

ENERGIESTUDIE

Project:
Luchtconditionering PAL magazijn Unilin Spano



**Ingelmunstersesteenweg 229
8780 Oostrozebeke**

14/11/2025

Update 14/11/25025: : temperatuur van PAL magazijn mag maximum 30°C zijn

RE: 20251107 PAL Spano: verslag studie klimatisatie



Ronny CRUYT <ronny.cruyt@>
Aan: Jan Vanhoucke
CC: Energie Teamsite



do 16:58

Dag Jan,

Ik wil je nu reeds één belangrijke opmerking doorgeven vanuit de productie Panels.
Een temperatuur van 40°C in het PAL (wat in 3 oplossingen van uw studie het geval zou zijn) is niet aanvaardbaar !
Bij dergelijke temperatuur kan hars op papier beginnen reageren en dit mag zeker niet gebeuren.

We moeten streven naar een maximum temperatuur van 30°C.
Volgens uw studie is dit dan enkel mogelijk in de 2 oplossingen die het duurst zijn qua OPEX en CAPEX, tenzij er nog varianten zouden mogelijk zijn ?

Contactpersonen rapport - Emailadressen:

Jan Vanhoucke

j.vanhoucke@consultes.be

1.	INLEIDING	4
1.1.	Algemeen.....	4
1.2.	Beschrijving PAL magazijn	5
1.2.1.	Bouwkundig	5
1.3.	Ontwerpparameters.....	10
1.3.1.	Basisprincipes	10
1.3.2.	Luchtdebiet	10
1.3.3.	Luchtverdeling	11
1.3.4.	Omgevingscondities (temp + RV).....	13
1.4.	Berekening koellast	16
1.4.1.	TRANSMISSIE (verplaatsing van voelbare warmte doorheen een medium)	16
1.4.2.	INFILTRATIE (luchtverplaatsing van één ruimte naar een andere)	26
1.4.3.	TOTALE KOELLAST	28
1.4.4.	TOTALE WARMTELAST	30
2.	OPLOSSINGEN	32
2.1.	Oplossing 1: ontvochtigen d.m.v. koelbatterij	32
2.1.1.	Fysica.....	32
2.2.	Oplossing 2: ontvochtigen d.m.v. koelbatterij, maar de PAL temperatuur verhogen tot 30°C. 36	
2.2.1.	Situatie 3: gebaseerd op werkelijke waarden (= 25 juni 2025), temp PAL = 30°C	37
2.3.	Oplossing 3: de PAL temperatuur verhogen zodat geen ontvochtiging nodig is om RV=30% te behalen.	39
2.3.1.	Situatie 4: gebaseerd op werkelijke waarden (= 25 juni 2025), temp PAL = 38°C	39
2.4.	Oplossing 4: combinatie HVAC verwarmen + adsorptie ontvochtiging	42
2.4.1.	Situatie 5: ontvochtigen combinatie verwarmen/adsorptie met max. temperatuur 30°C	44
2.4.2.	Situatie 6: ontvochtigen combinatie verwarmen/adsorptie met max. bijverwarmen tot 25°C .	48
2.5.	Oplossing 5: enkel adsorptie	51
3.	CONCLUSIE.....	53

1. INLEIDING

1.1. Algemeen

Unilin Spano wenst het bestaande PAL magazijn verbonden aan lux 9 en 19 te klimatiseren op relatieve vochtigheid en temperatuur.

Momenteel is er geen luchtventilatiegroep aanwezig, maar omwille van kwaliteitsissues is het wenselijk om het papier/hars in ideale conditie naar de persen te brengen.

Via een onderzoek en vergelijking tussen verschillende paletten in verschillende condities (in onze klimaatcontainer, in het Flooring PAL en ons niet-geconditioneerd PAL), komen we tot volgende specificaties:

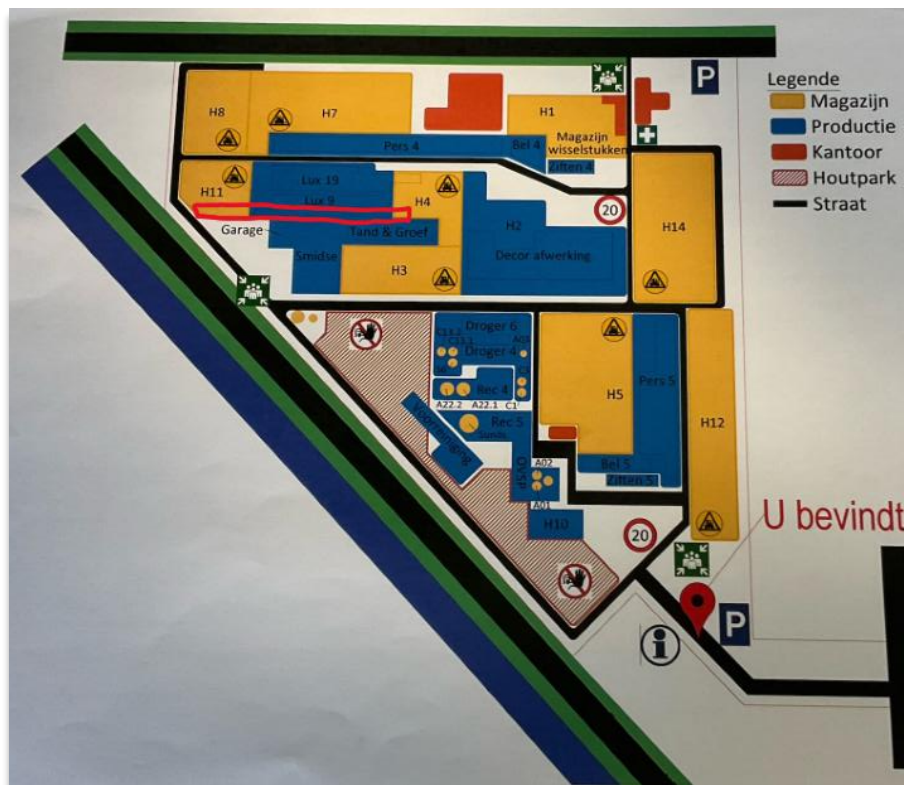
- Een **relatieve vochtigheid van 20-30%** is ideaal, met pieken tot 40% als absoluut maximum.
Ter info: dit ligt lager dan Flooring, onze papieren zijn ook nog iets zwaarder beharst, waardoor we grotere problemen hebben omwille van reactie.
- Temperatuur is ondergeschikt (of zelfs niet van belang) hebben we gezien, het vochtpercentage is van groter belang.
Om energetische reden willen we de temperatuur waarschijnlijk ook regelen, om het vocht laag genoeg te kunnen houden.
Een temperatuur van 17-25°C in het PAL-magazijn (wat mag mee variëren met de seizoenen) kan een range zijn waarmee we aan de slag kunnen.

In navolgende studie zullen de ontwerpparameters bepaald worden voor de luchtgroep. Hieronder begrijpen we:

- Luchtdebieten luchtgroep(en)
- Luchtcirculatie basisontwerp
- infiltratie van lucht
 - o wanden, poorten, dak, vloer
 - o binnen en buitencondities
 - o seizoen effecten op temperatuur en relatieve vochtigheid
- bepalen ontvochtigingscapaciteit
- bepalen koel- en verwarmingsvermogen
- bepalen stoombevochtiging (indien nodig)
- Conceptuele oplossingen
- Energieverbruik
- toekomstige scenario's:
 - o nieuwe productiehal waardoor het PAL magazijn geen buitenmuren meer zal hebben
 - o optimalisatie in-en uitvoeropeningen zodat er minimale openingstijden zijn.

1.2. Beschrijving PAL magazijn

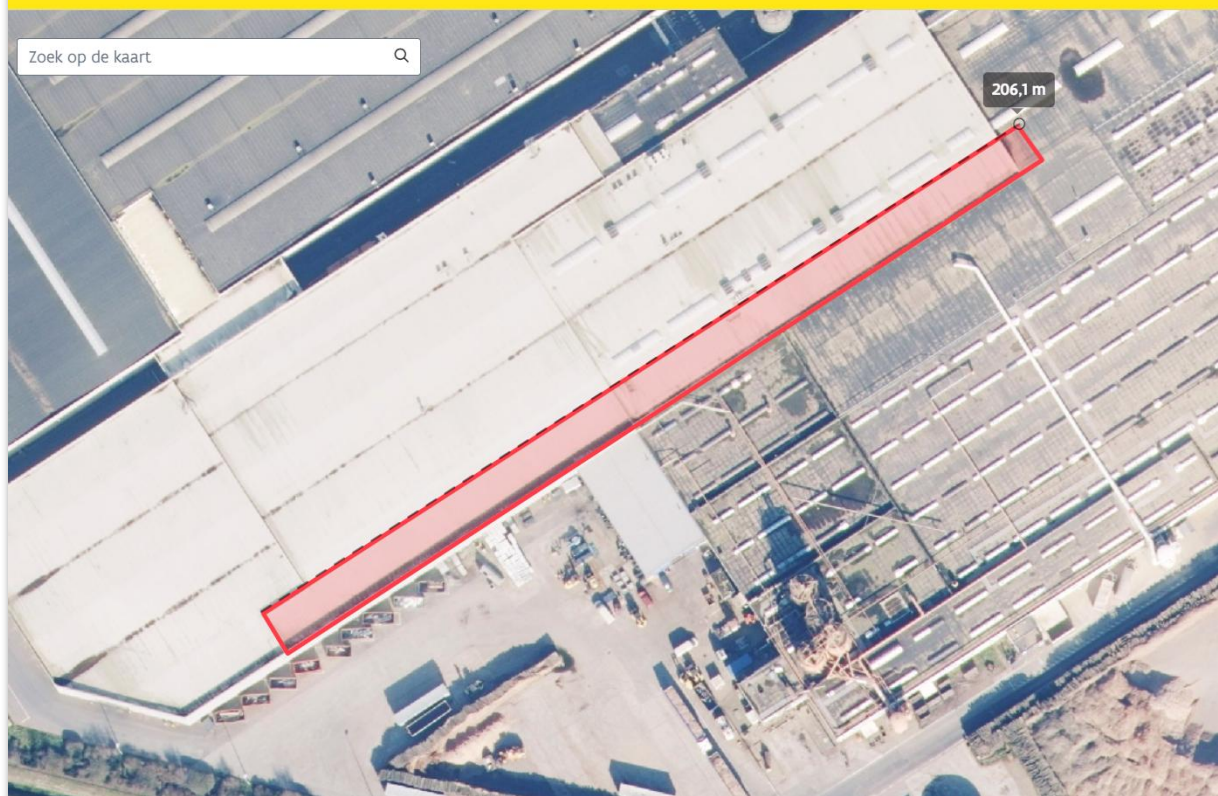
1.2.1. Bouwkundig



figuur 1 - Inplanting PAL magazijn (rood omlijnde rechthoek)

GEOPUNT

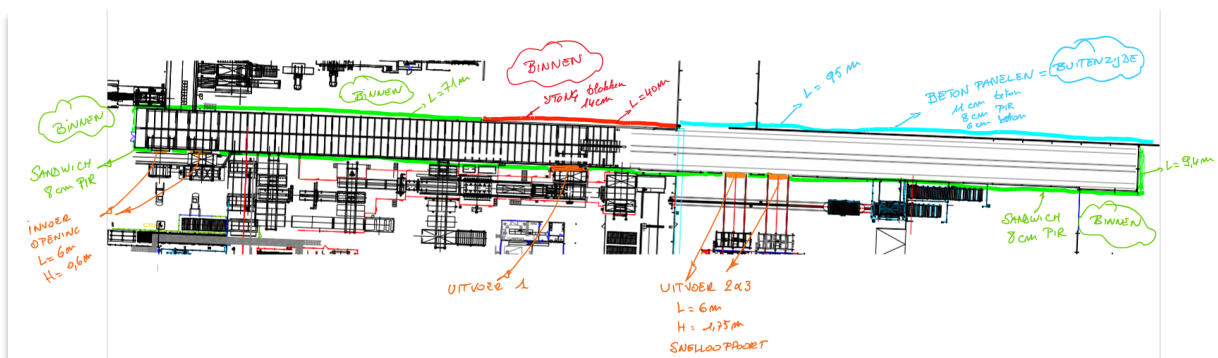
◇ Algemene kaart

Afmetingen:

L= 206m

Br = 9,4m

H = 10m

Volume: 19 364m³

Wanden:

- Binnenzijde:
 - Sandwichpanelen: 8 cm PIR
 - $L = 206 + 56 + 9,4 + 9,4 = 281\text{m}$
 - $H = 10\text{m}$
 - $U (W/m^2K) = 0,27$
 -
 - Ytong blokken: 14 cm
 - $L = 40\text{m}$
 - $H = 10\text{m}$
 - $U (W/m^2K) = 0,93$
- Buitenzijde:
 - Geïsoleerde betonpanelen (8cm PIR)
 - $L = 95\text{m}$
 - $H = 10$
 - $U (W/m^2K) = 0,27$

**Betonvloer:**

- 20cm dikte, zonder isolatie
- $U (W/m^2K) = 8,5$

Dakbedekking:

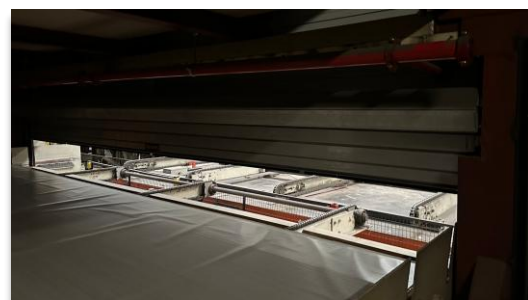
- Steeldeck
- TPO kleur: WIT
- PIR: 8cm
 - $U (W/m^2K) = 0,27$
- Infiltratie van buiten door dak
 - $0,6\text{m}^3/\text{hm}^2$ buitenschil



Poortopeningen:

- Invoeropeningen:

- 2 naast elkaar liggende openingen
 - L = 6m
 - H = 0,6m
- Afsluitbaar met sectionaalpoort



- Momenteel blijven de poorten minstens de helft van de tijd openstaan. Dit is vooral om praktische redenen. Immers tijdens het laden van papier wordt de draagpallet vanuit het PAL magazijn naar buiten geschoven, waarbij ze in de opening blijft staan. De draagpallet bevat nog wat restpapier en folie die eerst moet verwijderd worden voordat er een nieuwe laag papier via de omwikkelaar kan opgeladen worden. In die tussentijd blijven de poorten open. Het sluiten van de poorten moet ook manueel gebeuren (ttz. de operator bedient de drukknoppen)

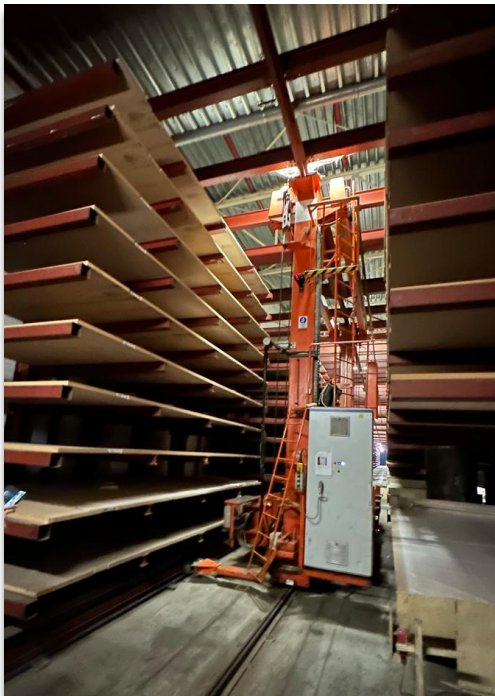
- Uitvoeropeningen:

- Uitvoer 1 naar Lux 9 (zie tekening)
 - L = 6m
 - H = 0,8m

- Afsluitbaar met geautomatiseerde sectionaalpoort (vermoedelijk, niet geverifieerd)
- Uitvoer 2 en 3 naar Lux 19
 - L = 6m
 - H = 1,75m
 - Afsluitbaar met geautomatiseerde snellooppoort

**Verlichting:**

- Enkel actief tijdens betreden van het magazijn.

