als insteltemperatuur
- Infiltratiedebiet van 3 m³/hm²

Voor dit basismodel bedraagt $t_{\text{oververhitting}}$ slechts 15 uur over het hele jaar; enkel in augustus stijgt de binnentemperatuur in het magazijn boven 25 °C. Het energiegebruik Q_{verw} bedraagt 209.7 kWh/m² per jaar.

Figuur 5 toont de buitentemperatuur, de binnentemperatuur en de warmtevraag van het magazijn voor een week in de winter (van 1 februari tot 7 februari) en een week in de zomer (van 1 augustus tot 7 augustus). In de winterweek schommelt de buitentemperatuur tussen 0 °C en 10 °C, terwijl de binnentemperatuur constant op 21 °C gehouden wordt. Hierdoor schommelt de warmtevraag in een gelijkaardige trend als de buitentemperatuur, maar met een faseverschuiving: als de buitentemperatuur daalt, stijgt de warmtevraag van het magazijn pas enkele uren later. In de zomerweek schommelt de buitentemperatuur tussen 10 °C en 25 °C, terwijl de binnentemperatuur enkele pieken vertoont. Ook deze pieken zijn aanwezig met een faseverschuiving: de maximale binnentemperatuur op een dag zal enkele uren later bereikt worden als de maximale buitentemperatuur. Verder is de warmtevraag in de zomerweek relatief hoog, omwille van de hoge insteltemperatuur van de verwarming. Hierdoor moet er 's nachts bijverwarmd worden.



Figuur 5: Het verloop van de buitentemperatuur Text (°C), de binnentemperatuur Ti (°C) en de warmtevrraag (GW) in een week in de zomer en een week in de winter

3.2. Modelvarianten

3.2.1. Sensitiviteit parameters

Tabel 3 toont zeven varianten van het basismodel, waarbij telkens één parameter aangepast werd. De zeven varianten zijn de volgende:

1. De setpunttemperatuur werd aangepast van 21 °C naar 16 °C.
De oververhittingsuren dalen licht, maar blijven beperkt. (vermits een jaar 8760 uur heeft)

Het energiegebruik voor verwarming daalt met 57 %, doordat er in de zomer 's nachts niet meer moet worden bijverwarmd om de gevraagde temperatuur te behalen.

2. Het infiltratiedebiet werd aangepast van 3 m³/hm² naar 6 m³/hm²
De oververhittingsuren zijn hierdoor verdubbeld doordat het hoge infiltratievoud in de zomer de warme buitenlucht naar binnen doet stromen.
Het energiegebruik voor verwarming is ook gestegen, met 58 %, doordat het hoge infiltratievoud in de winter koude buitenlucht naar binnen trekt.
3. Het infiltratiedebiet werd aangepast van 3 m³/hm² naar 1.5 m³/hm²
Dit resulteert in het omgekeerde fenomeen als variant 2: zowel de oververhitting als het energiegebruik dalen omdat er minder buitenlucht naar binnen stroomt.
4. De dakbedekking zonder coating werd aangepast naar deze met coating
De oververhittingsuren zijn nu gedaald naar nul doordat de coating de warmte reflecteert in de zomer.
Het energiegebruik voor verwarming is gestegen met 7 % doordat de zonnepanelen in de winter lager zijn ten gevolge van de coating.
5. Het toevoegen van PV panelen aan het magazijn
De oververhittingsuren zijn licht gedaald, ten gevolge van de schaduw van de PV panelen: de zonnepanelen zijn nu lager.
Hierdoor is echter ook het energiegebruik voor verwarming licht gestegen, met 5 %. (minder zonnepanelen in de winter)
6. Het aanpassen van de hoogte van het magazijn van 6 meter naar 2.5 meter
De oververhittingsuren zijn verdriedubbeld: door het kleinere luchtvolume is er meer kans op oververhitting.
Het energiegebruik is licht gedaald, met 4 %. De hoogte van het magazijn heeft dus slechts een beperkte impact op het energiegebruik.
7. Het toevoegen van dakkoepels, terwijl de interne winsten van verlichting op nul gezet worden.
Hierdoor is er een spectaculaire stijging van de oververhittingsuren. De rechtstreekse zonnepanelen door de dakkoepels hebben een grote impact op de binnentemperatuur in het magazijn.
De energievraag voor verwarming is echter zeer gelijkaardig als het magazijn zonder dakkoepels.

Tabel 3: Modelvarianten: impact van de parameters

	BASIS	Var 1	Var 2	Var 3	Var 4	Var 5	Var 6	Var 7
Temperatuur	21	16	21	21	21	21	21	21
Infiltratie m³/hm²	3	3	6	1.5	3	3	3	3
Coating	Geen	Geen	Geen	Geen	2WHITE	Geen	Geen	Geen
PV panelen	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen	Ja	Geen	Geen
Hoogte magazijn	6 m	6 m	6 m	6 m	6 m	6 m	2.5 m	6 m
Dakkoepels (D) of verlichting (L)	L	L	L	L	L	L	L	D
T_{oververhitting} (h)	15	11	29	7	0	13	48	1384
Q_{verw} (kWh/m²)	209.7	90.6	331.5	128.3	223.6	221.1	201.0	208.6

3.2.2. Impact van de coating

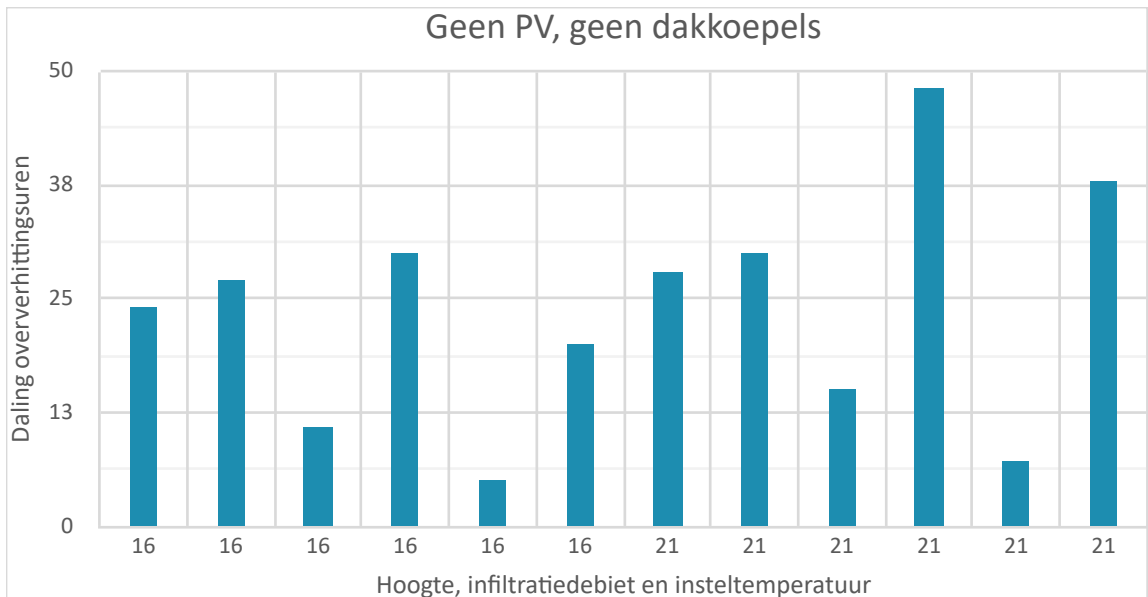
Voor de impact van het aanbrengen van de 2WHITE-coating op het dak te analyseren, werden de gebouwvarianten in vier grote groepen ingedeeld:

- Het gebouw zonder PV panelen en zonder dakkoepels
- Het gebouw met PV panelen en zonder dakkoepels
- Het gebouw zonder PV panelen en met dakkoepels
- Het gebouw met PV panelen en dakkoepels

In het eerste deel wordt de impact van de coating op de oververhittingstijd bekeken, in het tweede deel de impact op het energiegebruik. Onderstaande figuren tonen steeds de impact voor één gebouwvariant met of zonder 2WHITE-coating op het dak.

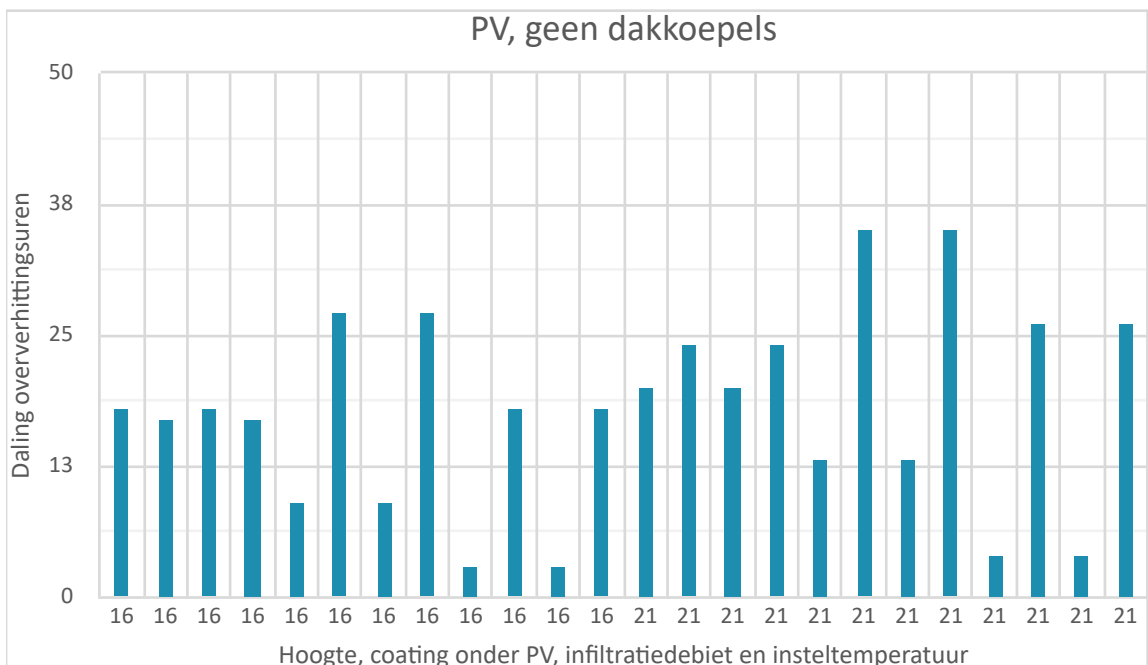
3.2.2.1. Oververhitting

Onderstaande grafieken tonen de daling van de oververhittingstijd in uur, ten gevolge van de coating. Figuur 6 toont de resultaten indien het magazijn geen PV-panelen of geen dakkoepels bevat. Hierbij valt het op dat de daling van de oververhittingstijd steeds groter is voor het lage magazijn (2.5 meter). Dit is grotendeels te wijten aan het feit dat het aantal oververhittingsuren steeds hoger ligt bij het lage magazijn. Zo werden de oververhittingsuren voor de eerste gebouwvariant op de figuur (hoog magazijn) teruggebracht van 24 uur naar 0 uur, terwijl de oververhittingsuren voor de tweede gebouwvariant (laag magazijn) dalen van 41 uur naar 14 uur.



Figuur 6: Daling van de oververhittingsuren ten gevolge van de coating - geen PV en geen dakkoepels

Verder is de daling aan oververhittingsuren voor het hoge magazijn omgekeerd evenredig met het infiltratiedebiet: bij een hoog infiltratiedebiet ($6 \text{ m}^3/\text{hm}^2$) is de daling groter dan bij een laag infiltratiedebiet ($1.5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$). Voor het lage magazijn is er echter geen relatie zichtbaar tussen de daling aan oververhittingsuren en het infiltratiedebiet. Ten slotte is de daling aan oververhittingsuren steeds groter bij een hogere insteltemperatuur.