Pick en place kraan:

-
- Elektrische vermogens:
 - Motor verplaatsing: 4,4kW
 - Motor heffen/dalen: 20kW

1.3. Ontwerpparameters

1.3.1. Basisprincipes

Het magazijn kan als een gesloten box beschouwd worden. Er is geen nood aan over- of onderdruk. Dit maakt dat er geen onnodige buitenlucht naar binnen of vervuilde lucht naar buiten moet worden gebracht. De aanpalende Lux 9 en 19 installaties hebben wel een sterke stofafzuiging staan (elk 60 000m³/h) maar dat zal weinig tot geen invloed hebben op het PAL magazijn. Er zijn immers voldoende openingen in de productieruimte waardoor verse lucht vrij naar Lux 9 en 19 kan stromen, zonder dit specifiek door het PAL magazijn heen te trekken.

Omwille van de gewenste lage relatieve luchtvochtigheid (**20-30% met kortstondige piek tot 40%**) zal gespeeld moeten worden met de temperatuur om te vermijden dat er teveel natuurlijke luchtstroming ontstaat in de in- en uitvoeropeningen.

Maximum temperatuur= 30°C (bij hogere temperaturen kan het hars starten met reageren op het papier)

Het binnenbrengen van vers papier is een storende factor:

- Ingevoerd papier heeft andere temperatuur en relatieve vochtigheid.
 - o We gaan ervan uit dat het papier geklimatiseerd is aan de luchtomstandigheden van de productieruimte (maw. het papier komt niet rechtstreek van de vrachtwagen in het PAL magazijn).
 - o Vermits het papier omwikkeld is met een folie voordat het ingeladen wordt in het PAL magazijn, gaan we ervan uit dat de relatieve vochtigheid binnen de grenzen van 20-30% valt.
- Invoeropeningen blijven lang openstaan tijdens laden van papier (50% van de productietijd).

Het PAL magazijn is niet vrij toegankelijk omwille van een automatische rijdende pick&place kraan. De elektrische motoren zullen wat warmte produceren die de temperatuur licht beïnvloeden.

1.3.2. Luchtdebiet

Vermits er geen personen tewerkgesteld zijn in de ruimte (tenzij sporadisch voor onderhoudswerken) is er geen behoefte aan een hoge verversingsgraad.

Voor magazijnen geldt een verversingsgraad van 4 à 6 keer per uur.

Volume magazijn = 19 364m³

L= 206m

Br = 9,4m

H = 10m

Debiet ventilatie: 4 x 19 364 = 80 000m³/h

Dit debiet moet wel afgewogen worden tegenover de warmte – en koudebelasting die moet gecompenseerd door geklimatiseerde lucht te circuleren bij een beperkte lichtsnelheid.

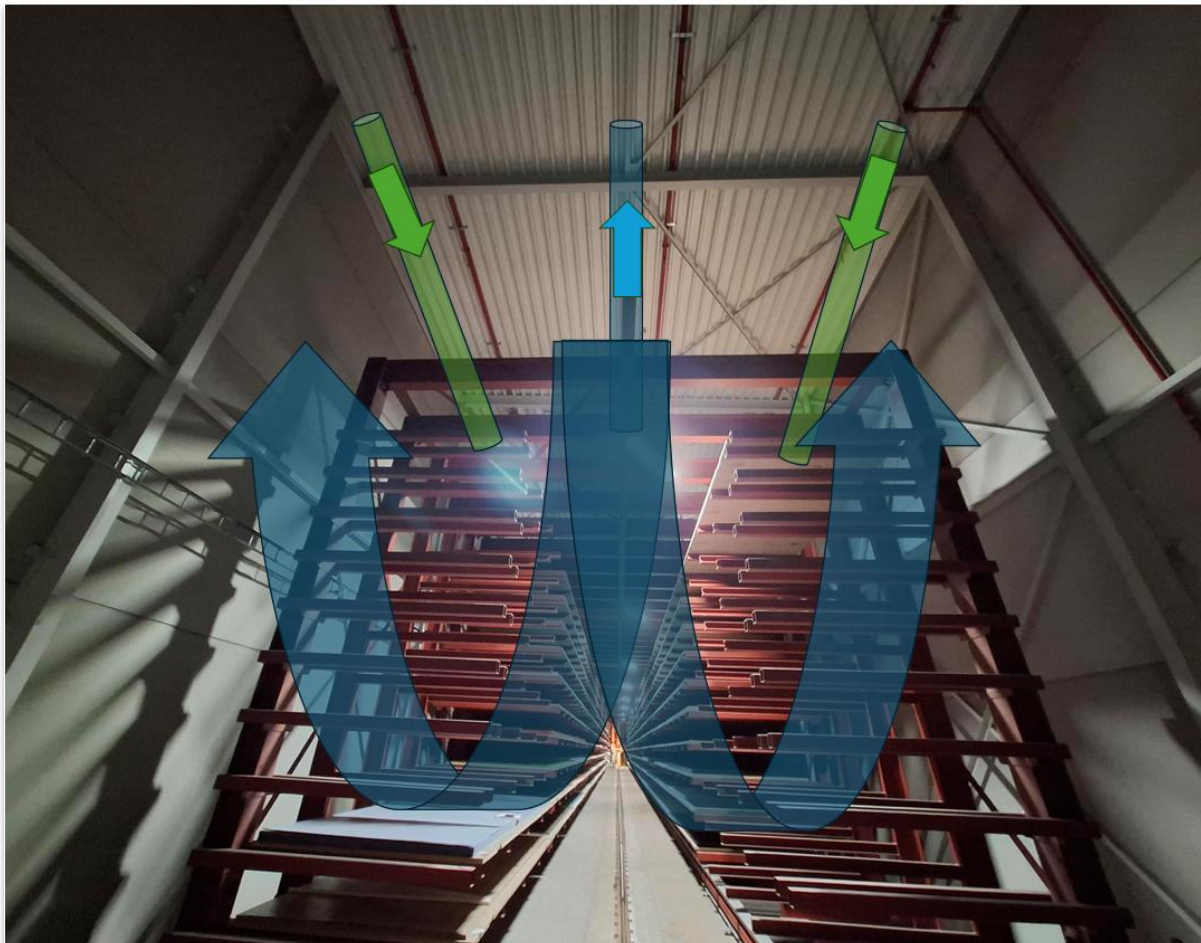
De lichtsnelheid op 1m hoogte veronderstellen we op maximaal 1 m/s, maar in praktijk zal dit een stuk lager liggen, omwille van de beperkende worplengte. De lichtsnelheid ter hoogte van de uitblaasnozzles zal natuurlijk hoger liggen, vermits er omringende lucht moet geïnduceerd worden.

a TAUW company

1.3.3. Luchtverdeling

Het idee is om in het vakwerk van de dakondersteuning een centraal pulsiekanaal (blauw getekend) te plaatsen, waarop volgens een berekend patroon luchtjets worden gemonteerd.

Aan beide langsijden wordt de lucht afgezogen via een extractiekanaal (groen getekend).



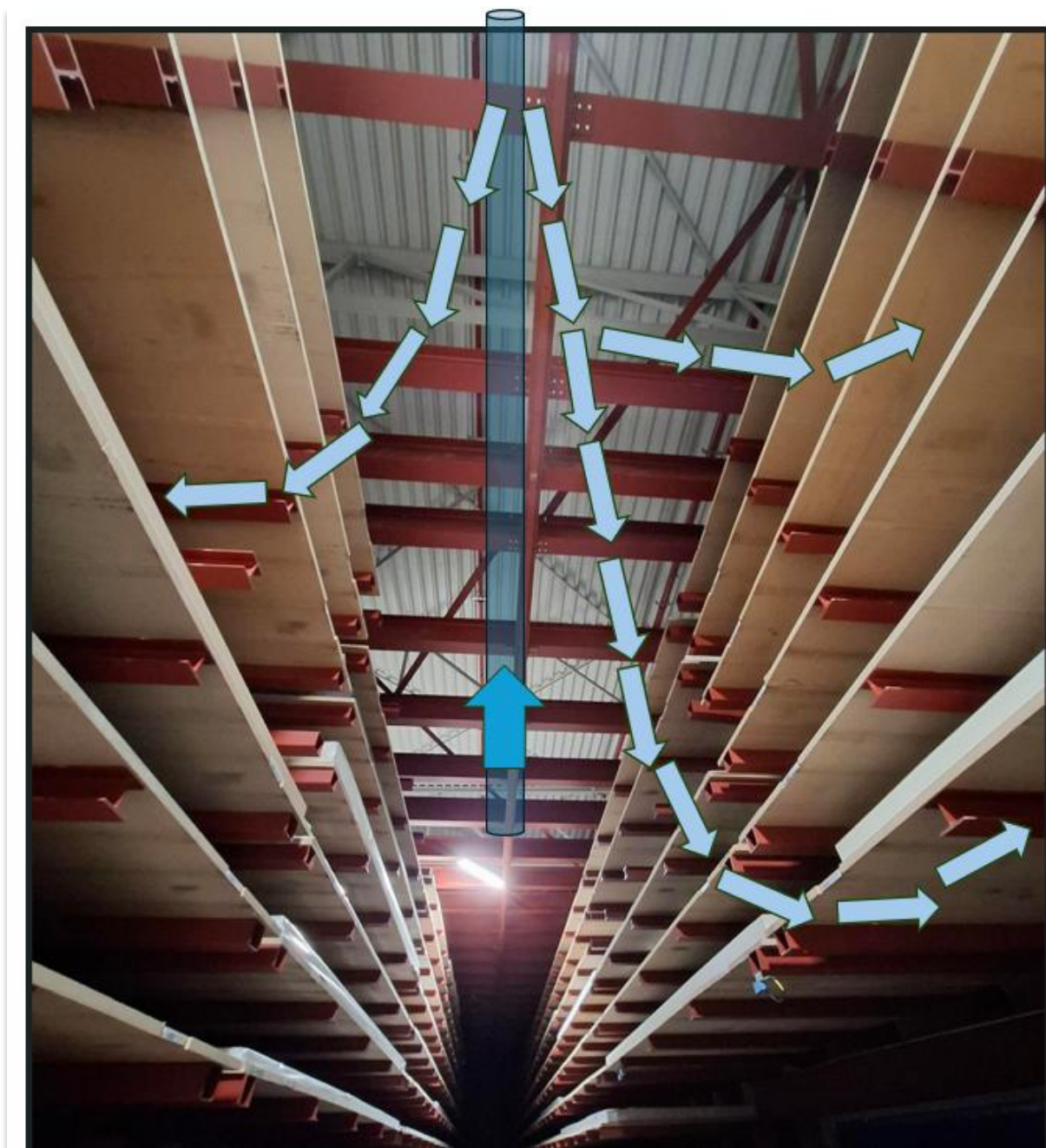
Halton TRS

Jetrooster



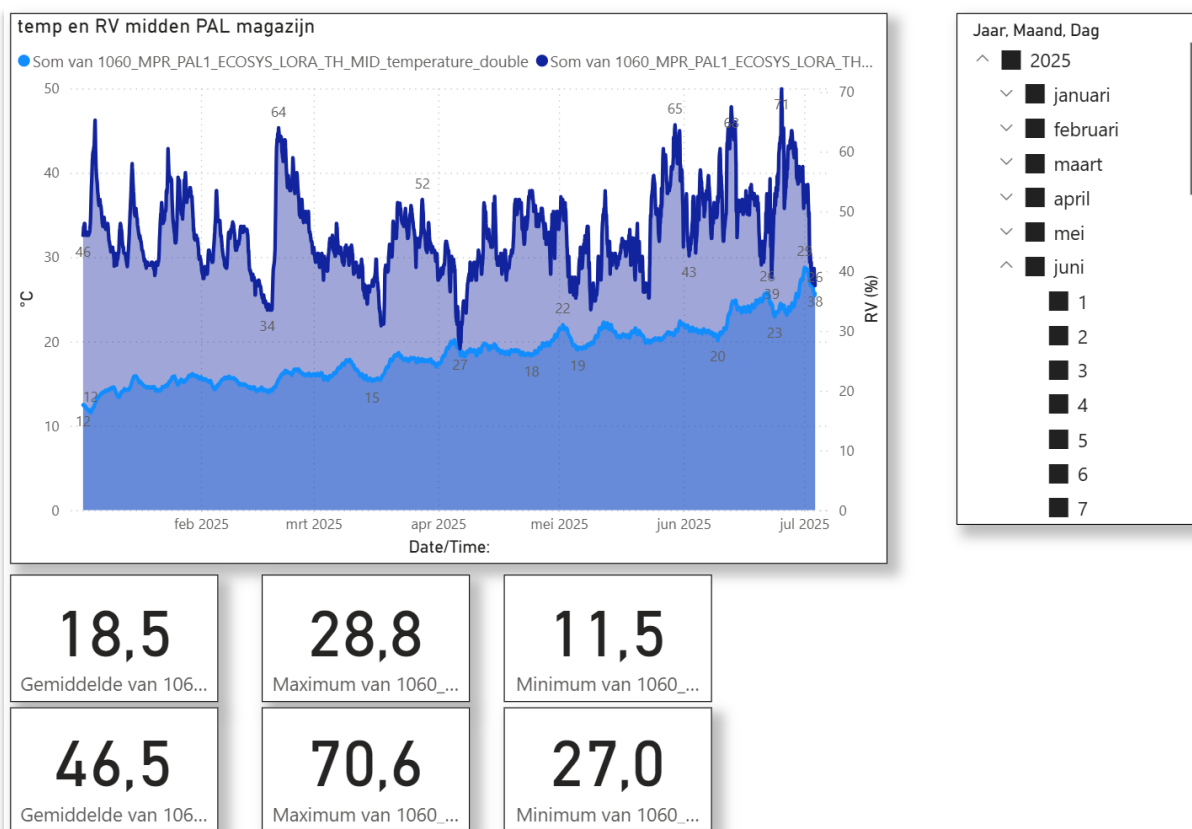
aTAUWcompany®

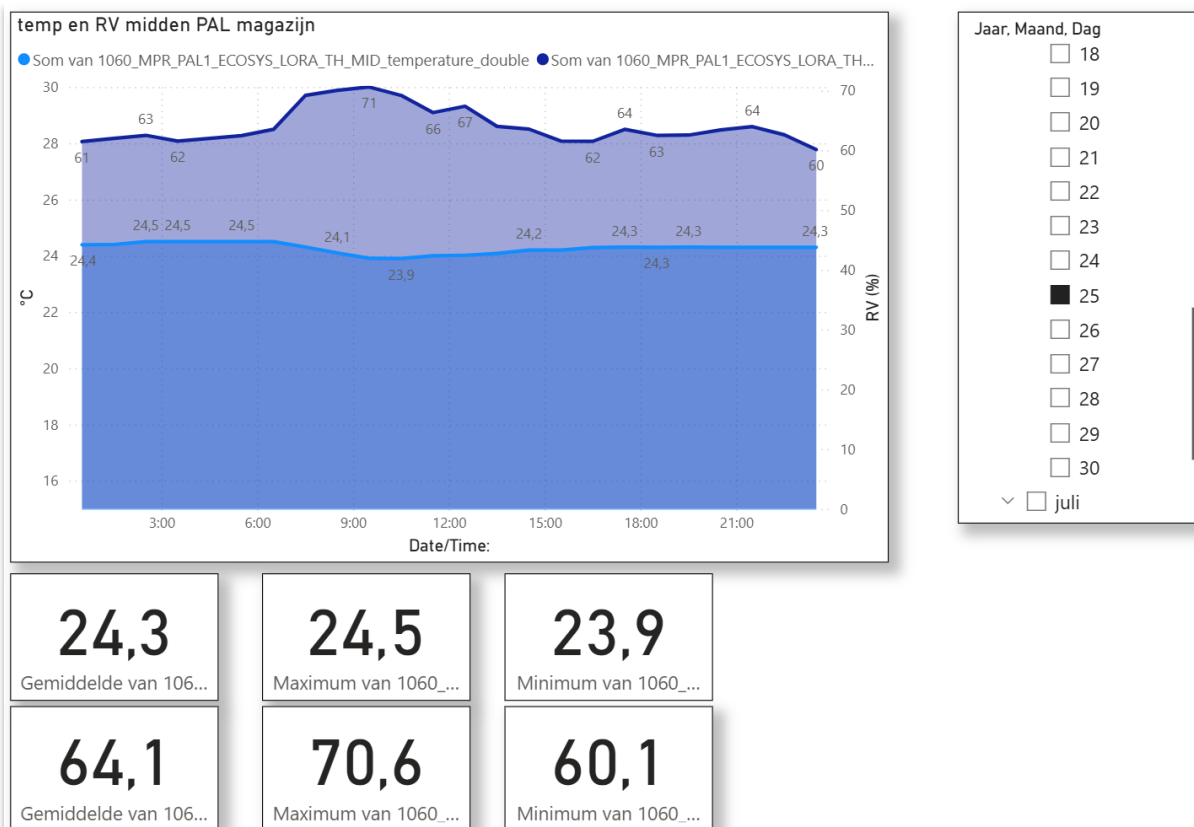
consultes
uw partner in duurzaamheid



1.3.4. Omgevingscondities (temp + RV)

1.3.4.1 Werkelijke meetwaarden (temp en RV) midden PAL magazijn



Detail 25/06/2025**1.3.4.2 Zijde openlucht en dak**

Standaard ontwerp:

Winter: temp: -10°C, RV: 1g/kg (RV=68%)

Zomer: temp: +30°C, RV: 15g/kg (RV=56%)

In het simulatiemodel rekenen we op uurbasis met de **werkelijke** temperatuur en vochtigheid van 2024.

In het model wordt rekening gehouden met de zonne-instraling op het TPO dak, wat voor een temperatuursverhoging zorgt tijdens de zomermaanden.

1.3.4.3 Zijde aanpalende bedrijfsruimten en poortopeningen

Standaard ontwerp:

Winter: temp: +10°C, RV: 2g/kg

Zomer: temp: +35°C, RV: 15g/kg

In het simulatiemodel rekenen we op met de **werkelijke** temperatuur en vochtigheid van de ruimten Lux 19, invoer PAL-magazijn. De meetdata van de sensoren is een gemiddelde op uurbasis tijdens de periode 02/01/2025 en 03/07/2025.

1.3.4.4 Poortopeningen

Standaard ontwerp:

Winter: temp: -10°C, RV: 2g/kg

Zomer: temp: +30°C, RV: 15g/kg

In het simulatiemodel rekenen we op uurbasis met de **werkelijke** temperatuur en vochtigheid van 2024.

In het model wordt rekening gehouden met de zonne-instraling op het TPO dak, wat voor een temperatuursverhoging zorgt tijdens de zomermaanden.

1.4. Berekening koellast

Maximale ontwerpcondities: ZOMER

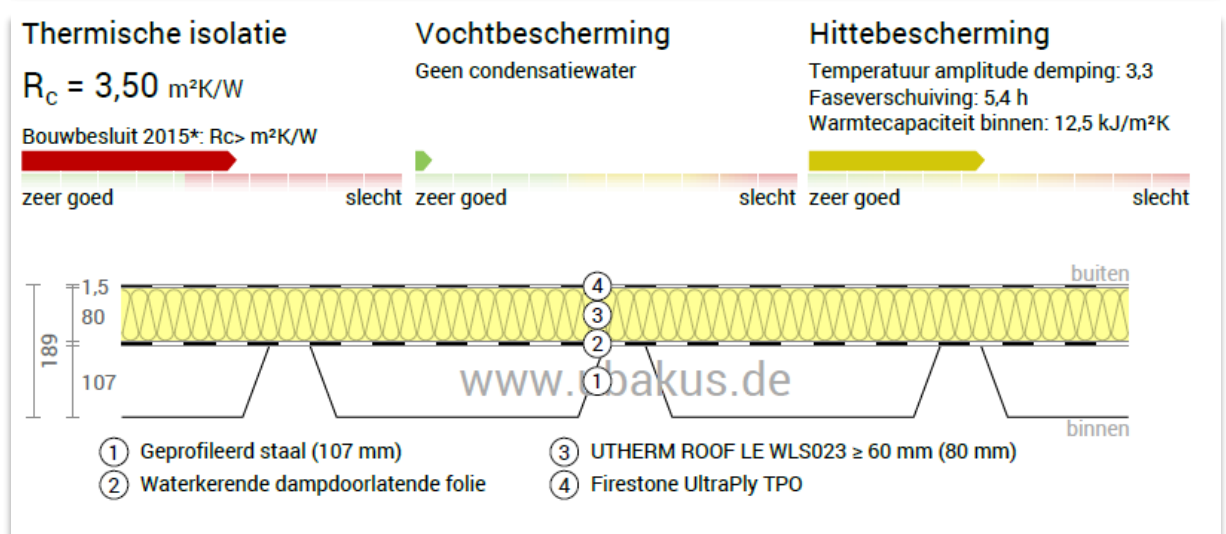
- GEWENST:
 - o Temp: 17-25°C (max: 25°C)
 - o RV: 20-30% (max: 40 in piek)
 - Piek zullen we nooit bereiken, vermits er quasi geen vochtige buitenlucht (zoals tijdens een onweer) wordt binnengebracht in het magazijn. We rekenen dus met max.30%.
- De warmtetransmissie tussen 2 media wordt berekend met de tool van ubakus.

1.4.1. TRANSMISSIE (verplaatsing van voelbare warmte doorheen een medium)

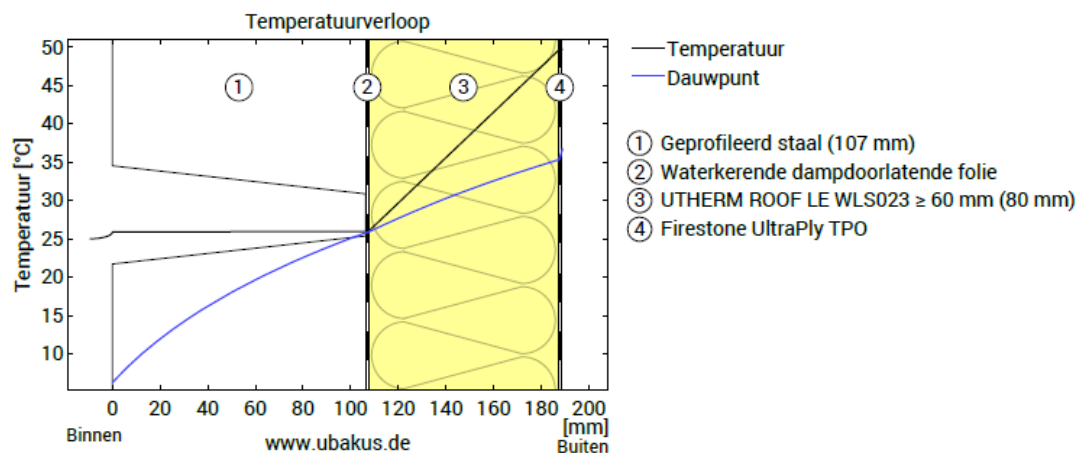
1.4.1.1 Dak

- Buitentemp dak: dankzij de witte TPO dakbedekking wordt ca. 85% van het zonlicht gereflecteerd. Dit resulteert in een temperatuursdaling van 30°C t.o.v. een zwart bitumen dak die maximaal 80°C kan behalen tijdens een zonnige warme dag. Concreet houden we rekening met maximaal 50°C bij een TPO dakbedekking.
- Berekeningstool van Ubakus:

Buiten:	Directe overgang naar buitenlucht	50	°C	50	% Luchtvochtigheid	Rse...
Van buiten naar binnen:		omkeren	Dikte	Breedte	Afstand	λ
4	Firestone UltraPly TPO	1,5	mm			0,17
3	UTHERM ROOF LE WLS023 $\geq$ 60 mm	80	mm			0,023
2	Waterkerende dampdoorlatende folie	0,5	mm			0,5
1	Geprofileerd staal	107	mm			10
			mm			
Binnen:	Vrije luchtcirculatie	25	°C	30	% Luchtvochtigheid	Rsi...



Temperatuurverloop



Verloop van temperatuur en dauwpunt in de constructie. Het dauwpunt is de temperatuur waarbij waterdamp condenseert en condenswater wordt gevormd. Zolang de temperatuur van de constructie op elk punt boven de dauwpunt temperatuur ligt, wordt er geen condenswater geproduceerd. Als de twee curven elkaar raken, wordt er op de raakpunten condenswater geproduceerd.

Lagen (van binnen naar buiten)

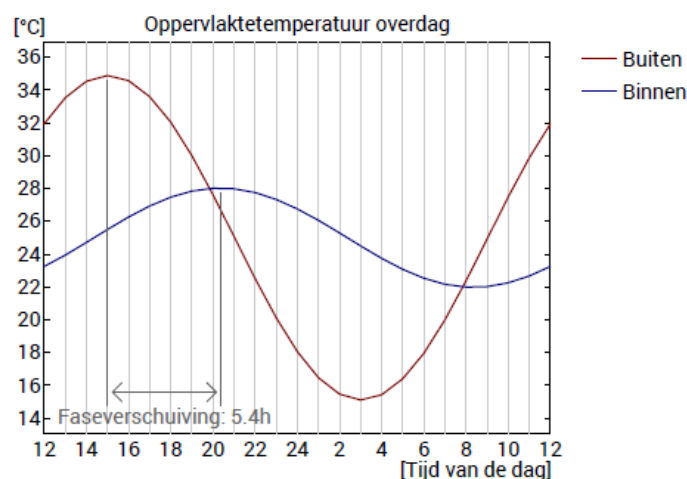
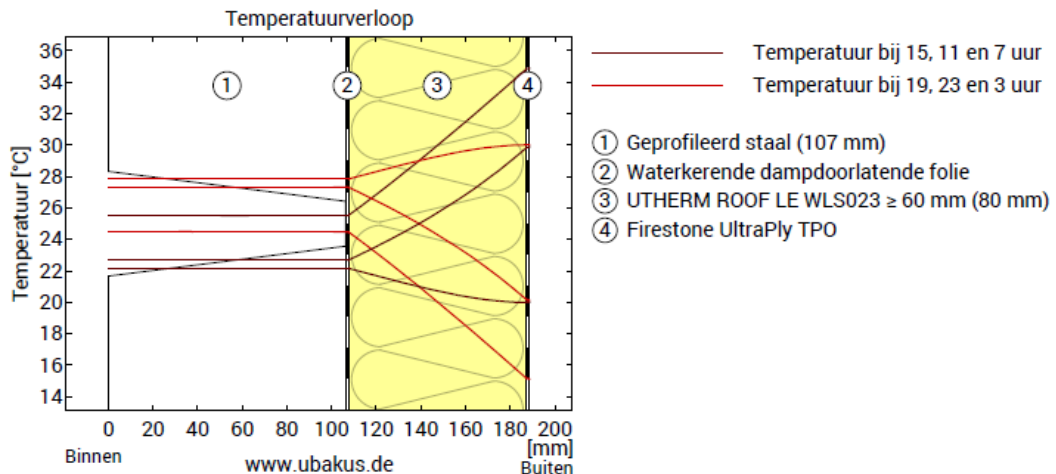
#	Materiaal	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Temperatuur [°C]		Gewicht [kg/m²]
				min	max	
	Warmteovergangswaarde*		0,130	25,0	25,9	
1	10,7 cm Geprofileerd staal	10,000	0,011	25,9	26,0	10,7
2	0,05 cm Waterkerende dampdoorlatende folie	0,500	0,001	26,0	26,0	0,4
3	8 cm UTherm ROOF LE WLS023 ≥ 60 mm	0,023	3,478	26,0	49,7	2,4
4	0,15 cm Firestone UltraPly TPO	0,170	0,009	49,7	49,7	1,5
	Warmteovergangswaarde*		0,040	49,7	50,0	
	18,9 cm Gehele constructie		3,669			15,0

*Veronderstelling: Vrije luchtcirculatie aan de binnenzijde van de constructie.

Oppervlaktetemperatuur binnen (min. / medium / max.)	25,9°C	25,9°C	25,9°C
Oppervlaktetemperatuur buiten (min. / medium / max.)	49,7°C	49,7°C	49,7°C

Hittebescherming

De volgende resultaten zijn eigenschappen van de geteste component alleen en doen geen uitspraak over de hittebescherming van de hele kamer:



Bovenste figuur: Temperatuurprofiel binnen het component op verschillende tijdstippen. Bruine lijnen van boven naar beneden, bruine lijnen: om 15, 11 en 7 uur en rode lijnen: om 19, 23 en 3 uur's ochtends.

Onderste figuur: Temperatuur aan de buitenkant (rood) en binnenzijde (blauw) oppervlak gedurende een dag. De zwarte pijlen geven de positie van de maximale temperatuurwaarden aan. De maximale binnentemperatuur dient zo mogelijk in de tweede helft van de nacht te worden bereikt.

Faseverschuiving*	5,4 h	Thermische opslagcapaciteit (complete constructie):	17 kJ/m²K
Amplitude demping**	3,3	Warmteopslagcapaciteit van de binnenlagen:	12,5 kJ/m²K
TAV***	0,306		

* De faseverschuiving geeft de tijd aan in uren waarna de maximale middagwarmte de binnenzijde van het constructie bereikt.

** Amplitude demping beschrijft de demping van de temperatuurgolf tijdens het passeren van de component. Een waarde van 10 betekent dat de temperatuur aan de buitenkant 10 keer zo hoog is als aan de binnenzijde, bijv. 15-35°C buiten, binnen 24-26°C.

*** De temperatuuramplitudetoevoeging TAV is de onderlinge verhouding van de demping: $TAV = 1/\text{Amplitude demping}$

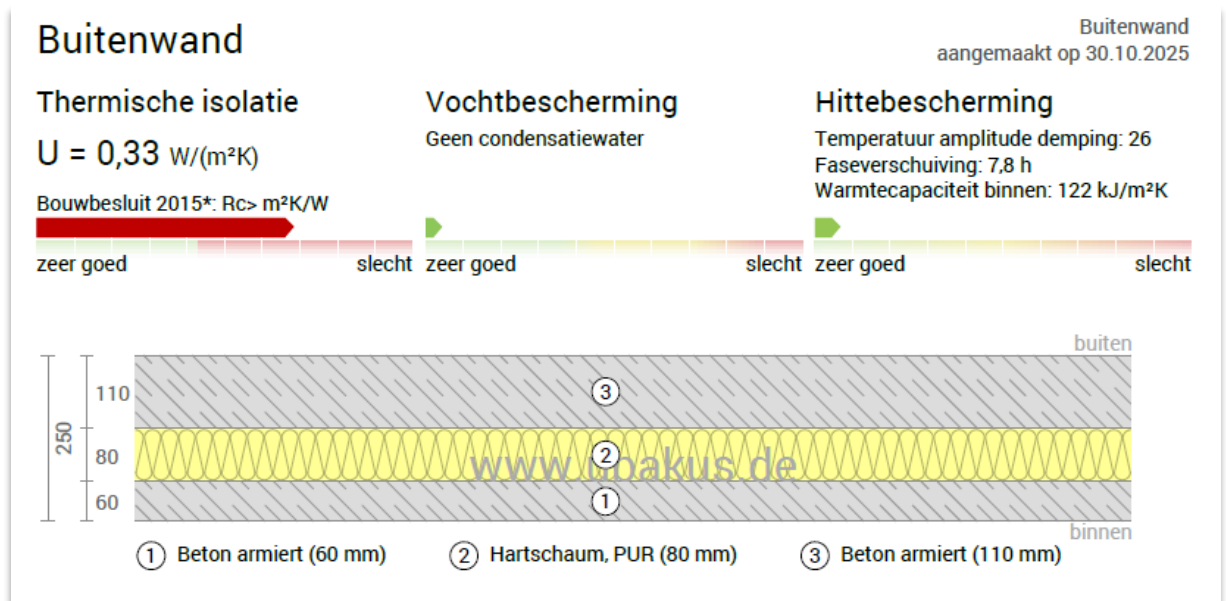
Commentaar:

- De amplitudedemping bedraagt 3,3. Bij een daktemperatuur verlopende tussen 50°C overdag en 15°C 's nachts, krijgen we binnen een temperatuurverloop van 35/3,3=10°C... dus indien geen actieve koeling aanwezig zal de binnentemperatuur variëren tussen 27,5 en 37,5°C.
- De faseverschuiving bedraagt 5,4h ... de warmste temperatuur aan de binnenzijde van het dak wordt bereikt rond 18h30.