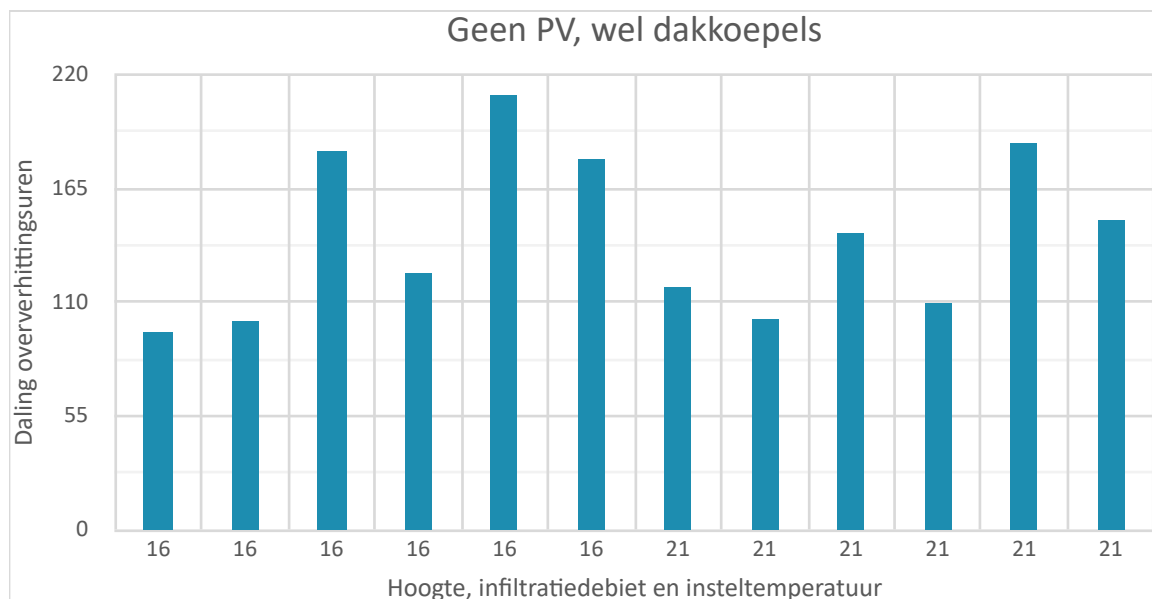


Figuur 7: Daling van de oververhittingsuren ten gevolge van de coating - Wel PV, geen dakkoepels

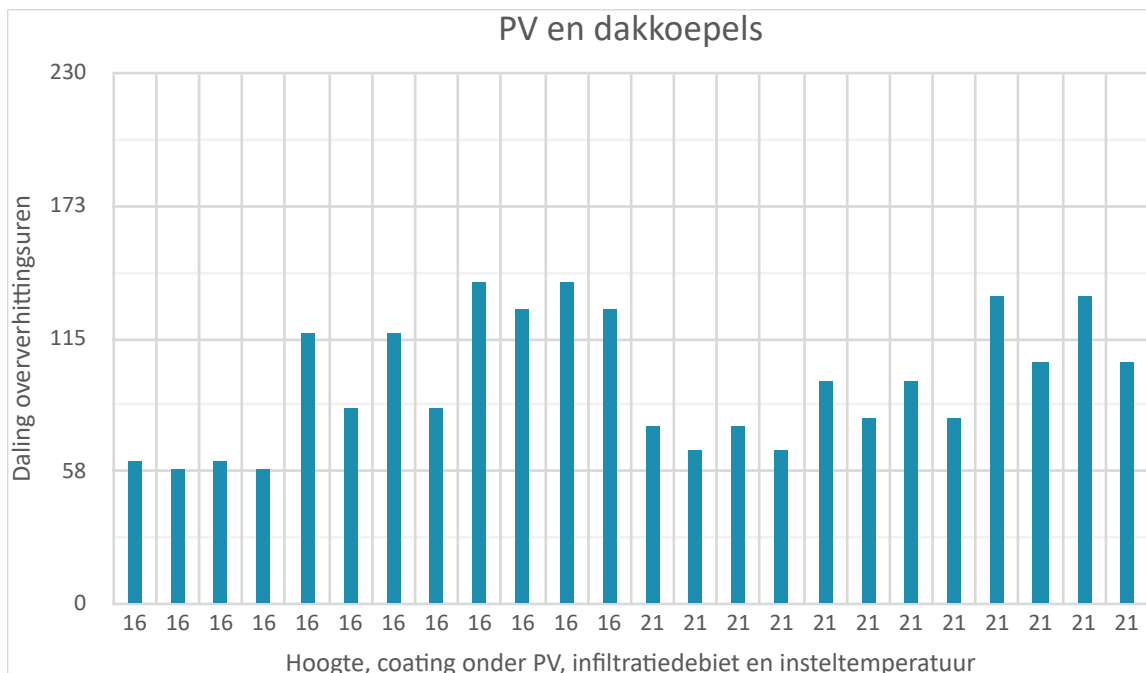
Figuur 7 toont de resultaten voor de gebouwvarianten met PV-panelen en zonder dakkoepels. Het verschil met Figuur 6 is dat de resultaten op Figuur 7 gemiddeld 25 % lager liggen: de maximale waarde op Figuur 6 bedraagt 48 terwijl dit op Figuur 7 slechts 35 is. Concreet wil dit zeggen dat er een

minder sterke daling aan oververhittingsuren is indien er PV-panelen op het dak zijn geplaatst. Een tweede verschil met Figuur 6 is dat op Figuur 7 een onderscheid wordt gemaakt tussen de situatie waarbij er onder de PV-panelen ook een coating aangebracht is (C) of niet (E). Dit lijkt echter geen impact te hebben: de daling in oververhittingsuren is steeds gelijk voor het geval dat er al dan niet een coating is aangebracht onder de PV-panelen. Wat betreft de verschillen tussen het hoge magazijn en het lage magazijn, de variatie van het infiltratiedebiet en de variatie van insteltemperatuur zijn dezelfde stellingen geldig als besproken werden op de voorgaande figuur.

Figuur 8 toont de resultaten voor de gebouwvarianten zonder PV-panelen en met dakkoepels. De daling aan oververhittingsuren ligt hier opvallend hoger dan in het geval zonder dakkoepels: op Figuur 6 en Figuur 7 lag de daling steeds tussen 0 en 50 uur, hier ligt de daling tussen 90 en 230 uur. Deze grotere dalingen komen procentueel gezien overeen met een gemiddelde daling van 10 % van de oververhittingstijd, aangezien het initieel aantal oververhittingsuren veel hoger ligt voor de gebouwvarianten met dakkoepels. Verder is het ook opmerkelijk dat het infiltratiedebiet nu een ander effect heeft op de daling aan oververhittingsuren; Zonder dakkoepels zorgde een hoger infiltratiedebiet voor een hogere daling, terwijl Figuur 8 voor de gebouwen met dakkoepels aantoont dat een hoog infiltratiedebiet zorgt voor een lagere daling. Dit effect is zichtbaar voor zowel de hoge als de lage gebouwvarianten. Ten slotte lijkt de insteltemperatuur van minder groot belang te zijn indien er dakkoepels aanwezig zijn: er is geen duidelijk verschil waarneembaar tussen een insteltemperatuur van 16 °C en van 21 °C.



Figuur 8: Daling van de oververhittingsuren ten gevolge van de coating - Geen PV, wel dakkoepels



Figuur 9: Daling van de oververhittingsuren ten gevolge van de coating - Met PV en dakkoepels

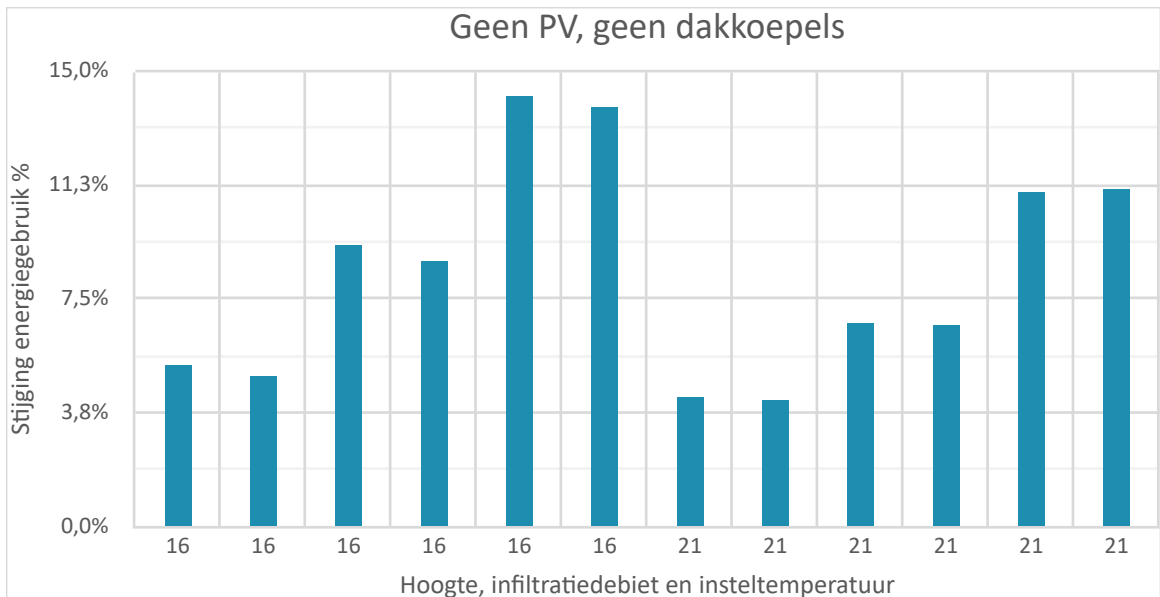
Figuur 9 toont de daling aan oververhittingstijd voor gebouwvarianten met PV-panelen en dakkoepels. Net zoals zonder dakkoepels, zorgt de aanwezigheid van PV-panelen voor een lagere daling aan oververhittingstijd: de resultaten van Figuur 9 liggen gemiddeld 33 % lager dan de resultaten van Figuur 8. Ook hier heeft de aanwezigheid van de coating onder de PV-panelen geen impact op de resultaten.

3.2.3. Impact van de coating – Energiegebruik

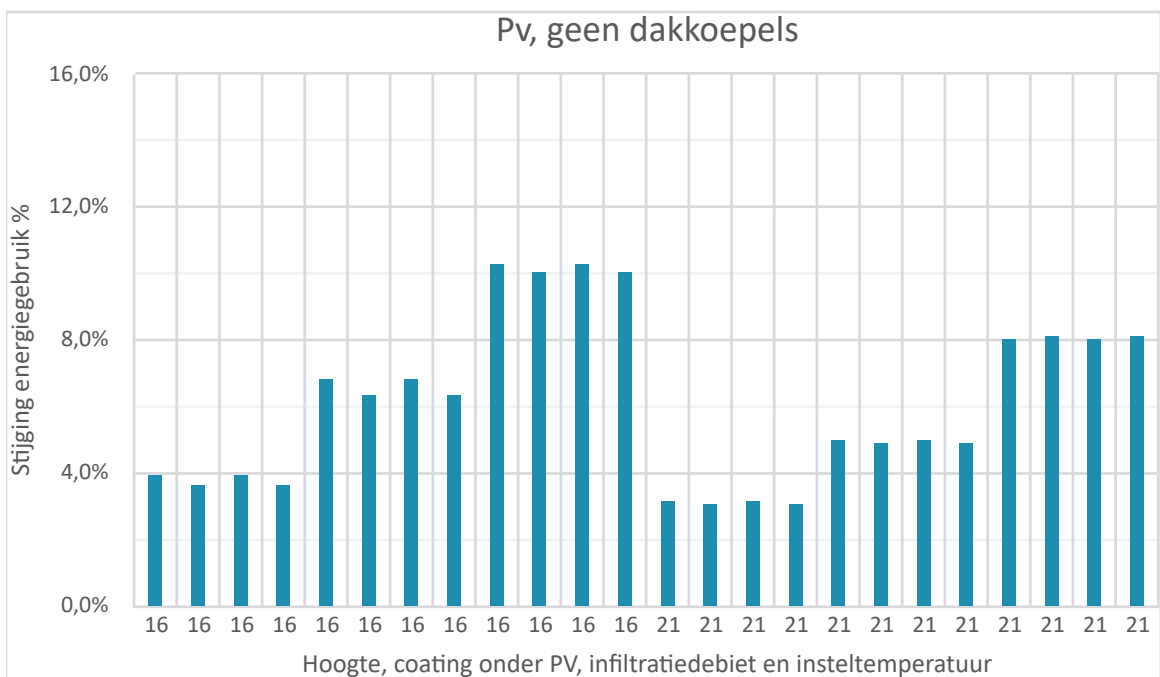
Onderstaande figuren tonen de impact van het aanbrengen van de 22WHITE-coating op het energiegebruik voor verwarming. Voor alle gebouwvarianten is het effect dat het energiegebruik zal stijgen ten gevolge van het aanbrengen van de coating. Figuur 10 toont de resultaten voor de gebouwvarianten zonder PV-panelen en zonder dakkoepels, Figuur 11 de gebouwvarianten met enkel PV-panelen, Figuur 12 de gebouwvarianten met enkel dakkoepels en Figuur 13 de gebouwvarianten met zowel PV-panelen als dakkoepels.

Net zoals voorgaand bij de daling van de oververhittingsuren, is de impact van de coating kleiner indien er PV-panelen op het dak zijn geplaatst, zowel voor de gebouwvarianten met als zonder dakkoepels. De resultaten op Figuur 11 liggen immers lager dan deze op Figuur 10, en de resultaten op Figuur 13 liggen lager dan deze op Figuur 12. Vervolgens is er echter ook een tegenstelling waarneembaar ten opzichte van de resultaten van de oververhitting: De daling van de oververhitting is veel groter indien er dakkoepels aanwezig zijn, terwijl de stijging van het energiegebruik veel lager is indien er dakkoepels aanwezig zijn. De stijging van het energiegebruik bedraagt zonder dakkoepels maximaal 14 %, terwijl deze met dakkoepels slechts 4 % bedraagt. Verder zijn er enkele trends zichtbaar die voor de vier gebouwvarianten geldig zijn:

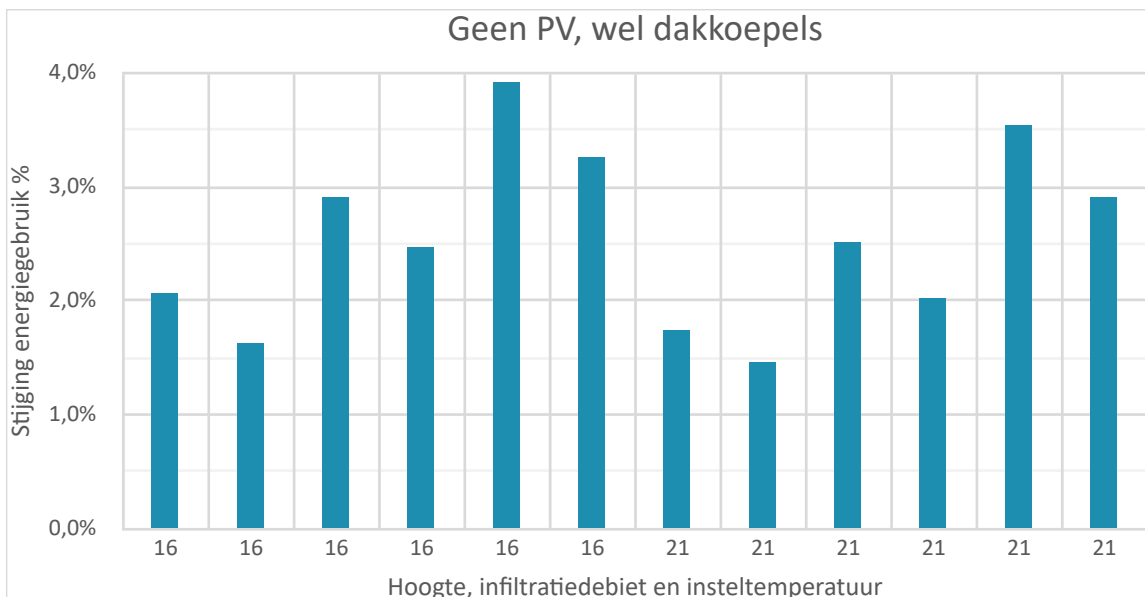
- De stijging van het energiegebruik is groter bij lagere infiltratiedebieten.
- De stijging van het energiegebruik is groter bij de hoge gebouwvarianten.



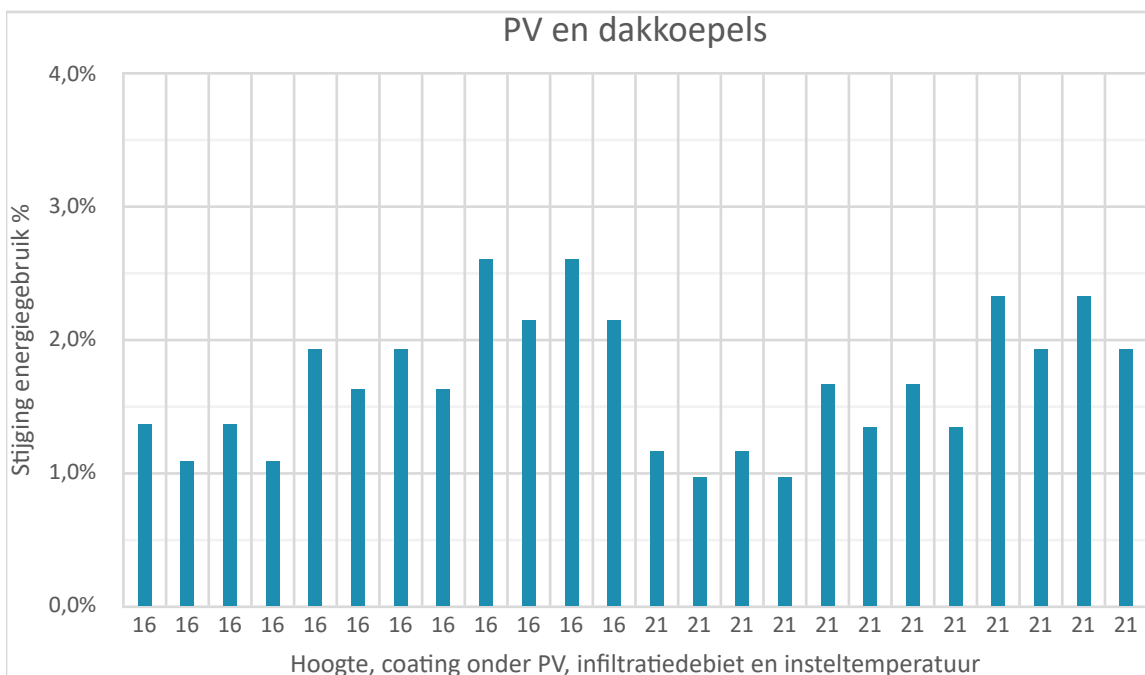
Figuur 10: Stijging energiegebruik ten gevolge van de coating - Geen PV en geen dakkoepels



Figuur 11: Stijging energiegebruik ten gevolge van de coating - Wel PV, geen dakkoepels



Figuur 12: Stijging energiegebruik ten gevolge van de coating - Geen PV, wel dakkoepels



Figuur 13: Stijging energiegebruik ten gevolge van de coating - PV en dakkoepels

3.3. Voorlopige conclusies

Rekening houdend met de randvoorwaarden die in deze studie worden opgelegd aan de simulaties (buitenklimaat in Londen, een magazijn met U-waarde 0.35-0.38 als isolatiekwaliteit) kunnen de volgende voorlopige conclusies getrokken worden:

- Het aanbrengen van de 2WHITE-coating op het dak heeft over het algemeen het effect dat het aantal oververhittingsuren zal dalen, terwijl het energiegebruik voor verwarming zal stijgen.

Het al dan niet aanwezig zijn van dakkoepels heeft een grote impact op de oververhittingstijd en dus ook op de impact die de 2WHITE-coating hierop kan hebben:

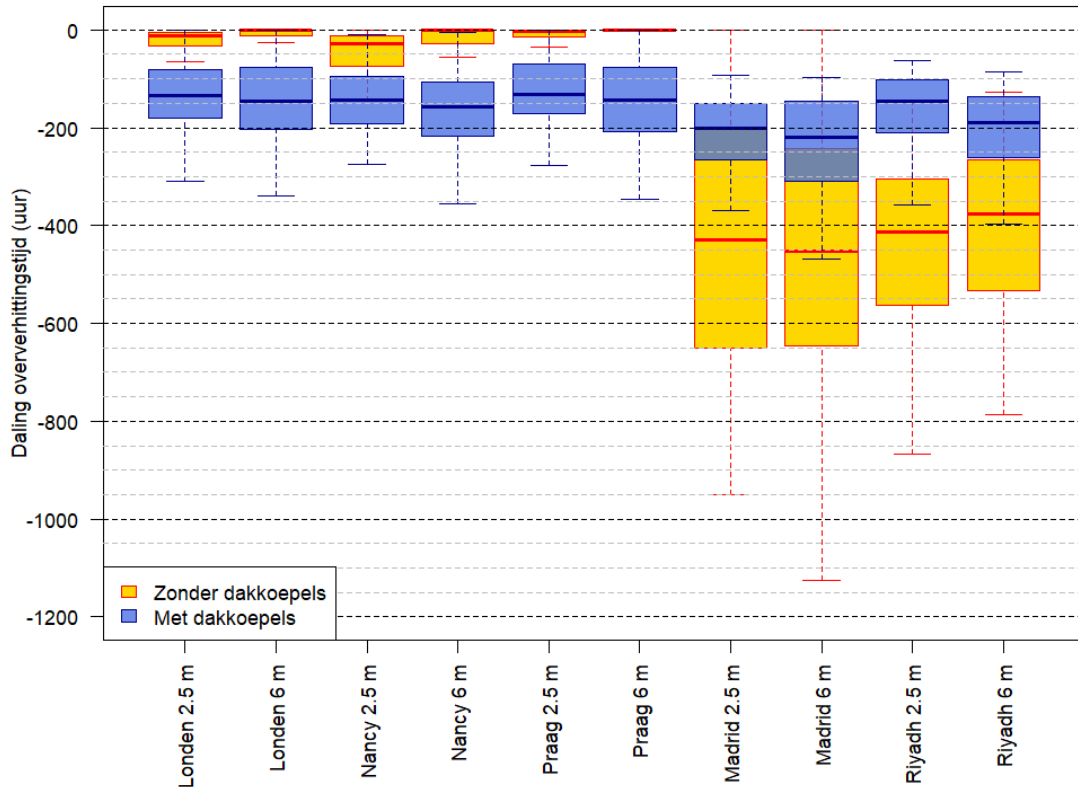
- Gebouwvarianten zonder dakkoepels:
 - De daling van oververhittingsuren ligt tussen 0 en 50 uur, terwijl de stijging aan energiegebruik tussen 0 en 14 % ligt.
 - De initiële oververhittingstijd in het Londense buitenklimaat is beperkt, dus er is weinig ruimte tot verbetering.
 - Als 25 % van de dakoppervlakte wordt bedekt met PV-panelen, is de daling aan oververhittingsuren omwille van de coating gemiddeld 25 % lager. Het al dan niet aanwezig zijn van de coating onder de PV-panelen heeft echter geen impact.
 - De daling aan oververhittingsuren is hoger bij hoge insteltemperatuur.
 - Het infiltratiedebiet heeft een verschillende impact op hoge en lage gebouwen.
- Gebouwvarianten met dakkoepels:
 - De daling van oververhittingsuren ligt tussen 0 en 230 uur, terwijl de stijging aan energiegebruik tussen 0 en 4 % ligt.
 - Indien er dakkoepels aanwezig zijn, kan de oververhittingstijd met gemiddeld 10 % worden teruggedrongen.
 - Als 25 % van de dakoppervlakte wordt bedekt met PV-panelen, is de daling aan oververhittingsuren omwille van de coating gemiddeld 33 % lager. Het al dan niet aanwezig zijn van de coating onder de PV-panelen heeft echter geen impact.
 - De daling aan oververhittingsuren is lager bij een hoog infiltratiedebiet.