- De U-waarde ($=1/R$) bedraagt $0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$
- De piektemperatuur aan de onderzijde van het dak is $37,5^\circ\text{C}$
- Oppervlakte dak: $206 \times 9,4 = 1936 \text{ m}^2$
- Het transmissieverlies wordt berekend met de formule: $Q = A \times U \times \Delta T \text{ (W)}$
 - A = oppervlakte (m^2)
 - U = warmtedoorgangscoefficiënt ($\text{W/m}^2\text{K}$)
 - ΔT = verschiltemperatuur aan beide zijden ($^\circ\text{K}$)
- Totale $Q(\text{W}) = 1936 \text{ m}^2 \times 0,29 \times (37,5 - 25) = 7\,019 \text{ W}$

1.4.1.2 Buitenmuur

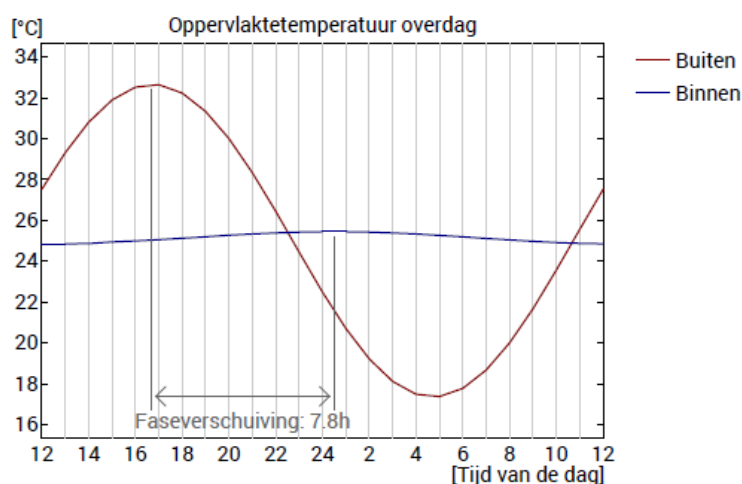
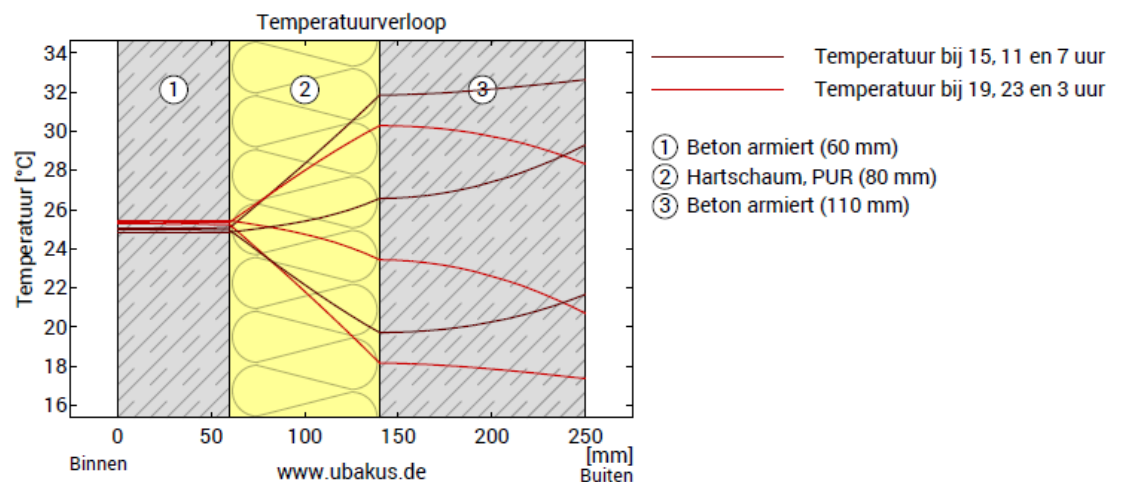
Buiten:	Directe overgang naar buitenlucht ▼	35	°C	50	% Luchtvochtigheid	Rse...
Van buiten naar binnen: omkeren						
		Dikte	Breedte	Afstand ▼	λ	μ
:: 3	Beton armiert (1%) ▼	110	mm		2,3	80/130
:: 2	Hartschaum, PUR (unbeschichtet) ▼	80	mm		0,029	40/200
:: 1	Beton armiert (1%) ▼	60	mm		2,3	80/130
::	▼		mm			
Binnen:	Vrije luchtcirculatie ▼	25	°C	50	% Luchtvochtigheid	Rsi...



Buitenwand, $U=0,33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Hittebescherming

De volgende resultaten zijn eigenschappen van de geteste component alleen en doen geen uitspraak over de hittebescherming van de hele kamer:



Bovenste figuur: Temperatuurprofiel binnen het component op verschillende tijdstippen. Bruine lijnen van boven naar beneden, bruine lijnen: om 15, 11 en 7 uur en rode lijnen om 19, 23 en 3 uur's ochtends.

Onderste figuur: Temperatuur aan de buitenkant (rood) en binnenzijde (blauw) oppervlak gedurende een dag. De zwarte pijlen geven de positie van de maximale temperatuurwaarden aan. De maximale binnentemperatuur dient zo mogelijk in de tweede helft van de nacht te worden bereikt.

Faseverschuiving*	7,8 h	Thermische opslagcapaciteit (complete constructie):	347 kJ/m²K
Amplitude damping**	25,6	Warmteopslagcapaciteit van de binnenlagen:	122 kJ/m²K
TAV****	0,039		

* De faseverschuiving geeft de tijd aan in uren waarna de maximale middagwarmte de binnenzijde van het constructie bereikt.

** Amplitude damping beschrijft de demping van de temperatuurgolf tijdens het passeren van de component. Een waarde van 10 betekent dat de temperatuur aan de buitenkant 10 keer zo hoog is als aan de binnenkant, bijv. 15-35°C buiten, binnen 24-26°C.

*** De temperatuuramplitude ratio TAV is de onderlinge verhouding van de demping: $TAV = 1/\text{Amplitude damping}$

- Commentaar:

- o De amplitudedemping bedraagt 25,6. Bij een geveltemperatuur verlopende tussen 50°C overdag en 15°C 's nachts, krijgen we binnen een temperatuursverloop van 35/25,6 = 1,36°C... dus indien geen actieve koeling aanwezig zal de binnentemperatuur variëren tussen en 31,8° en 33,1°C

- De faseverschuiving bedraagt 7,8h ... de warmste temperatuur aan de binnenzijde van het dak wordt bereikt rond 23h00.
- De U-waarde ($=1/R$) bedraagt $0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$
- De piektemperatuur aan de binnenzijde (zonder koeling): $33,1^\circ\text{C}$
- Oppervlakte buitenmuur: $95 \times 10 = 950\text{m}^2$
- Totale $Q(W) = 950\text{m}^2 \times 0,33 \times (33,1 - 25) = 2\,539 \text{ W}$

1.4.1.3 Binnenmuren Sandwichpanelen

- Er wordt een maximale binnentemperatuur van 35°C aangenomen.

Buiten:	Verwarmde kamer	35	°C	50	% Luchtvochtigheid	Rse...
Van buiten naar binnen:		omkeren	Dikte	Breedte	Afstand	λ
1	Isopaneele (PUR)	80	mm			0,025
			mm			sd=1000
			mm			
			mm			
Binnen:	Vrije luchtcirculatie	25	°C	50	% Luchtvochtigheid	Rsi...

Binnenmuur

Binnenmuur
aangemaakt op 30.10.2025

Thermische isolatie

$U = 0,29 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Bouwbesluit 2015*: $R_c > \text{m}^2\text{K/W}$

zeer goed

slecht

Vochtbescherming

Geen condensatiewater

zeer goed

slecht

Hittebescherming

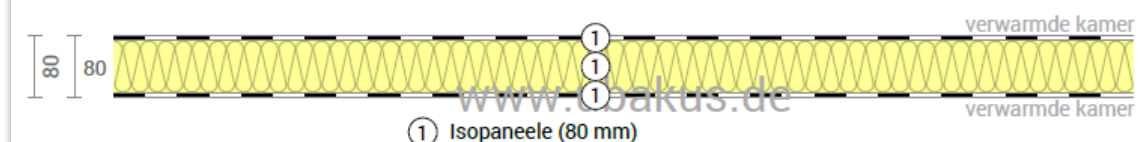
Temperatuur amplitude demping: 1,2

Faseverschuiving: 2,4 h

Warmtecapaciteit binnen: $3,1 \text{ kJ/m}^2\text{K}$

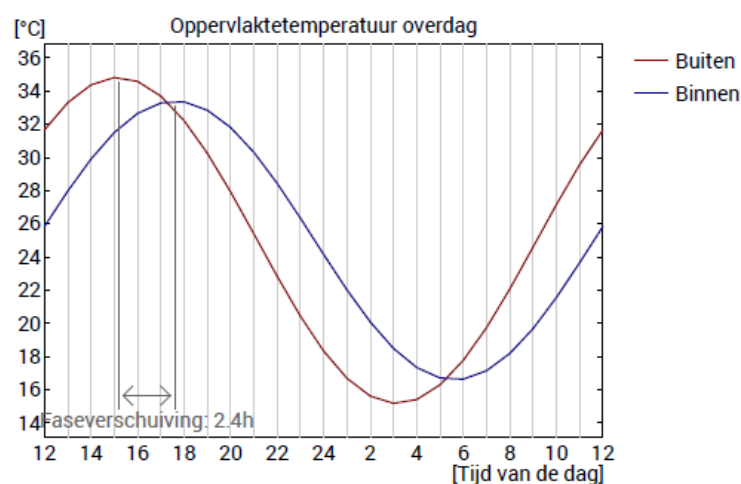
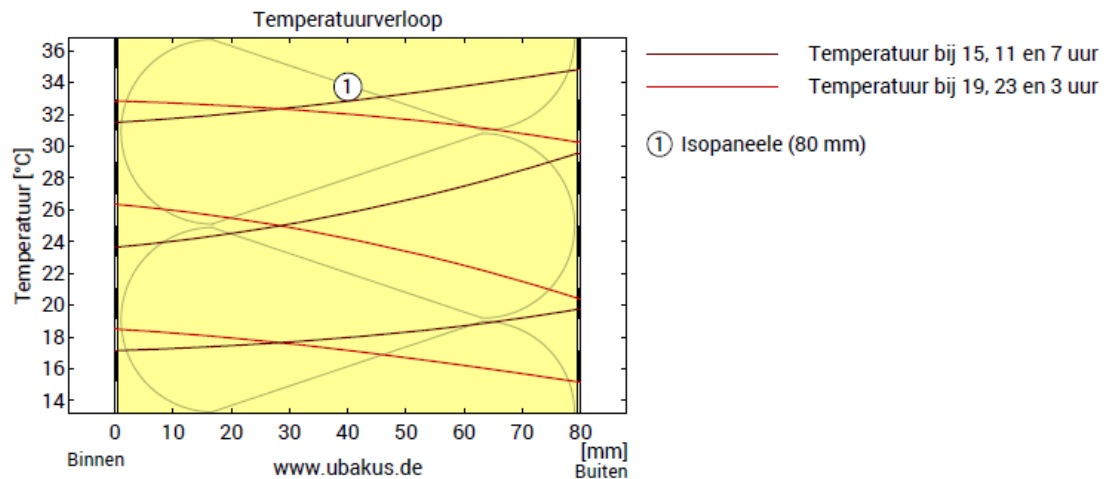
zeer goed

slecht



Hittebescherming

De volgende resultaten zijn eigenschappen van de geteste component alleen en doen geen uitspraak over de hittebescherming van de hele kamer:



Bovenste figuur: Temperatuurprofiel binnen het component op verschillende tijdstippen. Bruine lijnen van boven naar beneden, bruine lijnen: om 15,11 en 7 uur en rode lijnen om 19,23 en 3 uur's ochtends.

Onderste figuur: Temperatuur aan de buitenkant (rood) en binnenzijde (blauw) oppervlak gedurende een dag. De zwarte pijlen geven de positie van de maximale temperatuurwaarden aan. De maximale binnentemperatuur dient zo mogelijk in de tweede helft van de nacht te worden bereikt.

Faseverschuiving*	2.4 h	Thermische opslagcapaciteit (complete constructie):	6.1 kJ/m²K
Amplitude damping**	1.2	Warmteopslagcapaciteit van de binnenlagen:	3.1 kJ/m²K
TAV***	0.855		

* De faseverschuiving geeft de tijd aan in uren waarna de maximale middagwarmte de binnenzijde van het constructie bereikt.

** Amplitude damping beschrijft de demping van de temperatuurgolf tijdens het passeren van de component. Een waarde van 10 betekent dat de temperatuur aan de buitenkant 10 keer zo hoog is als aan de binnenzijde, bijv. 15-35°C buiten, binnen 24-26°C.

*** De temperatuuramplitude ratio TAV is de onderlinge verhouding van de demping: $TAV = 1/\text{Amplitude damping}$

- Commentaar:

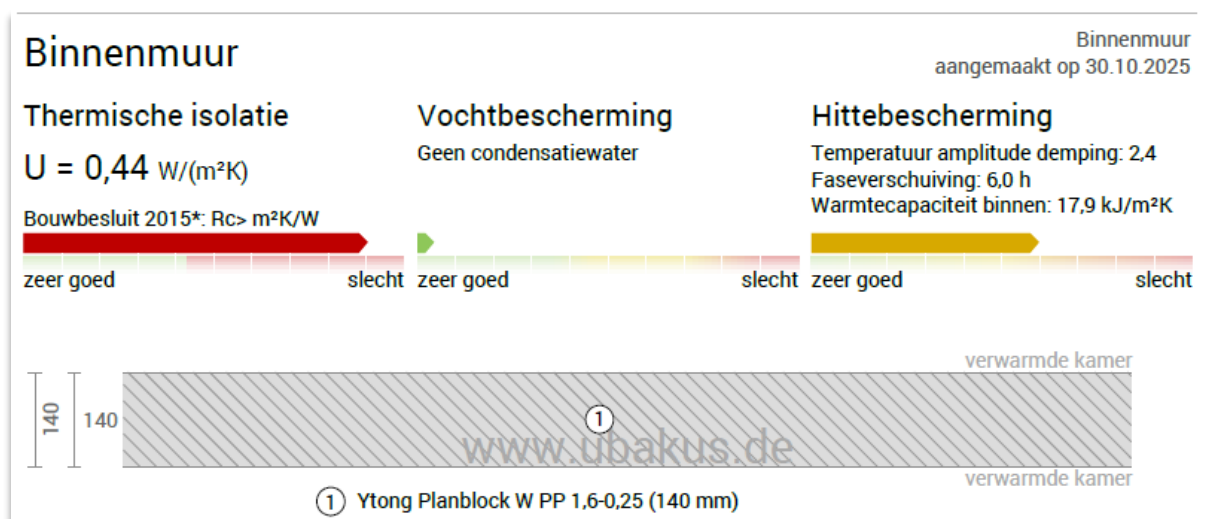
- o De amplitudedemping bedraagt 1,2. Bij een ruimte temperatuur verlopende tussen 35°C overdag en 25°C 's nachts, krijgen we binnen een temperatuursverloop van $10/1,2 = 8,3^\circ\text{C}$... dus indien geen actieve koeling aanwezig zal de binnentemperatuur variëren tussen 34,1° en 25,8°C
- o De faseverschuiving bedraagt 2,4h ... de warmste temperatuur aan de binnenzijde van het dak wordt bereikt rond 17h30.