4. Finale resultaten

In het vorige hoofdstuk werden in een eerste fase enkel de scenario's in Londen doorgerekend, voor gebouwschil 2 (U-waarde 0.35 – 0.38, zie Tabel 1). In dit hoofdstuk worden nu de volledige resultaten besproken voor de vijf locaties en de vijf isolatiekwaliteiten van de gebouwschil. Er wordt een analyse doorgevoerd van de resultaten, gefocust op de impact van verschillende parameters: het buitenklimaat, de hoogte van het magazijn, de isolatiekwaliteit van de gebouwschil, het binnenklimaat, het aandeel van PV-panelen en van de dakkoepels en ten slotte de vloeroppervlakte van het magazijn.

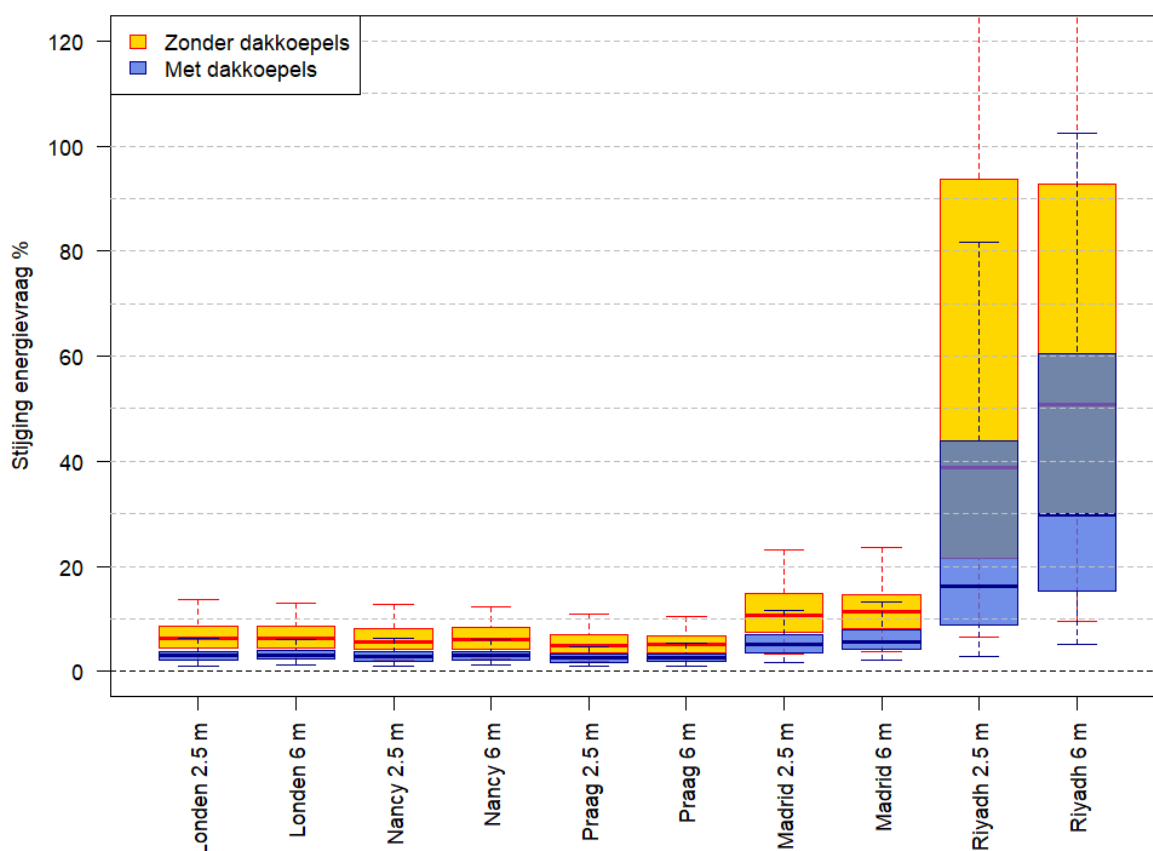
In onderstaande bespreking wordt gebruik gemaakt van boxplots voor de weergave van de spreiding van de data. De rechthoek in het midden van de boxplot toont het eerste en het derde kwartiel van de gegevens en wordt in twee gedeeld door de mediaan. Deze rechthoek bevat 50 % van de gegevens. Verder toont de boxplot het minimum en het maximum van de gegevens met behulp van een lijn.

4.1. Buitenklimaat en hoogte van het magazijn



Figuur 14: Daling van de oververhittingstijd (in uur) ten gevolge van het aanbrengen van de 2WHITE-coating op het dak - ingedeeld volgens locatie en hoogte van het magazijn

Figuur 14 toont de daling van de oververhittingstijd (in uur) ten gevolge van het aanbrengen van de 2WHITE-coating op het dak, opgesplitst volgens locatie en hoogte van het magazijn. Op de figuur wordt onderscheid gemaakt tussen de gebouwvarianten met dakkoepels (blauw) en zonder dakkoepels (geel). Ten eerste toont deze figuur dat de resultaten voor de centraal-Europese steden (Londen, Praag en Nancy) zeer gelijkaardig zijn, terwijl de resultaten van de zuiderse steden (Madrid en Riyadh) anders verdeeld zijn. De resultaten voor de centraal-Europese steden is variëren met maximum 12 uur, wat slechts 9 % is. De afwijking van resultaten van de zuiderse steden (Madrid en Riyadh) ten opzichte van de centraal-Europese steden is groter: de gemiddelde daling in oververhittingstijd is tot 75 uur groter voor de scenario's met dakkoepels, terwijl deze zonder dakkoepels tot 453 uur groter is (vergelijk "Madrid 6 m" met "Londen 6m"). Ten tweede is het opvallend dat de 2WHITE-coating in de centraal-Europese steden een grotere impact heeft op gebouwen met dakkoepels, terwijl in de zuiderse steden de impact het grootste is voor gebouwen zonder dakkoepels. De verklaring hiervoor is dat er in de gebouwen zonder dakkoepels in centraal Europa nauwelijks oververhitting optreedt; de oververhitting wordt hier voornamelijk veroorzaakt door directe zonne-inval via de dakkoepels. Ten derde wordt er slechts een beperkt verschil vastgesteld tussen de hoge en de lage gebouwen. Met dakkoepels is de impact van de coating gemiddeld 9 % hoger bij de hoge gebouwen (6 m) ten opzichte van de lage gebouwen (2.5 m), hoewel het verschil oploopt tot 30 % in Riyadh. Zonder dakkoepels is de impact van de hoogte van het gebouw variabel: voor Madrid is de impact van de coating 6 % hoger bij hoge gebouwen, maar voor alle andere steden ligt de impact steeds lager bij hoge gebouwen.

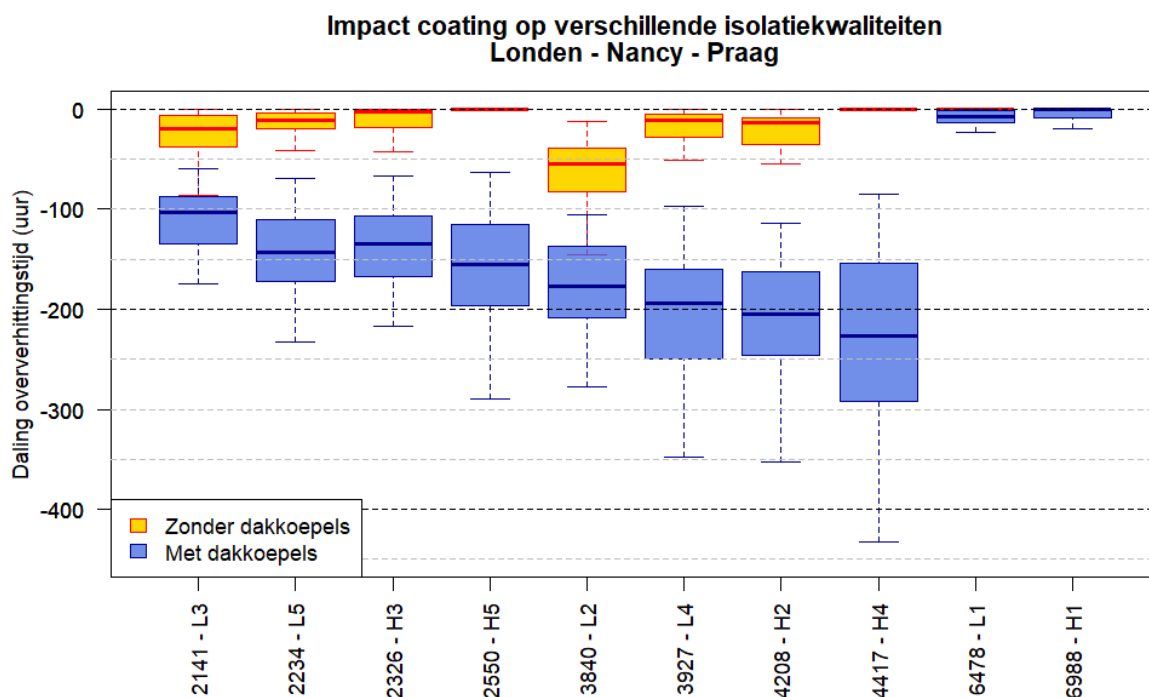


Figuur 15: Stijging van de energievraag voor verwarming (in procent) ten gevolge van het aanbrengen van de 2WHITE-coating op het dak - ingedeeld volgens locatie en hoogte van het magazijn

Figuur 15 toont stijging van de energievraag van de gebouwen ten gevolge van het aanbrengen van de 2WHITE-coating op het dak. Voor de centraal-Europese steden is deze stijging beperkt tot maximum 6 % met dakkoepels en 14 % zonder dakkoepels, en voor Madrid is de stijging maximum 15 % met dakkoepels en 28 % zonder dakkoepels. Voor Riyadh geeft de procentuele stijging van meer dan 100 % echter een vertekend beeld. Omwille van het warme buitenklimaat is de energievraag voor verwarming hier immers zeer beperkt (gemiddeld slechts 4 kWh/m²) ten opzichte van in de andere steden (gemiddeld 140 kWh/m²). Een zeer minieme stijging van de energievraag zorgt in Riyadh dus al voor een zeer sterke procentuele stijging. Daarom wordt in de verdere onderstaande analyse de procentuele stijging van de energievraag niet meer getoond voor Riyadh.

4.2. Isolatiekwaliteit gebouwschil

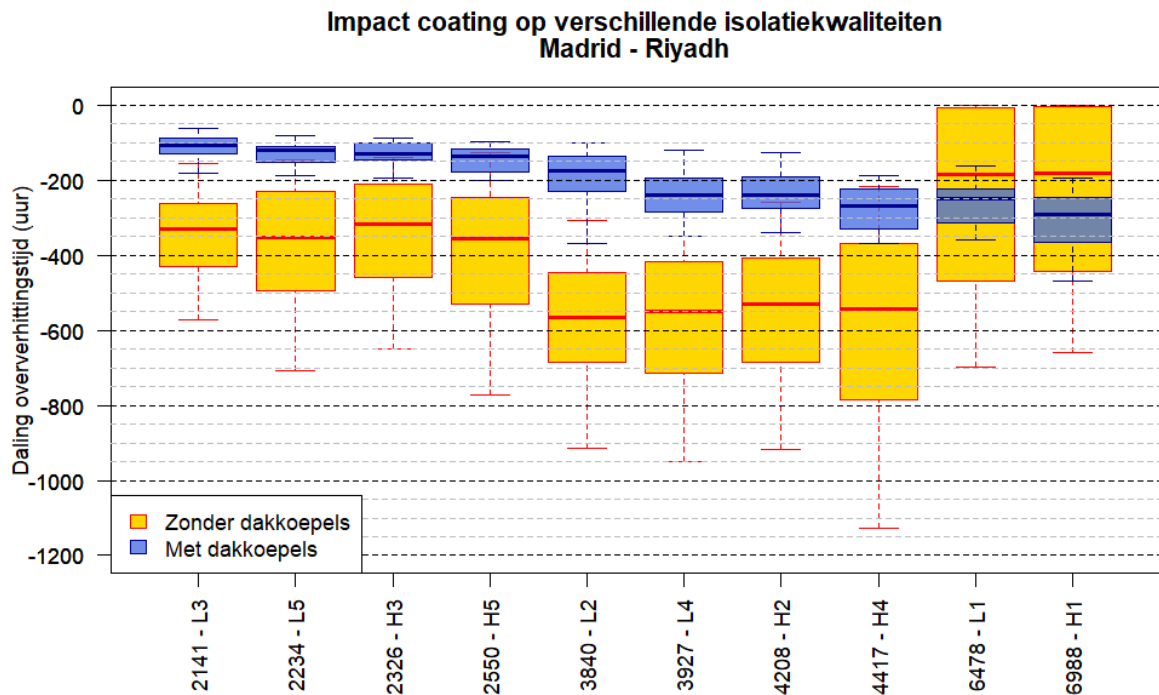
Onderstaand worden de resultaten ingedeeld naar de isolatiekwaliteit van de gebouwen, uitgedrukt als de UA-waarde van de gebouwen. Deze waarde is een parameter voor de isolatiekwaliteit, vermits dit de som is van de vermenigvuldiging van de U-waarde met de oppervlakte A voor elke gebouwcomponent (muren, vloer, dak & ramen). Hoe hoger deze UA-waarde, hoe slechter de isolatiekwaliteit van het gebouw. Doordat de oppervlakte van de componenten verandert met de hoogte van het gebouw, zijn er tien resulterende isolatiekwaliteiten: de hoge en de lage variant van alle gebouwschilvarianten. De volgende figuren tonen op de x-as steeds de UA-waarde gevolgd door de hoogte van het gebouw (H of L) en de gebouwschilvariant (1 t.e.m. 5 – zie Tabel 1).



Figuur 16: Daling van de oververhittingstijd (in uur) ten gevolge van het aanbrengen van de 2WHITE-coating op het dak voor de centraal-Europese steden - ingedeeld volgens isolatiekwaliteit (stijgende UA-waarde)

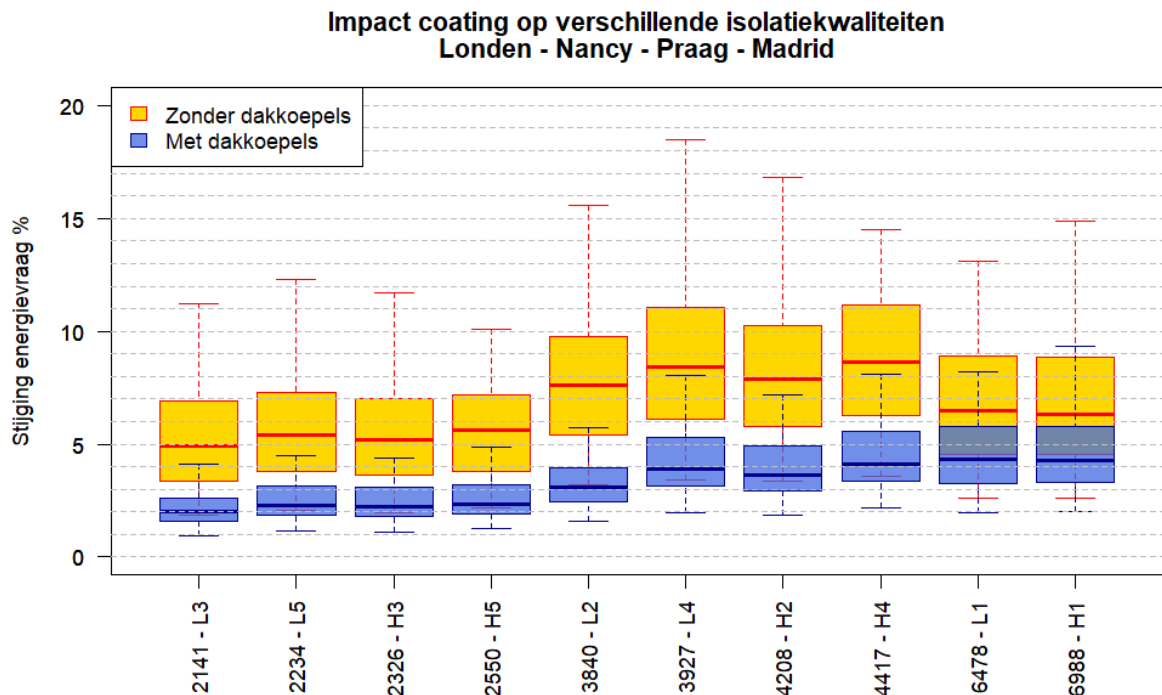
Figuur 16 deelt de resultaten in volgens de tien resulterende isolatiekwaliteiten voor de centraal-Europese steden. Voor de gebouwvarianten met dakkoepels is een duidelijke trend te zien: de impact van de coating op de oververhittingsuren stijgt bij een slechtere isolatiekwaliteit, met uitzondering van gebouwschilvariant 1, waarbij de coating slechts een beperkte impact heeft. De reden hiervoor is dat er bij gebouwschilvariant 1 gewerkt wordt met betonnen componenten, die veel thermische massa bezitten. Hierdoor werkt de gebouwschil als een buffer die de warmtestroom doorheen de gebouwschil in de zomer afremt, waardoor de oververhitting beperkt is in vergelijking met de andere gebouwschilvarianten. Voor de gebouwvarianten zonder dakkoepels ligt de impact van de coating steeds lager dan de varianten met dakkoepels. Hierbij is het opvallend dat de coating enerzijds een kleinere impact heeft bij gebouwschilvarianten 4 en 5 dan bij varianten 2 en 3, en anderzijds een kleinere impact heeft bij hoge dan bij lage gebouwen. (hogere impact bij "L3" dan "L5", alsook een hogere impact bij "L3" en "L5" dan bij "H3" en "H5") Dit valt grotendeels te verklaren door de extra thermische massa die gebouwschil 4 en 5 bevatten ten opzichte van gebouwschil 2 en 3, doordat er bij gebouwschil 4 en 5 gebruik gemaakt wordt van prefab betonpanelen.

Figuur 17 deelt de resultaten in volgens de tien resulterende isolatiekwaliteiten voor Madrid en Riyadh. Hier is voor de gebouwvarianten met dakkoepels dezelfde trend terug te vinden als voor de centraal-Europese steden: de impact van het aanbrengen van de coating stijgt bij een slechtere isolatiekwaliteit. In tegenstelling tot bij de centraal-Europese steden, ligt de impact van de coating op gebouwen met gebouwschil 1 nu echter wel in lijn ligt met de overige gebouwschilvarianten. In deze steden speelt de thermische massa immers een minder grote rol, vermits de buitentemperatuur veel minder schommelt in de zomer. Ook voor de gebouwvarianten zonder dakkoepels stijgt in de zuidere steden de impact van de coating met een slechtere isolatiekwaliteit. Enkel voor gebouwschil 1 ligt de impact weer lager.



Figuur 17: Daling van de oververhittingstijd (in uur) ten gevolge van het aanbrengen van de 2WHITE-coating op het dak voor de zuiderse steden - ingedeeld volgens isolatiekwaliteit

Figuur 18 toont de gemiddelde stijging van de energievraag voor Londen, Nancy, Praag en Madrid. Zoals reeds eerder aangehaald werd, is deze stijging lager voor de gebouwen met dakkoepels. Er is een lichte stijging waarneembaar met een slechtere isolatiekwaliteit, maar dit verschil is beperkt: met dakkoepels varieert het gemiddelde tussen 2 % ("L3") naar 4 % ("H1"), zonder dakkoepels varieert dit tussen 5 % ("L3") naar 9 % ("H4").

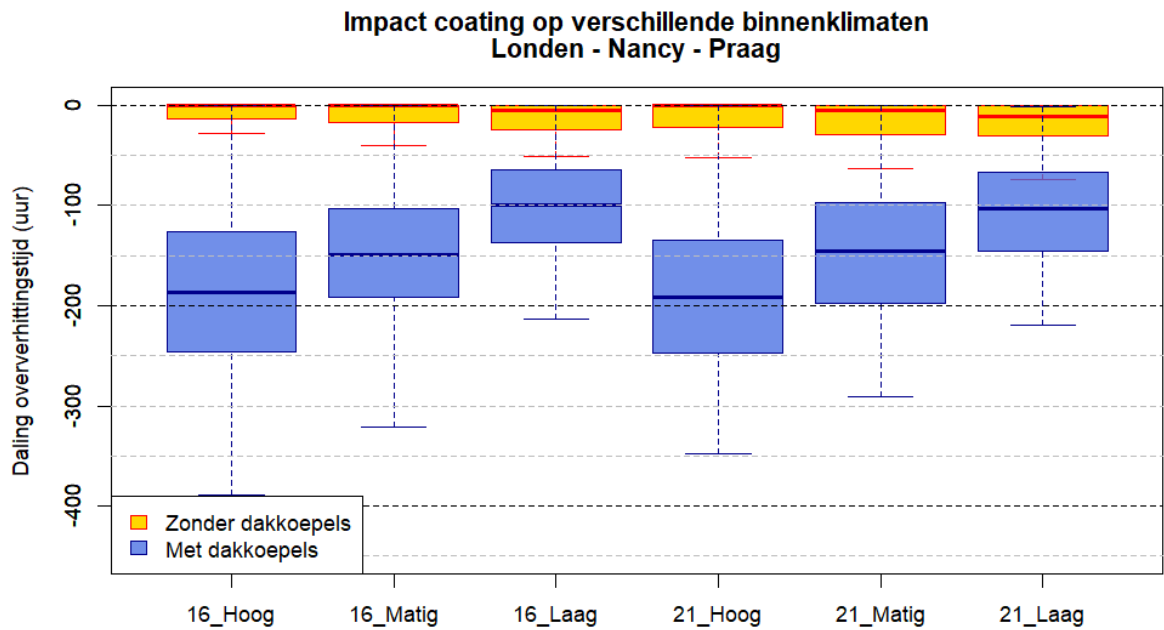


Figuur 18: Stijging van de energievraag voor verwarming (in procent) ten gevolge van het aanbrengen van de 2WHITE-coating op het dak - ingedeeld volgens isolatiekwaliteit

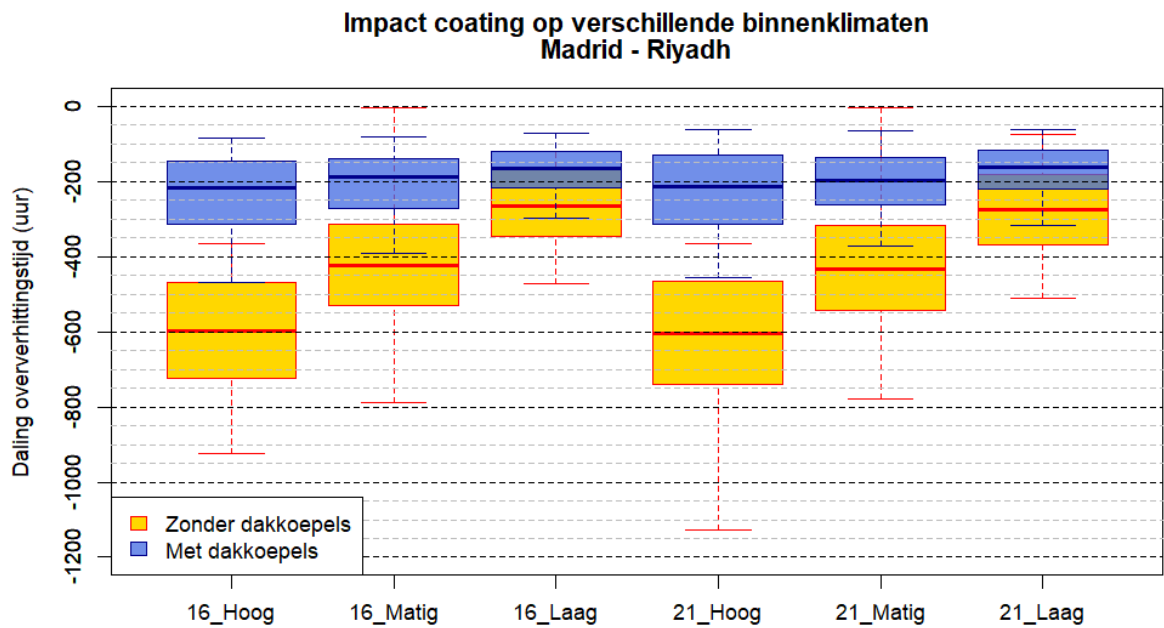
4.3. Binnenklimaat: Insteltemperatuur en infiltratiedebiet

De combinatie van twee insteltemperaturen (16 °C en 21 °C) en drie infiltratiedebieten (6 m³/hm² "Hoog", 3 m³/hm² "Matig" en 1.5 m³/hm² "Laag") leidt tot zes varianten van het binnenklimaat. Onderstaande figuren tonen de resultaten ingedeeld volgens deze zes varianten.