- De U-waarde ($=1/R$) bedraagt $0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$
- De piektemperatuur aan de binnenzijde (zonder koeling): $34,1^\circ\text{C}$
- Oppervlakte sandwichpanelen: $(206+9,4+9,4+71) \times 10 = 2\,988\text{m}^2$
- Totale $Q(W) = 2\,988\text{m}^2 \times 0,29 \times (34,1 - 25) = 7\,885 \text{ W}$

1.4.1.4 Binnenmuren Ytong blokken

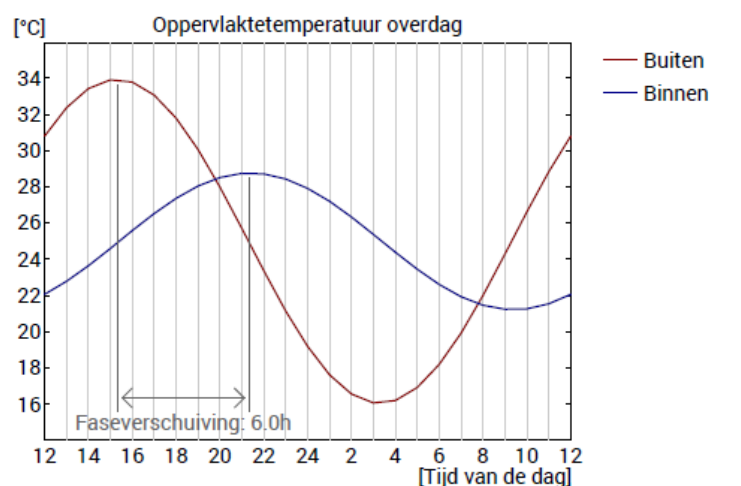
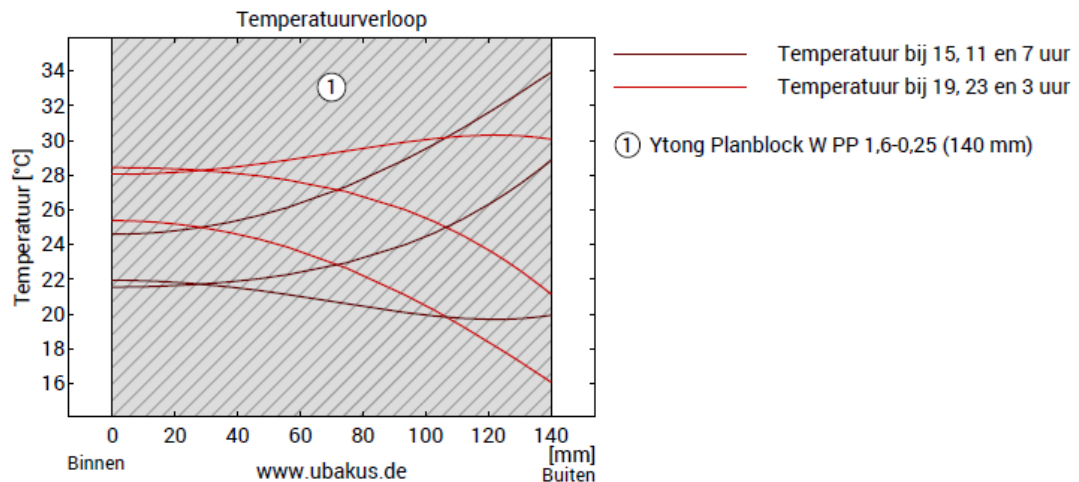
- Er wordt een maximale binnentemperatuur van 35°C aangenomen.

Buiten:	Verwarmde kamer	35	°C	50	% Luchtvochtigheid	Rse...
Van buiten naar binnen:		omkeren	Dikte	Breedte	Afstand	λ
1	Ytong Planblock W PP 1,6-0,25	140	mm			0,07
...			mm			
...			mm			
...			mm			
Binnen:	Vrije luchtcirculatie	25	°C	50	% Luchtvochtigheid	Rsi...



Hittebescherming

De volgende resultaten zijn eigenschappen van de geteste component alleen en doen geen uitspraak over de hittebescherming van de hele kamer:



Bovenste figuur: Temperatuurprofiel binnen het component op verschillende tijdstippen. Bruine lijnen van boven naar beneden, bruine lijnen: om 15,11 en 7 uur en rode lijnen om 19,23 en 3 uur's ochtends.

Onderste figuur: Temperatuur aan de buitenkant (rood) en binnenzijde (blauw) oppervlak gedurende een dag. De zwarte pijlen geven de positie van de maximale temperatuurwaarden aan. De maximale binnentemperatuur dient zo mogelijk in de tweede helft van de nacht te worden bereikt.

Faseverschuiving*	6,0 h	Thermische opslagcapaciteit (complete constructie):	35 kJ/m²K
Amplitude damping**	2,4	Warmteopslagcapaciteit van de binnenlagen:	17,9 kJ/m²K
TAV***	0,422		

* De faseverschuiving geeft de tijd aan in uren waarna de maximale middagwarmte de binnenzijde van het constructie bereikt.

** Amplitude damping beschrijft de demping van de temperatuurgolf tijdens het passeren van de component. Een waarde van 10 betekent dat de temperatuur aan de buitenkant 10 keer zo hoog is als aan de binnenkant, bijv. 15-35°C buiten, binnen 24-26°C.

*** De temperatuuramplitude ratio TAV is de onderlinge verhouding van de demping: TAV = 1/Amplitude damping

- Commentaar:

- ○ De amplitudedemping bedraagt 2,4. Bij een ruimte temperatuur verlopende tussen 35°C overdag en 25°C 's nachts, krijgen we binnen een temperatuursverloop van $10/2,4 = 4,2^\circ\text{C}$... dus indien geen actieve koeling aanwezig zal de binnentemperatuur variëren tussen en $32,1^\circ$ en $27,9^\circ\text{C}$

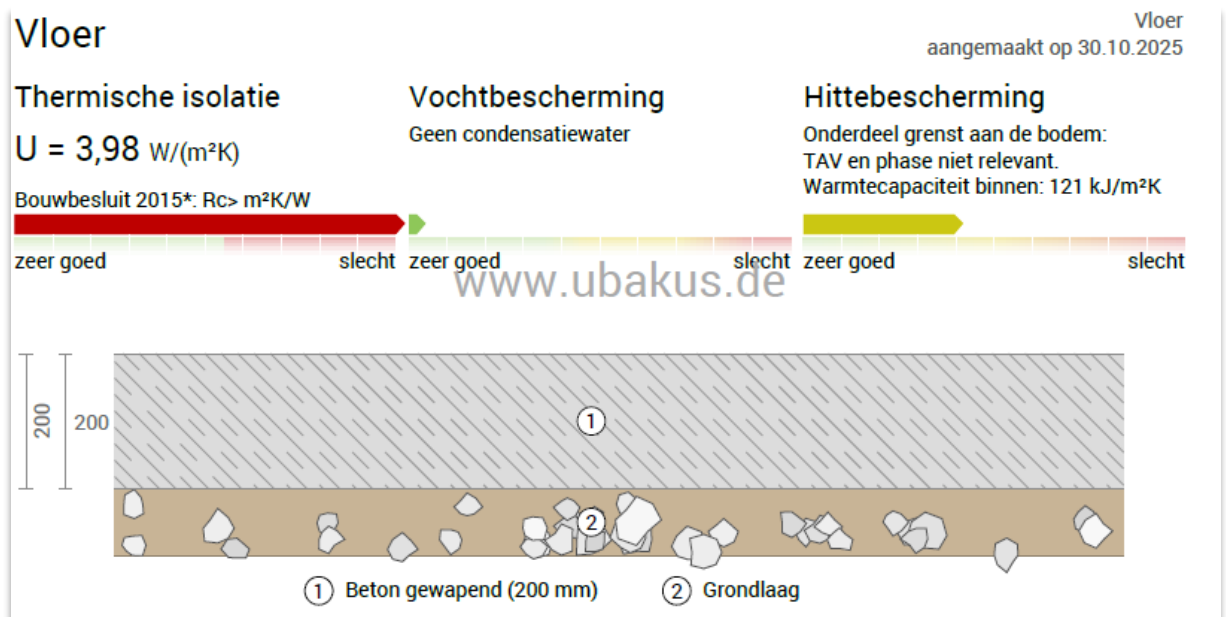
aTAUW company®

- De faseverschuiving bedraagt 6h ... de warmste temperatuur aan de binnenzijde van het dak wordt bereikt rond 19h00.
- De U-waarde ($=1/R$) bedraagt $0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$
- De piektemperatuur aan de binnenzijde (zonder koeling): $32,1^\circ\text{C}$
- Oppervlakte Ytong wand: $40 \times 10 = 400\text{m}^2$
- Totale $Q(W) = 400\text{m}^2 \times 0,44 \times (32,1 - 25) = 1\,250 \text{ W}$

1.4.1.5 Betonvloer

- Vloer: wordt als één blok beschouwd die sowieso de omgevingstemperatuur van het PAL magazijn zal benaderen. Om toch wat warmteverliezen in te calculeren wordt rekening gehouden met een $\Delta T = \pm 1^\circ\text{C}$

Buiten:	Ondergrond	24	°C	100	% Luchtvochtigheid	Rse...
Van buiten naar binnen:		omkeren	Hoogte	Breedte	Afstand	λ
1	Beton gewapend (2%)	200	mm			2,5
			mm			
			mm			
			mm			
Binnen:	Vrije luchtcirculatie	25	°C	50	% Luchtvochtigheid	Rsi...



- Het transmissieverlies wordt berekend met de formule: $Q = A \times U \times \Delta T \text{ (W)}$
 - A = oppervlakte (m^2)
 - U = warmtedoorgangscoefficiënt ($\text{W/m}^2\text{K}$)
 - ΔT = verschiltemperatuur aan beide zijden ($^\circ\text{K}$)
- $Q(W) = (206 \times 9,4) \times 3,98 \times 1^\circ\text{C} = 7\,706\text{W}$

1.4.2. INFILTRATIE (luchtverplaatsing van één ruimte naar een andere)

1.4.2.1 Doorheen het **dak**: $0,6 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ (doorheen lekopeningen)

- Oppervlakte: $206\text{m} \times 9,4\text{m} = 1936\text{m}^2$
- $V = 0,6 \text{ m}^3/\text{hm}^2 \times 1936\text{m}^2 = 1161 \text{ m}^3/\text{h}$
- Berekening warmteverlies
 - Delta T : $(50-25^\circ\text{C}) = 25^\circ\text{C}$
 - Densiteit bij 50°C : $1,07\text{kg}/\text{m}^3$
 - Soortelijke warmte lucht: $1 \text{ kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$
 - Warmtevermogen $Q \text{ (W)} = 1161\text{m}^3/\text{h} \times 1,07 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 1 \text{ kJ}/\text{kg}^\circ\text{C} \times 25^\circ\text{C} = 31\,073\text{kJ}$ of $8\,631 \text{ W}$

○

1.4.2.2 Door de **poorten**:

- Luchtsnelheid door een poortopening, met gelijke drukken, ontstaat door een temperatuursverschil:

assuming indoor and outdoor temperatures are close to 26.7°C (80 F), the flow due to stack effect is:

$$Q = C A \sqrt{h(t_i - t_o)/t_i} \quad (10)$$

where

Q = air flow, L/s (cfm).

A = free area of inlets or outlets (assumed equal), m^2 (ft^2).

h = height from inlets to outlets, m (ft).

t_i = average temperature of indoor air in height h , $^\circ\text{C}$ (F).

t_o = temperature of outdoor air, $^\circ\text{C}$ (F).

C = constant of proportionality, 116 (9.4), including a value of 65% for effectiveness of openings. This should be reduced to 50% if conditions are not favorable [$C = 89$ (7.2)].

Eq 10 applies when $t_i > t_o$. If $t_i < t_o$, replace t_i in denominator with t_o .

Greatest flow per unit area of openings is obtained when inlets and outlets are equal; Eqs 9 and 10 are based on their equality. Increasing the outlet area over inlet area, or vice versa, will increase air flow but not in proportion to the added area. When openings are unequal, use the smaller area in the equations, and add the increase, as determined from Fig. 6.

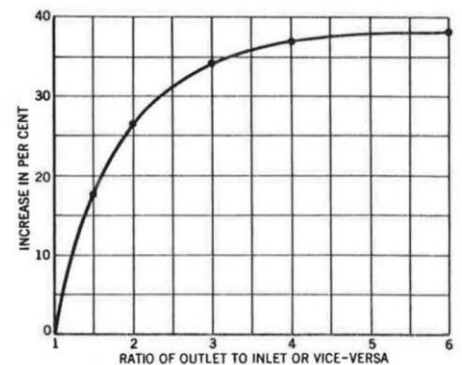


Fig. 6 Increase in Flow Caused by Excess of One Opening Over Another

-
- Vermits er geen sprake is van een in- en uitlaatopening (schouweffect) nemen we $h=1$.
 - Luchtsnelheid (m/s) = $0,65 \cdot 1 \cdot \sqrt{1 \cdot (35-25)/35} = 0,34\text{m}/\text{s}$
 - Als we deze formule vergelijken met onderstaande empirische formule bij een $\Delta T = 4,67^\circ\text{C}$ komen we uit op $0,257 \text{ m}/\text{s}$ wat perfect klopt met onderstaande $0,25\text{m}/\text{s}$
-

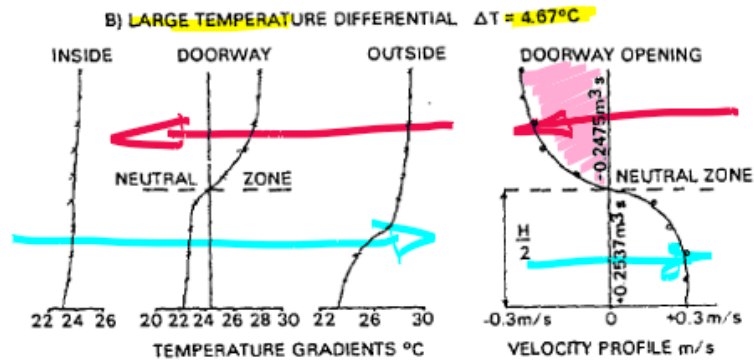
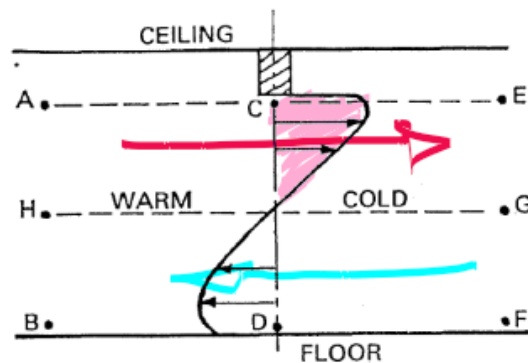


Fig. 7. Temperature gradients and velocity profiles in indicating position of neutral zone.