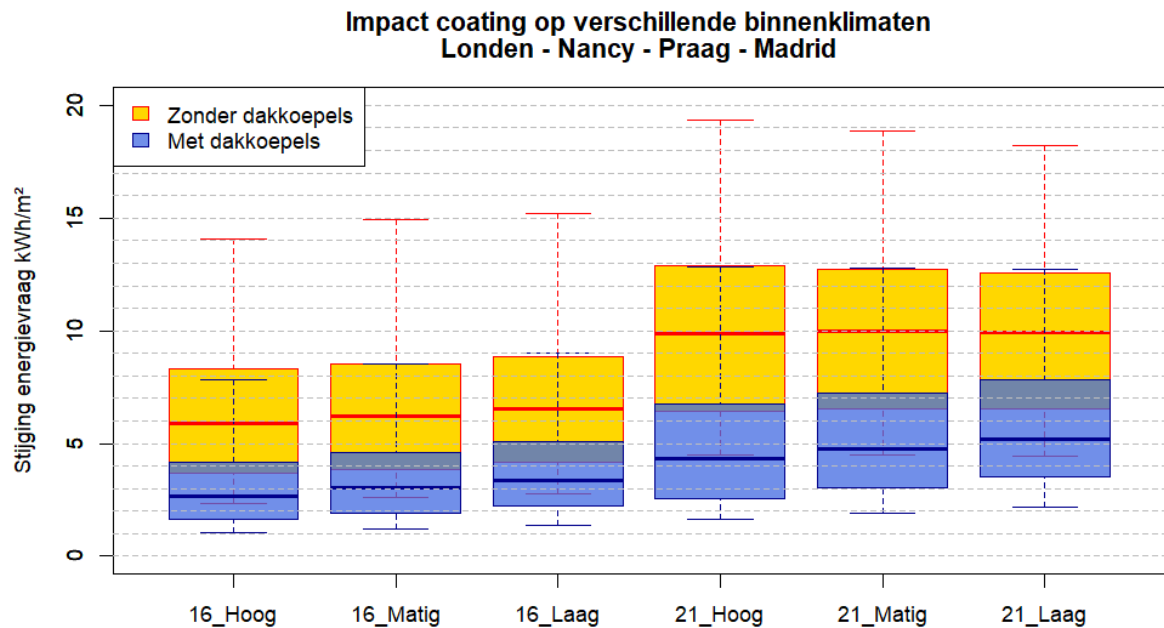
Zowel voor de centraal-Europese steden (zie Figuur 19) als voor de zuiderse steden (zie Figuur 20) heeft de verschillende insteltemperatuur nauwelijks impact op de oververhittingstijd: Bij eenzelfde infiltratiedebiet en een verschillende insteltemperatuur variëren de resultaten amper. De resultaten zijn echter wel afhankelijk van het infiltratiedebiet: bij een hoog infiltratiedebiet (6 m³/hm²) is de impact van het aanbrengen van de coating gemiddeld soms dubbel zo groot als bij een laag infiltratiedebiet (1.5 m³/hm²). Voor de stijging van de energievraag in kWh/m² is het echter omgekeerd: hier heeft het infiltratiedebiet een beperkte impact, terwijl de insteltemperatuur wel invloed heeft. (zie Figuur 21) Bij een insteltemperatuur van 16 °C is de stijging van de energievraag omwille van het aanbrengen van de coating bij de gebouwen zonder dakkoepels gemiddeld 6 kWh/m², terwijl dit bij 21 °C 10 kWh/m² is. Voor de gebouwen met dakkoepels is de stijging gemiddeld 3 kWh/m² bij 16 °C en 5 kWh/m² bij 21 °C.



Figuur 19: Daling van de oververhittingstijd (in uur) ten gevolge van het aanbrengen van de 2WHITE-coating op het dak voor de centraal-Europese steden - ingedeeld volgens binnenklimaat



Figuur 20: Daling van de oververhittingstijd (in uur) ten gevolge van het aanbrengen van de 2WHITE-coating op het dak voor de zuiderse steden - ingedeeld volgens binnenklimaat



Figuur 21: Stijging van de energievraag voor verwarming (in kWh/m²) ten gevolge van het aanbrengen van de 2WHITE-coating op het dak - ingedeeld volgens binnenklimaat

4.4. PV-panelen en dakkoepels

In deze paragraaf wordt er afgetoetst wat de invloed is van de hoeveelheid PV-panelen of dakkoepels die op het dak worden toegevoegd, op de oververhitting en het energiegebruik. Hiervoor wordt een scenario bekeken in Londen, Madrid en Riyadh, met de volgende parameters:

- Insteltemperatuur van 21 °C
- Matig infiltratiedebiet (3 m³/hm² overdag)
- Hoog magazijn (6 meter)
- Gebouwschil 2
- Geen dakkoepels en geen PV-panelen

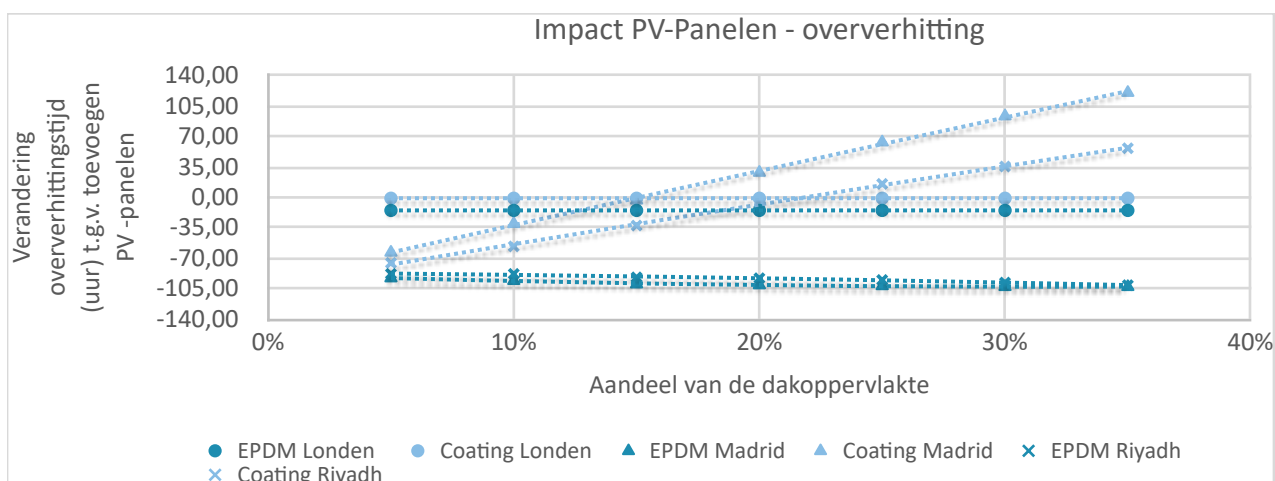
De resultaten voor deze scenario's worden weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4: Resultaten vergelijkingsscenario

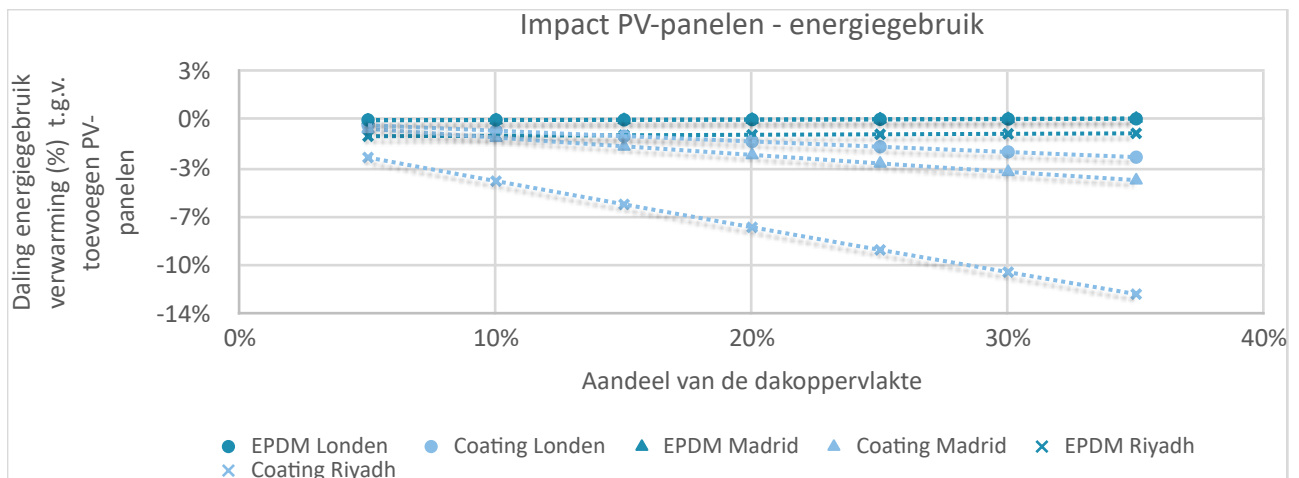
	Oververhittingstijd in uur (Ti > 25 °C)		Energievraag voor verwarming kWh/m ² per jaar	
	EPDM	Coating	EPDM	Coating
Londen	29	1	151.05	163.67
Madrid	1323	628	102.13	116.13
Riyadh	5946	5401	8.18	11.70

Onderstaande figuren tonen het verschil in oververhittingstijd en energiegebruik indien er aan dit scenario PV-panelen of dakkoepels worden toegevoegd.

Ten eerste toont Figuur 22 de verandering van de oververhittingstijd in uur, ten gevolge van het toevoegen van een variabele hoeveelheid PV-panelen op het dak, uitgedrukt als een percentage van de volledige dakoppervlakte (5 % tot 35 % van de dakoppervlakte wordt verondersteld PV-panelen te zijn). Voor de scenario's zonder coating op het dak in de drie steden, is er slechts een zeer beperkte impact van de hoeveelheid PV-panelen die wordt toegevoegd. Of er nu 5 % PV-panelen worden toegevoegd, of 35 %, het toevoegen van de panelen zorgt steeds voor een quasi constante daling van de oververhittingstijd. Voor de scenario's met coating op het dak is er een verschil tussen de steden: in Londen is de impact van het toevoegen van PV-panelen nul, vermits er voor dit scenario geen sprake is van oververhitting, onafhankelijk van de hoeveelheid PV-panelen die wordt geplaatst. In Madrid en Riyadh echter, zorgt het toevoegen van PV-panelen met een oppervlakte minder dan respectievelijk 15 % en 22 % van de dakoppervlakte voor een daling van de oververhitting, terwijl een grotere oppervlakte zorgt voor een stijging van de oververhitting.