• Air infiltration as doors are opened

When a door opens, it creates local, short-term pressure differences and air turbulence that can pull in air even if the room is under positive pressure. If a door opens to the weather, assume the local average wind velocity governs the airflow rate through the door for the amount of time the door is open. If a door opens to another space, assume there is an air current of 50 feet per minute into the room for the time the door remains open, unless there is better specific data available.

$$50 \times 0,305 \text{ m} = 15,25 \text{ m/min} = 0,25 \text{ m/s}$$

vor de helft warme helft koude

$> 0,25 / 2 = 0,125 \text{ m/s}$ vor de volledige opening

- Conclusie: De snelheid is dus toepasbaar op de inkomende- en uitstromende lucht en dit elk over de helft van de opening. Over de volledige oppervlakte nemen we dus de helft of zijnde $0,34/2 = 0,17 \text{ m/s}$

○ Invoeropeningen:

- 2 naast elkaar liggende openingen
 - $L = 6 \text{ m}$
 - $H = 0,6 \text{ m}$
- Openingstijd: 50%
- Volume:
 - $v = 0,13 \text{ m/s}$ over de volledige opening
 - Tijd open = 1800s

aTAUW company

- $V = 6\text{m} \times 0,6\text{m} \times 0,17\text{m/s} \times 1800\text{s} = 1101\text{m}^3/\text{h}$ of $0,612\text{ m}^3/\text{s}$
- Delta T : 10°C
- Densiteit bij gemiddeld 35°C : $1,13\text{kg/m}^3$
- Soortelijke warmte lucht: $1\text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$
- Warmtevermogen Q (W) = $1101\text{m}^3/\text{h} \times 1,13\text{ kg/m}^3 \times 1\text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times 10 = 12\,972\text{kJ}$ of $3\,603\text{ W}$ per opening, dus
- Uitvoeropeningen:
 - Uitvoer 1 naar Lux 9
 - L = 6m
 - H = 0,8m
 - Afsluitbaar met geautomatiseerde sectionaalpoort (vermoedelijk, niet geverifieerd)
 - Openingstijd: 5% of 180 s
 - Warmtevermogen Q (W) = $(6\text{m} \times 0,6\text{m} \times 0,17\text{m/s} \times 180\text{s})\text{m}^3/\text{h} \times 1,15\text{ kg/m}^3 \times 1\text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times 10 = 1\,266\text{kJ}$ of 360 W
 -
 - Uitvoer 2 en 3 naar Lux 19
 - L = 6m
 - H = 1,75m
 - Afsluitbaar met geautomatiseerde sectionaalpoort
 - Openingstijd: 5% of 180 s
 - Warmtevermogen Q (W) = $(6\text{m} \times 1,75\text{m} \times 0,17\text{m/s} \times 180\text{s})\text{m}^3/\text{h} \times 1,15\text{ kg/m}^3 \times 1\text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times 10 = 3\,692\text{kJ}$ of $1\,025\text{ W}$

1.4.3. TOTALE KOELLAST

1.4.3.1 Gedeelte zonder ontvochtiging (wegkoelen voelbare warmte)

gewenst ($^\circ\text{C}$)	25	ZOMER = koeling
buiten dak ($^\circ\text{C}$)	50	
magazijn omliggend ($^\circ\text{C}$)	35	

Transmissie						
Item	oppervlakte (m^2)	U-waarde ($\text{W/m}^2\text{K}$)	T in ($^\circ\text{C}$)	T out ($^\circ\text{C}$)	Kolom1	Q (W)
dak	1.936	0,29	25	37,5		-7.018
buitenmuur	950	0,33	25	33,1		-2.539
binnenmuur sandwich	2.988	0,29	25	34,1		-7.885
binnenmuur Ytong	400	0,44	25	32,1		-1.250
betonvloer	1.936	3,98	25	24,0		7.707 werkt als warmtebuffer
Totaal						-10.985

Infiltratie						
Item	oppervlakte (m^2)	$\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$	T in ($^\circ\text{C}$)	T out ($^\circ\text{C}$)	Kolom1	Q (W) droge lucht
dak	1.936	0,6	25	50		-8.674

Item	oppervlakte (m^2)	luchtsnelheid (m/s)	tijd open (s)	T in ($^\circ\text{C}$)	T out ($^\circ\text{C}$)	Q (W) droge lucht	Q (W) vochtige lucht	enthalpie (kJ)
poorten invoer	7,2	0,17	1800	25	35	-6.970	-118	73,8
poort uitvoer Lux 9	4,8	0,17	180	25	35	-465	-8	73,8
poort uitvoer Lux 19	21	0,17	180	25	35	-2.033	-34	73,8
						-9.468	-160	(2)
						-29.128	-318	(1)+(2)
								-29.444 Totale benodigde koeling (zonder ontvochtiging)

1.4.3.2 Gedeelte ontvochtiging

Infiltratie van vocht tijdens de zomermaanden, wanneer de luchtvochtigheid het hoogst is, doorheen het dak en de poortopeningen.

Op basis van ontvochtiging door het koelen van de lucht tot onder het dauwpunt wordt water onttrokken aan de inkomende lucht van de LBH-eenheid (luchtbehandelingseenheid).

De formule is als volgt:

$$Q(W) = \left(m \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right) \times \text{enthalpieverschil} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)\right) / 3,6$$

DROGEN = Infiltratie vocht zomermaanden							
Doel:							
temp max (°C)	25						
RV max (%)	30	0,3					
abs vocht (g/kg)	5,89	via macro Mollier of	http://www.hvac-calculator.net/				
enthalpie (kJ/kg)	40,2619705	via macro Mollier					
dauwpunt (°C)	6,22817338	via macro Mollier					
densiteit (kg/m³)	1,18	via macro Mollier					
zomer							
temp max (°C)	35			50			
RV max (%)	42,39		0,424	19,32489353			
abs vocht (g/kg)	15		0,015	15			
enthalpie (kJ/kg)	73,8415	via macro Mollier					
dauwpunt (°C)	20,31	via macro Mollier					
densiteit (kg/m³)	1,13	via macro Mollier					
Infiltratie							
Item	debiet (m³/h)	massa lucht (kg/h)	enthalpieverschil (kJ/kg)	koelvermogen (W)	voelbare warmte (W)	condensatiewarmte (W)	kg vocht totaal
dak	1.162	1.316	49,1	-17.971	-8.830	-9.141	12,0
poorten Invoer	2.203	2.497	33,6	-23.289	-7.068	-16.201	22,7
poort uitvoer Lux 9	147	166	33,6	-1.553	-473	-1.080	1,5
poortenuitvoer Lux 19	643	728	33,6	-6.792	-2.067	-4.725	6,6
		4.708		-49.605	-18.458	-31.147	42,9
				-60.590	Totaal theoretisch koelvermogen in zomer (W) (transmissie + infiltratie + ontvochtigen)		

Opmerking 1: het gedeelte voelbare warmte (droge + vochtige lucht) van de infiltratielucht (8631+17103+9421+17598) is al hoger uitgerekend en mag in de totale koellast maar éénmalig worden meegeteld.

De totale koellast wordt dus 10 985 + 49 605 = **60 590 W**

1.4.4. TOTALE WARMTELAST

Maximale ontwerpcondities: WINTER

- GEWENST:
 - o Temp: 17-25°C (min: 17°C)
 - o RV: 20-30% (max: 40 in piek)

Qua isolatiewaarde (of warmtetransmissie) gelden dezelfde waarden zoals hoger vernoemd in "transmissie".

Dak:

- o De amplitudedemping bedraagt 3,3. Bij een daktemperatuur verlopende tussen 0°C overdag en -10°C 's nachts, krijgen we binnen een temperatuursverloop van -10/3,3= -3,3°C... dus indien geen actieve verwarming aanwezig zal de binnentemperatuur variëren tussen -8,3 en -1,7°C.
- o De U-waarde (=1/R) bedraagt 0,29 W/m²K
- o De laagste temperatuur aan de onderzijde van het dak is -8,3°C
- o Oppervlakte dak: 206 x 9,4 = 1936m²
- o Het transmissieverlies wordt berekend met de formule: $Q = A \times U \times \Delta T$ (W)
 - A= oppervlakte (m²)
 - U= warmtedoorgangscoefficiënt (W/m²K)
 - Delta T= verschiltemperatuur aan beide zijden (°K)
- o Totale Q(W) = 1936m² x 0,29 x (17 - (-8,3)) = 14 204 W

Buitenmuur :

- o De amplitudedemping bedraagt 25,6. Bij een geveltemperatuur verlopende tussen 0°C overdag en -10°C 's nachts, krijgen we binnen een temperatuursverloop van -10/25,6= -0,39°C... dus indien geen actieve verwarming aanwezig zal de binnentemperatuur variëren tussen en -5,19° en -4,81°C
- o De U-waarde (=1/R) bedraagt 0,33 W/m²K
- o De laagste temperatuur aan de binnenzijde (zonder verwarming): -5,19°C
- o Oppervlakte buitenmuur: 95 x 10 = 950m²
- o Totale Q(W) = 950m² x 0,33 x (17-(-5,19)) = 6 957 W

Binnenmuren Sandwichpanelen

- o De amplitudedemping bedraagt 1,2. Bij een ruimte temperatuur verlopende tussen 15°C overdag en 10°C 's nachts, krijgen we binnen een temperatuursverloop van 5/1,2= 4,17°C... dus indien geen actieve verwarming aanwezig zal de binnentemperatuur variëren tussen 14,58°C en 10,42°C
- o De U-waarde (=1/R) bedraagt 0,29 W/m²K
- o De laagste temperatuur aan de binnenzijde (zonder verwarming): 10,42°C
- o Oppervlakte sandwichpanelen: (206+9,4+9,4+71) x 10 = 2 988m²
- o Totale Q(W) = 2 988m² x 0,29 x (17 - 10,42) = 5 702 W

Binnenmuren Ytong blokken

- o De amplitudedemping bedraagt 2,4. Bij een ruimte temperatuur verlopende tussen 15°C overdag en 10°C 's nachts, krijgen we binnen een temperatuursverloop van 5/2,4= 2,1°C... dus indien geen actieve koeling aanwezig zal de binnentemperatuur variëren tussen en 13,6° en 11,4°C

- De U-waarde (=1/R) bedraagt 0,44 W/m²K
- De laagste temperatuur aan de binnenzijde (zonder verwarming): 11,4°C
- Oppervlakte Ytong wand: 40 x 10 = 400m²
- Totale Q(W) = 400m² x 0,44 x (17 – 11,4) = 986 W

Betonvloer

- Vloer: wordt als één blok beschouwd die sowieso de omgevingstemperatuur van het PAL magazijn zal benaderen. Om toch wat warmteverliezen in te calculeren wordt rekening gehouden met een delta T=+/- 1°C
- Q(W)= (206 x 9,4) x 3,98 x 1°C = 7 707W

1.4.4.1 Berekening

gewenst (°C)	17	WINTER = verwarmen	
buiten dak (°C)	-10		
magazijn omliggend (°C)	10		

Transmissie	Item	oppervlakte (m ²)	U-waarde (W/m ² K)	T in (°C)	T out (°C)	Kolom1	Q (W)	commentaar
	dak	1.936	0,29	17	-8,3		14.204	
	buitenmuur	950	0,33	17	-5,2		6.957	
	binnenmuur sandwich	2.988	0,29	17	10,4		5.702	
	binnenmuur Ytong	400	0,44	17	11,4		986	
	betonvloer	1.936	3,98	17	16,0		7.707	werkt als warmtebuffer
Totaal							35.555	

Infiltratie	Item	oppervlakte (m ²)	m ³ /hm ²	T in (°C)	T out (°C)	Kolom1	Q (W) droge lucht	Q (W) vochtige lucht	enthalpie (kJ)
	dak	1.936	0,6	17	-10		9.368		-10,1

	Item	oppervlakte (m ²)	luchtsnelheid (m/s)	tijd open (s)	T in (°C)	T out (°C)	Q (W) droge lucht	Q (W) vochtige lucht	enthalpie (kJ)
	poorten invoer	7,2	0,17	1800	17		10	65.181	-
	poort uitvoer Lux 9	4,8	0,17	180	17		10	4.345	-
	poortenuitvoer Lux 19	21	0,17	180	17		10	19.011	-
								88.537	-
								133.461	(1)+(2)

BEVOCHTIGEN = Infiltratie droge lucht in winter	
Doel:	
temp min (°C)	17
RV max (%)	20
abs vocht (g/kg)	2,39 via macro Mollier of http://www.hvac-calculator.net/index.php?v=2
enthalpie (kJ/kg)	23,22 via macro Mollier
dauwpunt (°C)	-6,10 via macro Mollier
densiteit (kg/m ³)	1,21 via macro Mollier
minimum in winter	
temp max (°C)	10
RV max (%)	26,4
abs vocht (g/kg)	2 via macro Mollier
enthalpie (kJ/kg)	15,14 via macro Mollier
dauwpunt (°C)	-8,39 via macro Mollier
densiteit (kg/m ³)	1,24 via macro Mollier

Item	debiet (m ³ /h)	massa lucht (kg/h)	stoom (kg)	warmte van stoom
dak	1.162	1.444	0,6	404
poorten invoer	146,88	183	0,1	51
poort uitvoer Lux 9	97,92	122	0,0	34
poortenuitvoer Lux 19	428,4	532	0,2	149
			0,9	638

Totaal opwarmvermogen zonder bevochtigen (W)	133.461
Extra warmte afkomstig van bevochtiging (W)	-638
Totaal opwarmvermogen (W) (incl. bevochtiging)	132.823

Commentaar:

- Bevochtiging is hier quasi niet aan de orde, dus geen stoombevochtiging te voorzien.
- De helft van alle warmteverlies is te wijten aan de openstaande invoerpoorten van het PAL magazijn.

2. OPLOSSINGEN

2.1. Oplossing 1: ontvochtigen d.m.v. koelbatterij

2.1.1. Fysica

Om te kunnen ontvochtigen moet de lucht gekoeld worden onder het dauwpunt. Klassiek gebeurt dit met een chiller die werkt in een regime +3/+8; dus steektemp=+3°C, retourtemp=+8°C. Veel lager in temperatuur kan wel, maar is praktisch niet aangeraden omdat de vochtige lucht begint te bevriezen op de koude wisselaar. Er treedt immers lokaal een verhoging van de luchtsnelheid op ... luchtweerstand verlaagt de luchtdruk, waardoor de temperatuur daalt (ideale gaswet). De onderste grens is dus +3°C.

De spec's vragen om de RV tussen **20-30%** te houden en de temperatuur tussen **17 en 25°C**.

T (°C) dry bulb	rH (%) rel.humidity	TDP (°C) dew point	W (kg/kg) abs. humidity	h (kJ/kg) enthalpy	Tw (°C) wet bulb	sp. vol (m³/kg)
17	20	-5,4	0,00239	23,1	7,2	0,83
17	30	-0,6	0,00359	26,2	8,6	0,83
25	20	0,5	0,00392	35,1	12,3	0,85
25	30	6,3	0,00589	40,2	14,1	0,85
24	30	5,4	0,00555	38,3	13,5	0,85
23	30	4,5	0,00522	36,4	12,8	0,85
22	30	3,7	0,00491	34,6	12,1	0,84

Commentaar: er is dus maar één combinatie die mogelijk is, nl. 25°C/30RV.

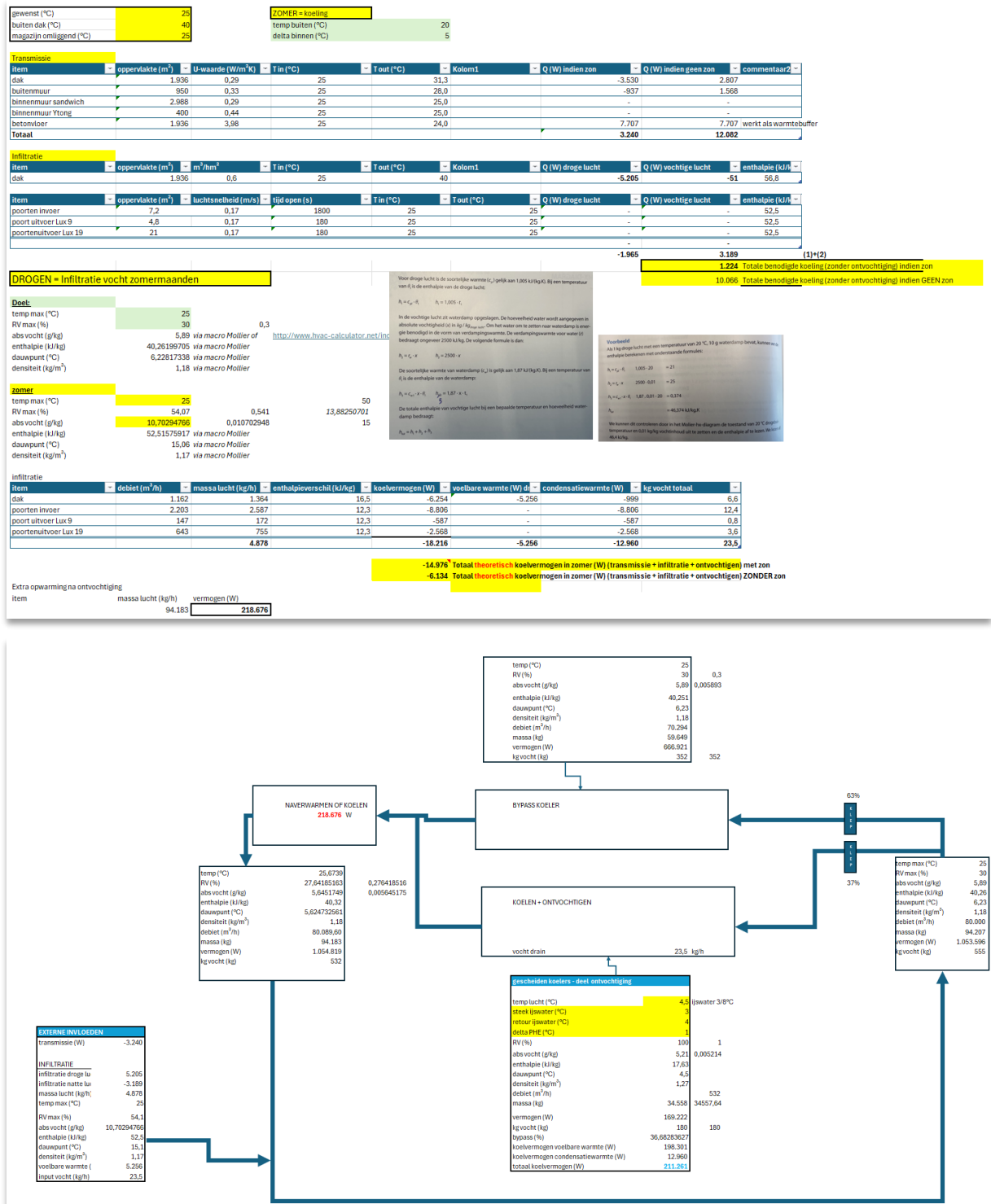
In principe kunnen we de temperatuur nog laten dalen, maar lager dan 22°C is theoretisch niet mogelijk.