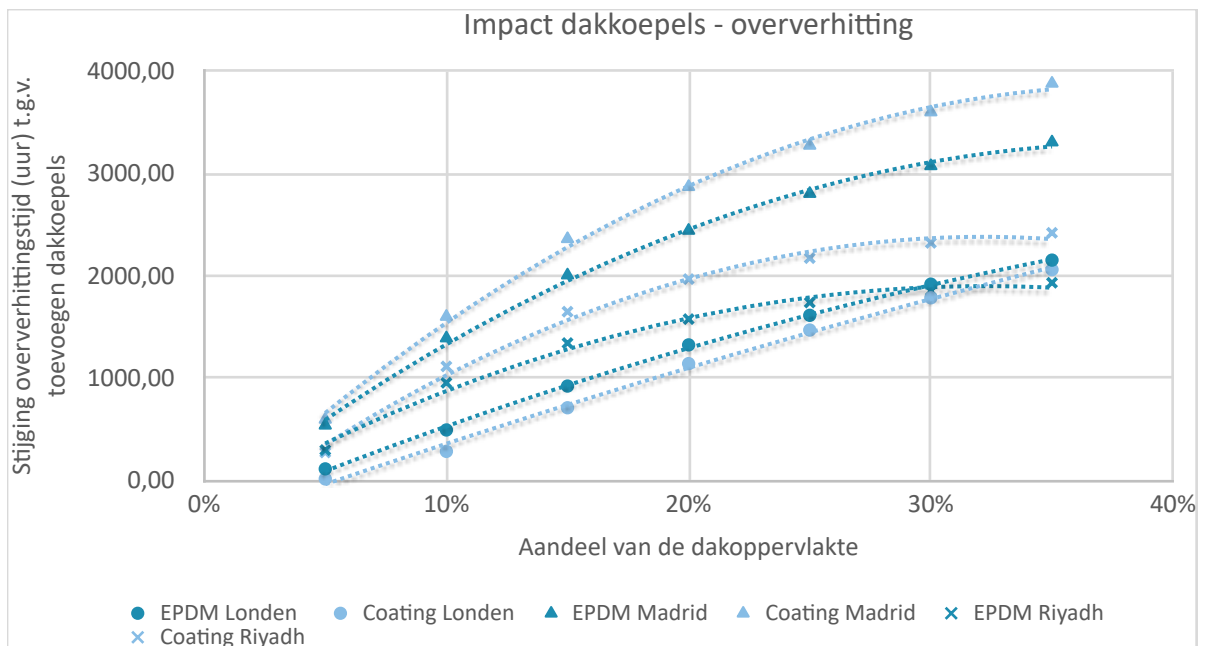
Figuur 22: Verandering oververhittingstijd (uur) ten gevolge van het toevoegen van PV-panelen



Figuur 23: Daling energiegebruik verwarming in % ten gevolge van het toevoegen van PV-panelen

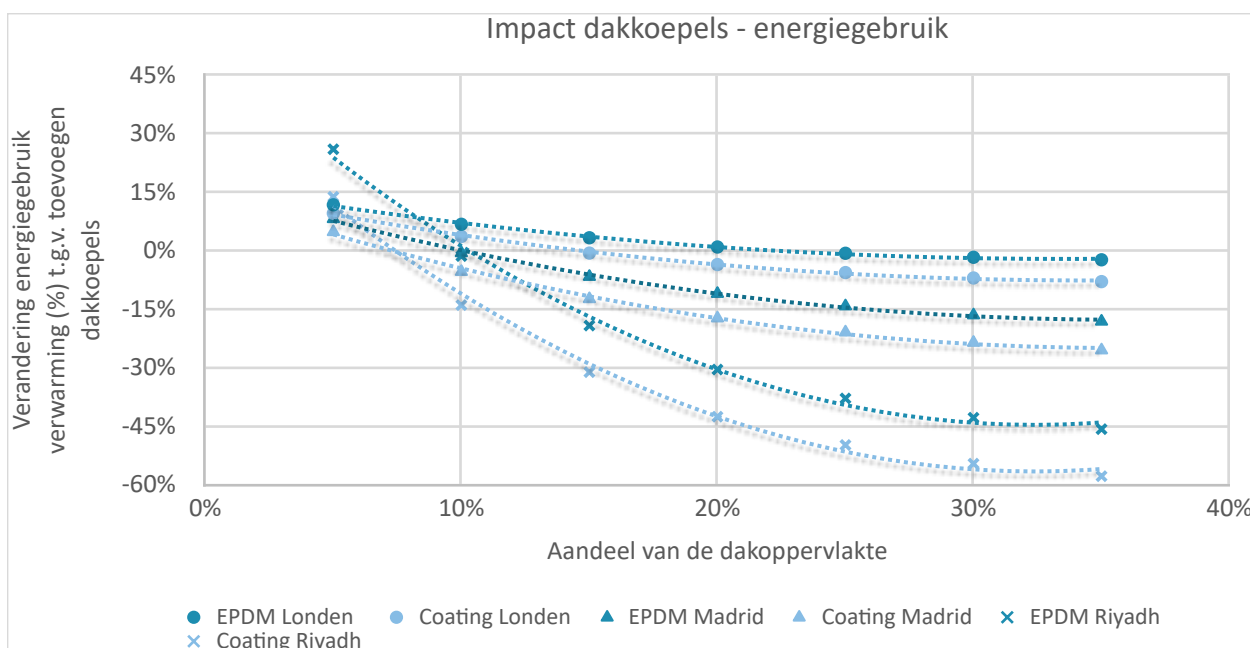
Ten tweede toont Figuur 23 de verandering van het energiegebruik in procent, ten gevolge van het toevoegen van een variabele hoeveelheid PV-panelen op het dak, uitgedrukt als een percentage van de volledige dakoppervlakte. Indien er geen coating op het dak is aangebracht, blijft het energiegebruik constant, onafhankelijk van de hoeveelheid toegevoegde PV-panelen. Indien er wel coating op het dak is aangebracht, daalt het energiegebruik met een stijgende hoeveelheid PV-panelen.

Het toevoegen van de dakkoepels heeft een grotere impact dan het toevoegen van PV-panelen. Uit twee bovenstaande figuren blijkt namelijk dat het toevoegen van PV-panelen voor het geselecteerde scenario slechts een beperkte impact heeft op de oververhitting: de oververhittingstijd verandert maximum met 120 uur (bij 35 % PV-panelen). Onderstaande Figuur 24 toont de impact van het toevoegen van dakkoepels op de oververhitting. Hieruit blijkt dat de verandering aan oververhitting door het toevoegen van 35 % dakkoepels kan oplopen tot 3880 uur (in Madrid). Opmerkelijk is dat in Londen de dakkoepels een kleinere impact hebben indien de dakbedekking is afgewerkt met de 2WHITE-coating, terwijl in Madrid en Riyadh de dakkoepels net een grotere impact hebben indien de dakbedekking is afgewerkt met de coating.



Figuur 24: Verandering oververhittingstijd (uur) ten gevolge van het toevoegen van dakkoepels

Ten slotte toont Figuur 25 de impact van de dakkoepels op het energiegebruik voor verwarming. Ook hier heeft het aandeel van de dakkoepels een belangrijke impact op de verandering van het energiegebruik. Afhankelijk van de locatie en het al dan niet aanwezig zijn van de 2WHITE-coating op het dak, zorgen kleine oppervlaktes dakkoepels steeds voor een stijging van het energiegebruik. De transmissieverliezen doorheen het glas zijn in dit geval groter dan de zonneprijzen. Als de oppervlakte van de dakkoepels dan vergroot, zal het energiegebruik dalen doordat de zonneprijzen groter worden dan de transmissieverliezen. Hoe sterk het energiegebruik verandert in vergelijking met een magazijn zonder dakkoepels is afhankelijk van de locatie. In Londen is deze verandering voor 35 % dakkoepels beperkt tot maximum 10 %, in Madrid is dit maximum 25 % en in Riyadh loopt dit op tot 58 %. Zoals echter reeds eerder vermeld, is de procentuele verandering van de energievraag in Riyadh toch te verwaarlozen, vermits de energievraag voor verwarming van onderschikt belang is in het warme buitenklimaat.



Figuur 25: Daling energiegebruik verwarming in % ten gevolge van het toevoegen van dakkoepels

4.5. Vloeroppervlakte van het magazijn

In deze studie werd een magazijn doorgerekend met een vloeroppervlakte van 4900 m², met een variërende hoogte: 2.5 m of 6 m. Onderstaand wordt voor enkele scenario's de vloeroppervlakte gevarieerd, waarna de impact hiervan op de resultaten wordt besproken.

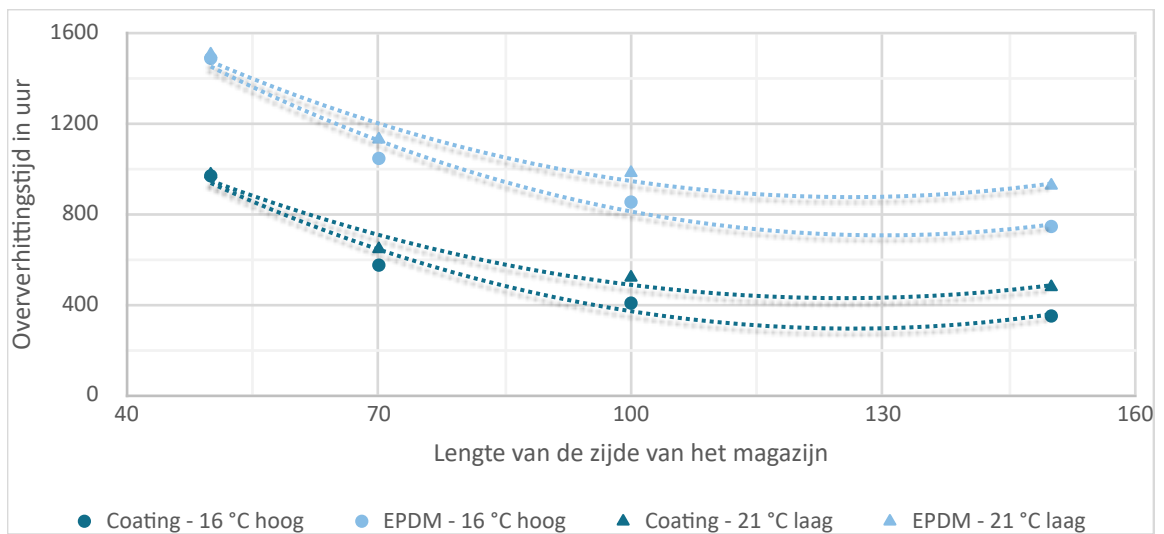
Om de impact van de veronderstelde vloeroppervlakte te analyseren, werd deze gevarieerd voor twee scenario's: voor de twee hoogtes van het magazijn (2.5 m en 6 m) werd het scenario geselecteerd waarbij de 2WHITE-coating het meeste impact heeft op de oververhittingstijd. De randvoorwaarden van deze twee scenario's worden opgesomd in Tabel 4.