Praktisch gezien zal de luchttemperatuur moeten dalen onder het dauwpunt en dit met een koude bron (ijswater) van +3°C. Dat is mogelijk maar dit zal een zeer groot uitwisseloppervlak vragen. We gaan dus met een groot ijswaterdebiet over de wisselaar moeten draaien, zodat de retourtemperatuur met max. 1°C stijgt. De delta T tussen ijswater en lucht mag max. 1°C bedragen (uitzonderlijk laag, dus zeer groot uitwisseloppervlak). De lucht zal dus gemiddeld afkoelen naar 4,5°C, wat dus impliceert dat we nooit lager dan 23°C in het PAL-magazijn mogen gaan... in praktijk zal dit dus 25°C.

Als aan al deze voorwaarden is voldaan, moet de lucht nadien opgewarmd worden naar de gevraagde temperatuur (+25°C).

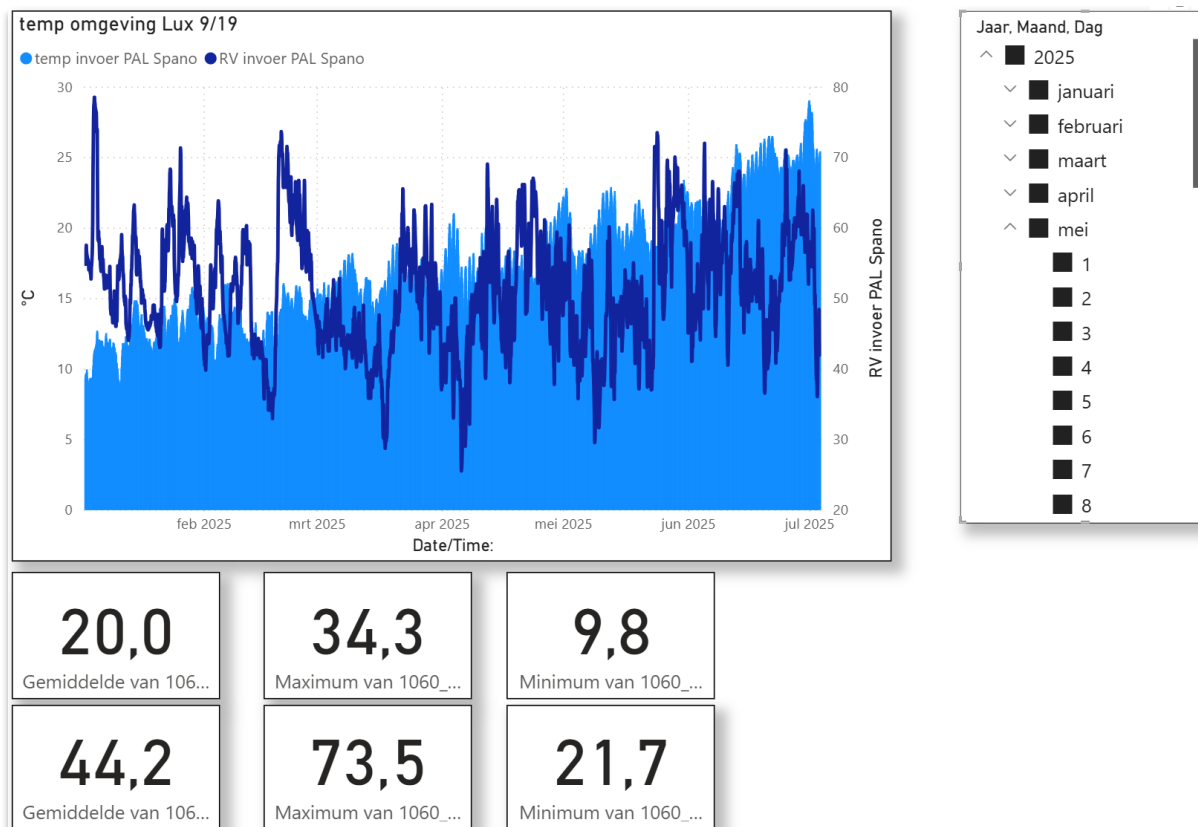
Enkele rekenvoorbeelden:

aTAUW company®

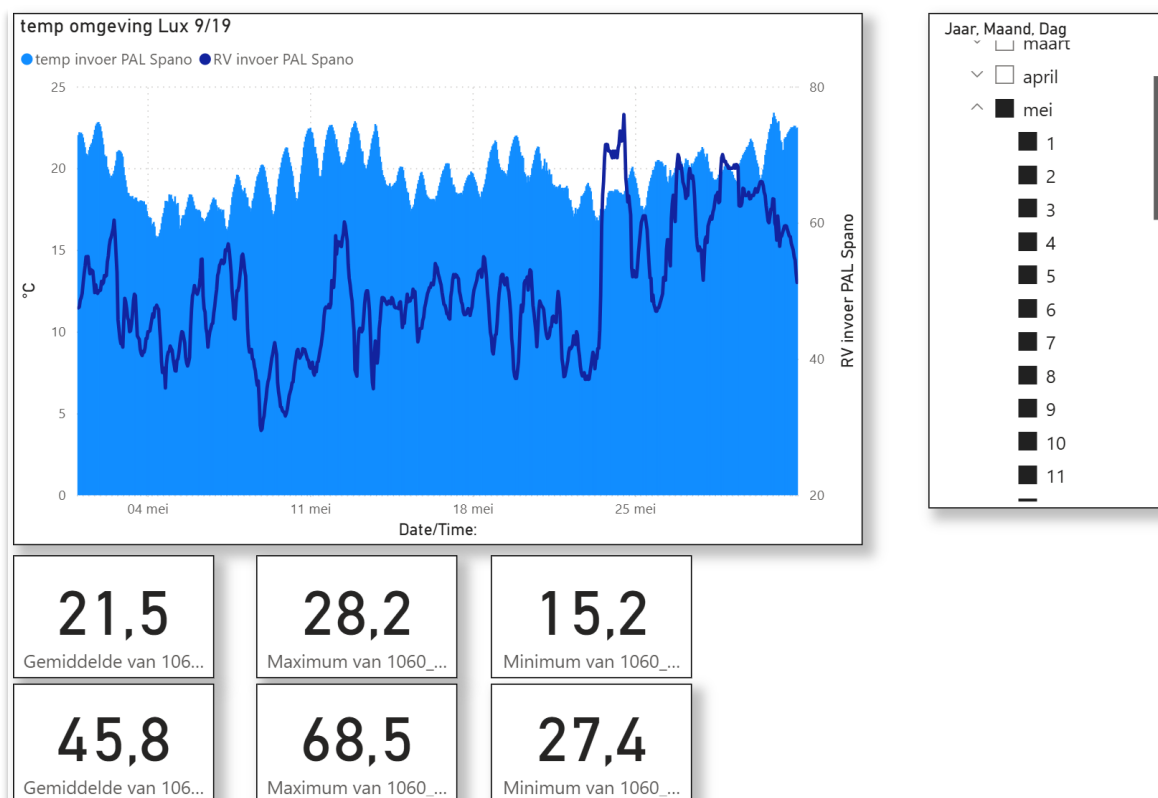
2.1.1.1 Situatie 1: temp buiten: 20°C, met zon

Commentaar:

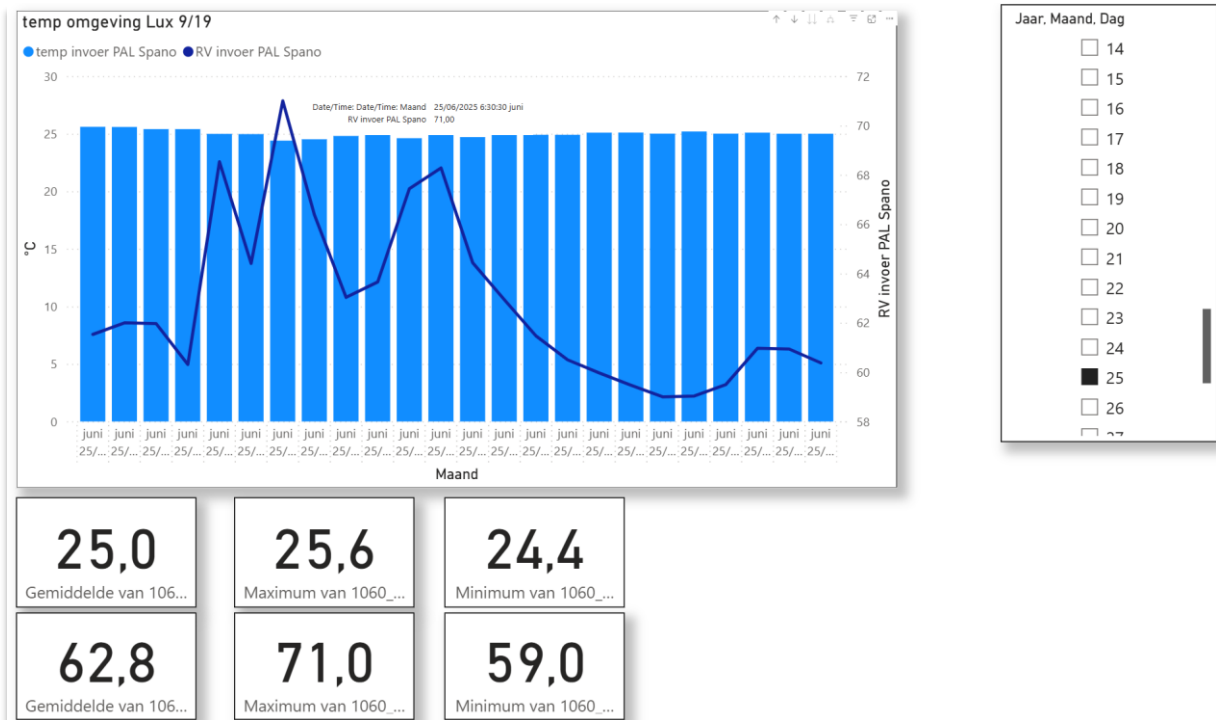
- Omwille van het zeer laag dauwpunt moet 37% van alle lucht gekoeld en ontvochtigd worden.
- Dit vraagt een koelvermogen van 211 kW
- Dit vraagt een opwarmvermogen van 219 kW

2.1.1.2 Situatie 2: gebaseerd op werkelijke waarden => temp binnen: 22,9°C, RV=56 met zon

figuur 2 - Temperatuursverloop van 02 januari tot 03 juli 2025 aan de invoer van PAL Spano



figuur 3 - Temperatuur en RV verloop in de maand mei 2025 aan de invoer van PAL Spano



figuur 4 - Temp en RV verloop op 25 juni 2025 bij de invoer PAL Spano

gewenst (°C)	25	ZOMER = koeling	20
buiten dak (°C)	40	temp buiten (°C)	5
magazijn omliggend (°C)	25	delta binnen (°C)	5

Transmissie	Item	oppervlakte (m²)	U-waarde (W/m²K)	T in (°C)	T out (°C)	Kolom1	Q (W) indien zon	Q (W) indien geen zon	commentaar2
	dak	1.936	0,29	25	31,3	-3.530	-	2.807	
	buitenmuur	950	0,33	25	28,0	-937	-	1.568	
	binnenmuur sandwich	2.988	0,29	25	25,0	-	-	-	
	binnenmuur Ytong	400	0,44	25	25,0	-	-	-	
	betonvloer	1.936	3,98	25	24,0	7.707	7.707	-	werkt als warmtebuffer
	Totaal						3.240	12.082	

Infiltratie	Item	oppervlakte (m²)	m³/hm²	T in (°C)	T out (°C)	Kolom1	Q (W) droge lucht	Q (W) vochtige lucht	enthalpie (kJ/h)
	dak	1.936	0,6	25	40	-5.205	-	-70	59,4

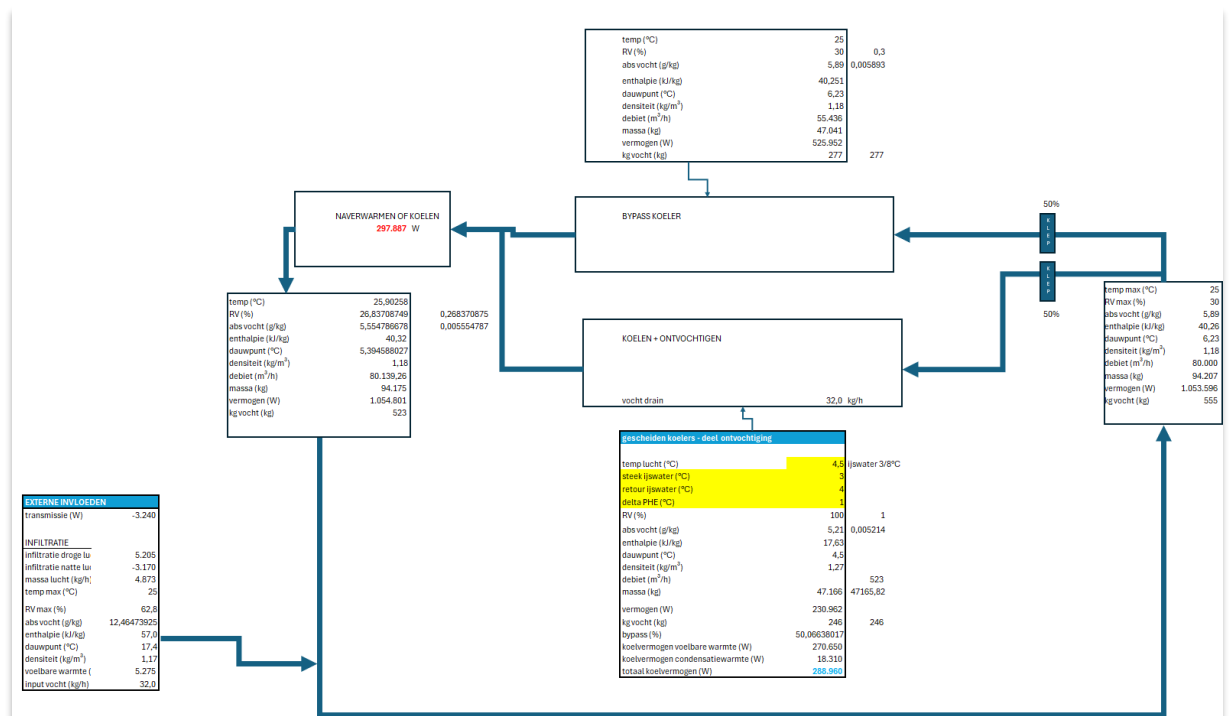
Infiltratie	Item	oppervlakte (m²)	luchtsnelheid (m/s)	tijd open (s)	T in (°C)	T out (°C)	Q (W) droge lucht	Q (W) vochtige lucht	enthalpie (kJ/h)
	poorten invoer	7,2	0,17	1800	25	25,0	-	-	57,0
	poort uitvoer Lux 9	4,8	0,17	180	25	25,0	-	-	57,0
	poortenuitvoer Lux 19	21	0,17	180	25	25,0	-	-	57,0
	Totaal						-1.965	3.170	(1)+(2)