Tabel 5: Selectie van scenario's voor de analyse van impact van de vloeroppervlakte

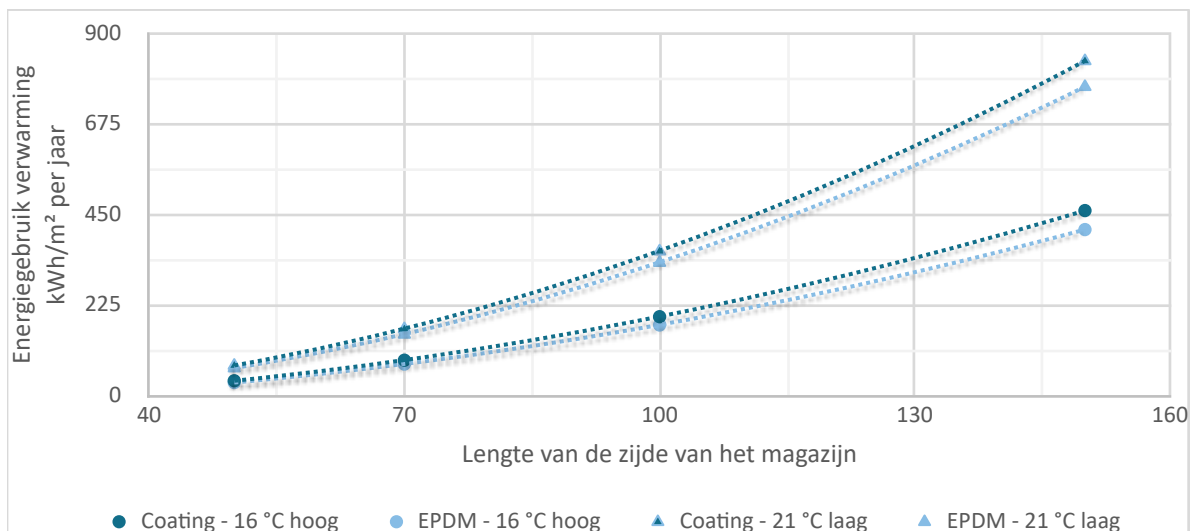
Nr.	Locatie	Gebouw-schil	Hoogte	PV	Dak-koepels	Tset
6a	Madrid	4	6	Nee	Nee	16
2.5a	Madrid	4	2.5	Nee	Nee	21

Voor deze twee scenario's werd de vloeroppervlakte als volgt gevarieerd: (1) 50 m x 50 m = 2500 m², (2) 70 m x 70 m = 4900 m², (3) 100 m x 100 m = 10000 m², (4) 150 m x 150 m = 22500 m².

Figuur 26 en Figuur 27 tonen de impact van de lengte van zijde van een magazijn met een vierkante oppervlakte op de oververhittingstijd enerzijds en het energiegebruik anderzijds. Ten eerste toont Figuur 26 dat voor een groter magazijn de oververhittingstijd lager is. Een magazijn van 2500 m² heeft in dit geval een oververhittingstijd die ongeveer dubbel zo groot is als het magazijn van 22500 m². Ten tweede toont Figuur 27 dat het energiegebruik in kWh/m² stijgt als de vloeroppervlakte stijgt.



Figuur 26: Impact van de vloeroppervlakte (zijde van het magazijn) op de oververhittingstijd



Figuur 27: Impact van de vloeroppervlakte (zijde van het magazijn) op het energiegebruik

Voor zowel de oververhittingstijd als voor het energiegebruik kan er een regressievelterm van de tweede orde gevonden worden als verband met de zijde z van het magazijn in de vorm van:

$$y = a \cdot z^2 + b \cdot z + c \quad (\text{vgl } 1)$$

5. Rekentool

Alle besproken resultaten werden verwerkt in een rekentool in Excel (voorbeeld zie Figuur 28).

	A	B	C	D	E	F	G	L	Q	R	W	AB	AC	AD
1	Vloeroppervlakte m ²	4900	Lengte zijde m	70										
2								Oververhittingstijd in uur (Ti > 25 °C)		Energiegebruik voor verwarming kWh/m ² per jaar				
3	Locatie	Gebouwschil	Hoogte	PV	Dakkoepels	Tset	Luchtdichtheid	Zonder coating	Met coating	Daling tgv coating	Zonder coating	Met coating	Verskil tgv coating	Procentueel verschil tgv coating
907	Madrid	4	2.5 Nee	Ja	21 Hoog	2723	2418	-305	140.33	147.55	7.22	4.9%		
908	Madrid	4	2.5 Nee	Ja	21 Matig	3262	2915	-347	84.54	90.77	6.23	6.9%		
909	Madrid	4	2.5 Nee	Ja	21 Laag	3659	3304	-355	58.24	63.76	5.52	8.7%		

Figuur 28: Print-screen van de rekentool in Excel

De nodige inputgegevens zijn de volgende:

- Cel B1 Vloeroppervlakte van het magazijn
- Cel D1 De zijde van het magazijn (automatisch berekend)
- Cel A3 De keuze van de locatie (Londen, Nancy, Praag, Madrid, Riyadh)
- Cel B3 De keuze van de gebouwschil (zie Tabel 1)
- Cel C3 De keuze van de hoogte van het magazijn (2.5 m of 6 m)
- Cel D3 De keuze of er PV-panelen aanwezig zijn (Ja of Nee)
- Cel E3 De keuze of er dakkoepels aanwezig zijn (Ja of Nee)
- Cel F3 De keuze van de insteltemperatuur tussen 7u en 19u (16 °C of 21 °C)

De output wordt weergegeven in de vorm van een tabel (Kolom G tot AD), waarbij de resultaten afhankelijk zijn van de luchtdichtheid van het gebouw. Een hoge luchtdichtheid komt overeen met een laag infiltratiedebiet van 1.5 m³/hm², bij een matige luchtdichtheid is dit overdag 3 m³/hm² en bij een lage luchtdichtheid is dit overdag 6 m³/hm². 's Nachts (tussen 19u en 7u) is het infiltratiedebiet steeds 1.5 m³/hm².

Om deze rekentool afhankelijk te maken van de vloeroppervlakte van het magazijn, werd voor elk scenario de regressiecoëfficiënt bepaald in de vorm van (vgl 1). Dit heeft als gevolg dat de rekentool veronderstelt dat de vloer van het magazijn vierkant is, met twee gelijke zijden. De coëfficiënten van deze regressiecoëfficiënten zijn opgeslagen in de verborgen kolommen (H t.e.m. K, M t.e.m. P, S t.e.m. V en X t.e.m. AA). Aan de hand van deze coëfficiënten en de zijde van het magazijn wordt de oververhittingstijd en het energiegebruik berekend.

6. Conclusie

Buitenklimaat centraal-Europese steden (Londen, Praag en Nancy)

De resultaten voor de drie centraal-Europese steden zijn zeer gelijkaardig. Allereerst is het maximaal verschil van de oververhittingstijd tussen de drie steden slechts 9 %. Ten tweede is er in de drie steden nauwelijks oververhitting in de gebouwen zonder dakkoepels. Ten derde heeft de 2WHITE-coating in de drie steden een gelijkaardige impact: De coating heeft de grootste impact op de oververhitting voor de gebouwen met dakkoepels, terwijl bij het energiegebruik de impact het grootst is voor de gebouwen zonder dakkoepels. Enerzijds is er een daling van de oververhittingsuren van maximum 350 uur bij gebouwen met dakkoepels en van maximum 150 uur bij gebouwen zonder dakkoepels. Anderzijds is er een stijging van de energievraag: tot 6 % met dakkoepels en 14 % zonder dakkoepels.

Buitenklimaat zuiderse steden (Madrid en Riyadh)

De 2WHITE-coating heeft in de zuiderse steden (Madrid en Riyadh) de grootste impact op gebouwen zonder dakkoepels. Enerzijds is er een daling van de oververhittingsuren van maximum 1000 uur bij de gebouwen zonder dakkoepels, en van maximum 450 uur bij de gebouwen met dakkoepels. Anderzijds is er in Madrid een stijging van het energiegebruik van maximum 25 % voor de gebouwen zonder dakkoepels en van maximum 10 % voor de gebouwen met dakkoepels. In Riyadh liggen de percentages veel hoger, maar hier is het energiegebruik voor verwarming zeer beperkt (gemiddeld 4 kWh/m²), waardoor dit niet meer relevant is.

Hoogte van het magazijn

De impact van de hoogte van het magazijn (2.5 m of 6 m) op de resultaten is beperkt. Het maximaal verschil in Londen, Nancy, Praag en Madrid is slechts 9 %, hoewel in Riyadh het verschil groter is (maximum 30 %).

Isolatiekwaliteit

Naast de isolatiekwaliteit van de gebouwschil blijkt de thermische massa een belangrijke invloed te hebben op de impact van het aanbrengen van de 2WHITE-coating op het dak. De thermische massa van de betonnen, niet-geïsoleerde gebouwschilvariant 1 heeft als resultaat dat de impact van de coating in de centraal-Europese steden zeer beperkt is (daling van maximum 25 uur oververhittingstijd). In de zuiderse steden heeft de thermische massa minder impact, omdat de buitentemperatuur hier hoger ligt en minder schommelt. Voor de overige vier gebouwschilvarianten – met minder thermische massa als variant 1 – is de impact van de coating groter bij slechtere isolatiekwaliteiten.

Binnenklimaat

Zowel voor de centraal-Europese steden als voor de zuiderse steden heeft de insteltemperatuur nauwelijks impact op de oververhittingstijd, maar wel op de stijging van het energiegebruik. Het energiegebruik stijgt namelijk sterker (in kWh/m²) door het aanbrengen van de coating bij de insteltemperatuur van 21 °C dan bij 16 °C, hoewel de verandering procentueel gezien wel gelijkaardig is voor de twee verschillende insteltemperaturen. Naast de insteltemperatuur heeft het infiltratiedebiet wel een aanzienlijke impact op de oververhittingstijd: bij een hoog infiltratiedebiet (i.e. slechte luchtdichtheid of veel ventilatie) heeft de coating meer impact dan bij een laag infiltratiedebiet.

Impact aanwezigheid PV-panelen

De aanwezigheid van de 2WHITE-coating is een bepalend element voor de impact van het toevoegen van PV-panelen. Als er geen coating op het dak werd aangebracht, zorgt het toevoegen van een variabel aandeel aan PV-panelen voor een zeer gelijkaardige verandering van oververhitting of energiegebruik. Als er de coating wel aanwezig is, zal het aandeel aan PV-panelen wel een invloed hebben op de resultaten: bij het toevoegen kleine oppervlaktes PV-panelen zal de oververhitting dalen (doordat er schaduw wordt toegevoegd), bij grote oppervlaktes zal deze stijgen (omdat de coating teniet wordt gedaan). Voor het energiegebruik zorgt het toevoegen van een grotere hoeveelheid PV-panelen voor een grotere daling van het energiegebruik, ten opzichte van de situatie zonder PV-panelen.

Impact aanwezigheid dakkoepels

Over het algemeen heeft de aanwezigheid van dakkoepels een grotere impact op de oververhittingstijd en het energiegebruik dan de aanwezigheid van PV-panelen. Hoe meer dakkoepels er aanwezig zijn, hoe sterker de oververhittingstijd stijgt. Voor het energiegebruik is het verband niet zo eenduidig. Bij het toevoegen van kleine oppervlaktes dakkoepels is het mogelijk dat het

energiegebruik stijgt, terwijl grote oppervlaktes dakkoepels zorgen voor een daling van het energiegebruik.

Vloeroppervlakte van het magazijn

Ten slotte blijkt ook de vloeroppervlakte een belangrijke invloedsfactor te zijn op de resultaten. Hoe groter de vloeroppervlakte, hoe lager de oververhittingstijd en hoe hoger het energiegebruik in kWh/m². De relatie tussen de zijde van een magazijn met een vierkant vloeroppervlak en de twee outputparameters kan worden voorgesteld door een regressieveelterm van de tweede orde.

7. Referenties

1. Duro-Last. The World's Best Roofing Blog. *Solar Reflectance Index*. (20/01/2010) <http://duro-last.com/blog/2010/01/solar-reflectance-index/>
2. EN 13779:2004. *Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems*. European standard. 2004
3. NBN EN ISO 6946:2008. *Bouwelementen en bouwdelen – Warmteweerstand en warmtedoorgangscoefficiënt – Berekeningsmethode*. Belgische geregistreerde norm. 2008
4. Parker, D S, J E R McIlvaine, S F Barkaszi, D J Beal and M T Anello. *Laboratory Testing of the Reflectance Properties of Roofing Material*. FSEC-CR670-00. Florida Solar Energy Center, Cocoa, FL. 2000
5. Vlaamse Regering. *Bijlage V, Bepalingsmethode van het peil van primaire energieverbruik van residentiële eenheden*. 2010

Evi Lambie & Dirk Saelens
Verslaggevers