DROGEN = Infiltratie vocht zomermaanden		Voor droge lucht is de voorwaarde warmte (Q _g) gelijk aan 1.005 kJ/kg K. Bij een temperatuur van 6 is de enthalpie van de droge lucht:		1.205 Totale benodigde koeling (zonder ontvochtiging) indien zon	
Doel:					10.047 Totale benodigde koeling (zonder ontvochtiging) indien GEEN zon
temp max (°C)	25				
RV max (%)	30				
abs vocht (g/kg)	5,89	via macro Mollier of	http://www.hvac-calculator.net/in		
enthalpie (kJ/kg)	40,26199705	via macro Mollier			
dauwpunt (°C)	6,22817338	via macro Mollier			
densiteit (kg/m³)	1,18	via macro Mollier			

ZOMER					
temp max (°C)	25				
RV max (%)	62,80	0,628	16,12279921	50	
abs vocht (g/kg)	12,46473629	0,012464739	15		
enthalpie (kJ/kg)	57,00392524	via macro Mollier			
dauwpunt (°C)	17,41	via macro Mollier			
densiteit (kg/m³)	1,17	via macro Mollier			

Infiltratie	Item	debiet (m³/h)	massa lucht (kg/h)	enthalpieverschil (kJ/kg)	koelvermogen (W)	voelbare warmte (W) d	condensatiewarmte (W)	kg vocht totaal
	dak	1.162	1.363	19,2	-7.260	-5.275	-1.985	9,0
	poorten invoer	2.203	2.584	16,7	-12.018	-	-12.018	17,0
	poort uitvoer Lux 9	147	172	16,7	-801	-	-801	1,1
	poortenuitvoer Lux 19	643	754	16,7	-3.505	-	-3.505	5,0
	Totaal		4.873		-23.585	-5.275	-18.310	32,0

Extra opmerking na ontvochtiging		-20.345 Totaal theoretisch koelvermogen in zomer (W) (transmissie + infiltratie + ontvochtigen) met zon	
Item	massa lucht (kg/h)	vermogen (W)	-11.503 Totaal theoretisch koelvermogen in zomer (W) (transmissie + infiltratie + ontvochtigen) ZONDER zon
	94.175	297.887	



Commentaar:

- Het gemiddeld koelvermogen bedraagt 289 kW
- Het gemiddeld opwarmvermogen bedraagt 298kW
- *Dit zijn zeer hoge verbruiken en dit gekoppeld aan een dure warmtewisselaar en warmtepomp.*

2.2. Oplossing 2: ontvochtigen d.m.v. koelbatterij, maar de PAL temperatuur verhogen tot 30°C.

Uit de spec's blijkt dat het verhogen van de temperatuur geen invloed heeft op de kwaliteit, maar dit laat ons toe om de ontvochtiging energetisch veel efficiënter te maken. Door het stijgen van de temperatuur stijgt het dauwpunt naar aanvaardbare waarden.

T (°C) dry bulb	rH (%) rel.humidity	TDP (°C) dew point	W (kg/kg) abs. humidity	h (kJ/kg) enthalpy	Tw (°C) wet bulb	sp. vol (m³/kg)
25	30	6,3	0,00589	40,2	14,1	0,85
26	30	7,1	0,00626	42,1	14,9	0,86
27	30	8	0,00664	44,1	15,6	0,86
28	30	8,9	0,00704	46,1	16,3	0,86
29	30	9,7	0,00747	48,2	16,9	0,87
30	30	10,6	0,00792	50,4	17,6	0,87

2.2.1. Situatie 3: gebaseerd op werkelijke waarden (= 25 juni 2025), temp PAL = 30°C

Om een meer realistische koelbatterij te installeren kiezen we volgende parameters:

gescheiden koelers - deel ontvochtiging	
temp lucht (°C)	8
steek ijswater (°C)	3
retour ijswater (°C)	5
delta PHE (°C)	4

gewensd (°C)	30	ZOMER = koeling	
buiten dak (°C)	40	temp buiten (°C)	20
magazijn ontliggend (°C)	25	delta binnen (°C)	5

Transmissie									
Item	oppervlakte (m²)	U-waarde (W/m²K)	T in (°C)	T out (°C)	Kolom1	Q (W) indien zon	Q (W) indien geen zon	commentaar2	
dak	1.936	0.29	30	31.3		-723		5.614	
buitenmuur	950	0.33	30	28.0		631		3.135	
binnenmuur sandwich	2.988	0.29	30	25.0		-4.333		4.333	
binnenmuur Ytong	400	0.44	30	25.0				890	
betonvloer	1.936	3.98	30	29.0		7.707		7.707	werkt als warmtebuffer
Totaal						12.827		21.669	

Infiltratie									
Item	oppervlakte (m²)	m³/hm²	T in (°C)	T out (°C)	Kolom1	Q (W) droge lucht	Q (W) vochtige lucht	enthalpie (kJ/h)	
dak	1.936	0.6	25	40		-5.295		-48	59.4

Infiltratie									
Item	oppervlakte (m²)	luchtsnelheid (m/s)	tijd open (s)	T in (°C)	T out (°C)	Q (W) droge lucht	Q (W) vochtige lucht	enthalpie (kJ/h)	
poorten invoer	7.2	0.17	1800	25	25.0	25.0	-	-	57.0
poort uitvoer Lux 9	4.8	0.17	180	30	25.0	240	-	2	57.0
poortenuitvoer Lux 19	21	0.17	180	25	25.0	25.0	-	-	57.0
						240		2	
						7.863		12.781	(1)+(2)

DROGEN = infiltratie vocht zomermaanden	
Deel	
temp max (°C)	30
RV max (%)	30
abs vocht (g/kg)	7.92 via macro Mollier of http://www.hvac-calculator.net/
enthalpie (kJ/kg)	50,55011094 via macro Mollier
dauwpunt (°C)	10,53522909 via macro Mollier
densiteit (kg/m³)	1.16 via macro Mollier

ZOMER	
temp max (°C)	25
RV max (%)	62.80
abs vocht (g/kg)	12.46473925
enthalpie (kJ/kg)	57,00392324 via macro Mollier
dauwpunt (°C)	17.41 via macro Mollier
densiteit (kg/m³)	1.17 via macro Mollier

Infiltratie									
Item	debiet (m³/h)	massa lucht (kg/h)	enthalpieverschil (kJ/kg)	koelvermogen (W)	voelbare warmte (W) d	condensatiwarmte (W)	kg vocht totaal		
dak	1.162	1.363	-3.366	6.9	-4.633	-5.253	1.887		6.2
poorten invoer	2.203	2.584	6.5	-4.633	-	-	-4.633		11.7
poort uitvoer Lux 9	147	172	6.5	-309	243	-	-551		0.8
poortenuitvoer Lux 19	643	754	6.5	-1.351	-	-	-1.351		3.4
				-9.659	-5.010	-	-4.648		22.1

Extra opwarming na ontvochtiging	
Item	massa lucht (kg/h)
	92.518
	145.940

3.168	Totaal theoretisch koelvermogen in zomer (W) (transmissie + infiltratie + ontvochtigen) met zon
12.010	Totaal theoretisch koelvermogen in zomer (W) (transmissie + infiltratie + ontvochtigen) ZONDER zon

Voor droge lucht is de voorkeurswaarde (p_h) gelijk aan 1.005 kJ/kgK. Bij een temperatuur van 15 is de enthalpie van de droge lucht:
$$h_1 = c_p \cdot \theta_1 \quad h_1 = 1.005 \cdot \theta_1$$

In de vochtige lucht zit waterdamp opgelost. De hoeveelheid water wordt aangegeven in absolute vochtigheid in g/kg, $\rho_{a,1}$. Om het water om te zetten naar waterdamp is meer benodigd in de vorm van verdampingswarmte. De verdampingswarmte voor water (p) bedraagt ongeveer 2500 kJ/kg. De volgende formule is dan:
$$h_1 = c_{p,a} \cdot \theta_1 \quad h_1 = 2500 \cdot \rho_{a,1}$$

De voorkeurswaarde van waterdamp (h_g) is gelijk aan 1.87 kJ/kgK. Bij een temperatuur van (p) is de enthalpie van de waterdamp:
$$h_1 = c_{p,a} \cdot \theta_1 \quad h_g = 1.87 \cdot \theta_1$$

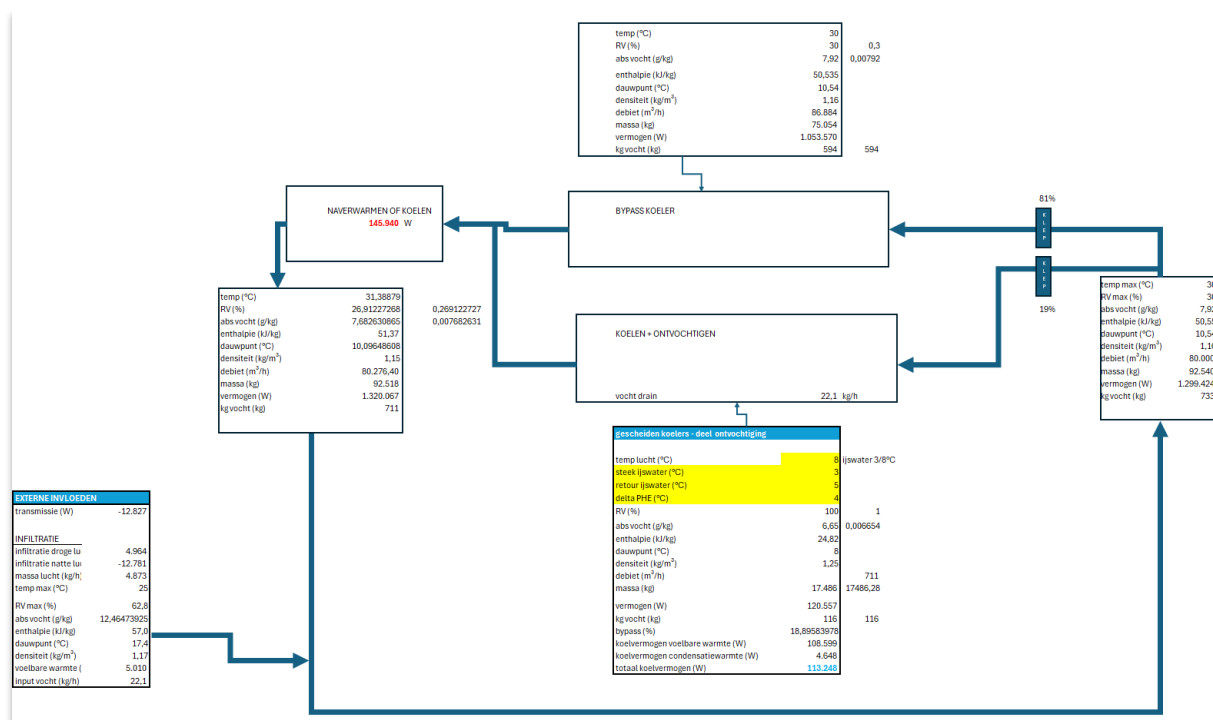
De totale enthalpie van vochtige lucht bij een bepaalde temperatuur en hoeveelheid waterdamp bedraagt:
$$h_{a,1} = h_1 + h_g + h_1$$

Voorbeeld:
als de droge lucht met een temperatuur van 20 °C, 10 g waterdamp bevat, kunten we de enthalpie berekenen met onderstaande formules:
$$h_1 = c_{p,a} \cdot \theta_1 = 1.005 \cdot 20 = 20.1$$

$$h_g = h_g \cdot \rho_{a,1} = 2500 \cdot 0.01 = 25$$

$$h_{a,1} = c_{p,a} \cdot \theta_1 + h_g = 1.005 \cdot 20 + 25 = 45.1$$

We kunnen dit controleren door in het Mollier-ho-diagram de toestand van 20 °C droge lucht temperatuur en 0.01 kg/kg vochtinhoud uit te zetten en de enthalpie af te lezen. Het zou 45.1 kJ/kg zijn.



Commentaar:

- Nog steeds moet 19% van alle lucht afgekoeld worden tot gemiddeld 8°C.
- Koelvermogen: 113kW
- Naverwarming: 145kW
- Dit zijn hoge vermogens en duur in CAPEX en OPEX.

2.3. Oplossing 3: de PAL temperatuur verhogen zodat geen ontvochtiging nodig is om RV=30% te behalen.

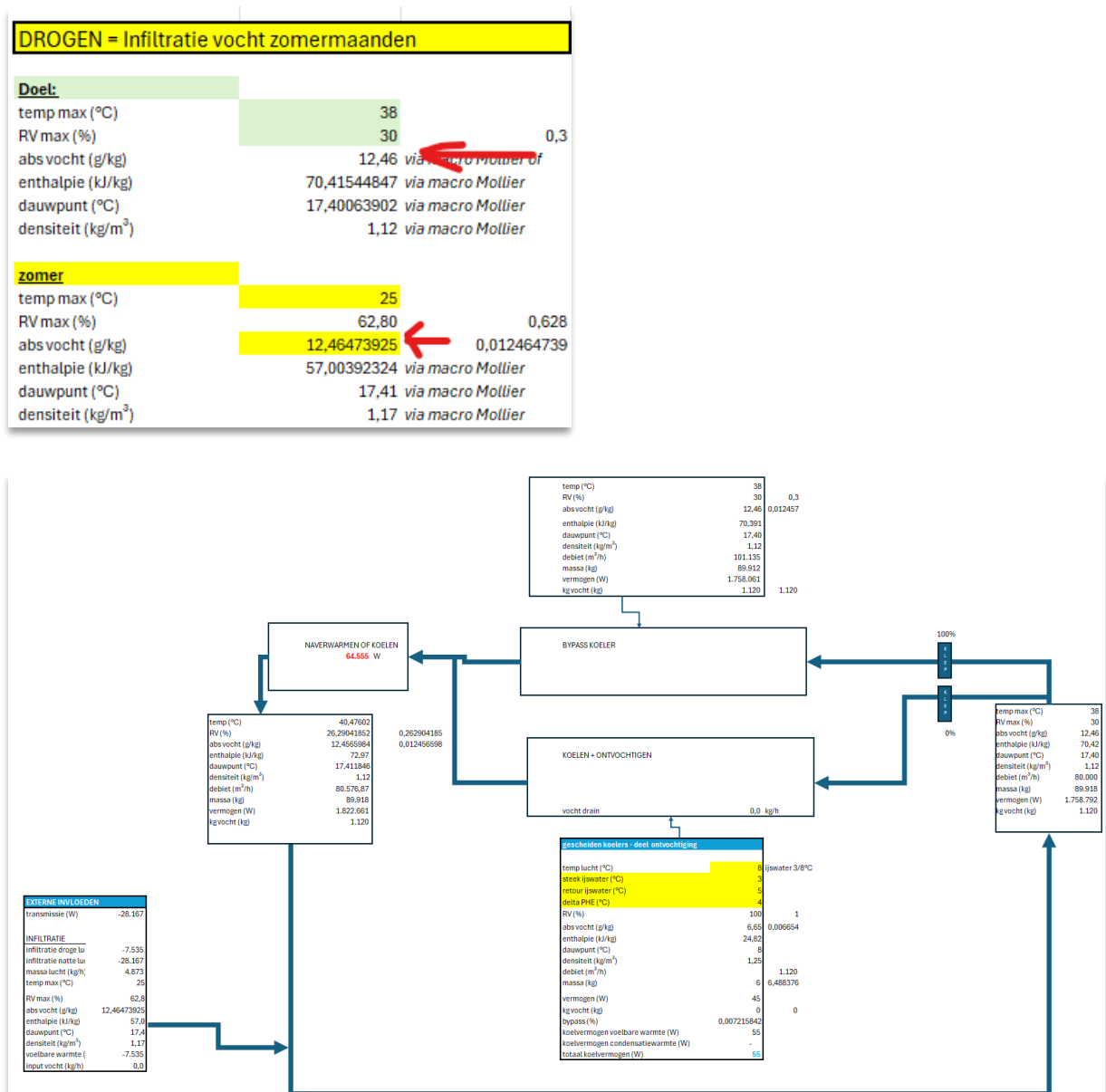
Om de totale energetische kost te drukken en de daar bijhorende investering, wordt de temperatuur zodanig geregeld dat de RV=30% blijft.

2.3.1. Situatie 4: gebaseerd op werkelijke waarden (= 25 juni 2025), temp PAL = 38°C

Verwarmen tot 38°C maakt dat de absolute vochtigheid mag oplopen tot 12,46g/kg.

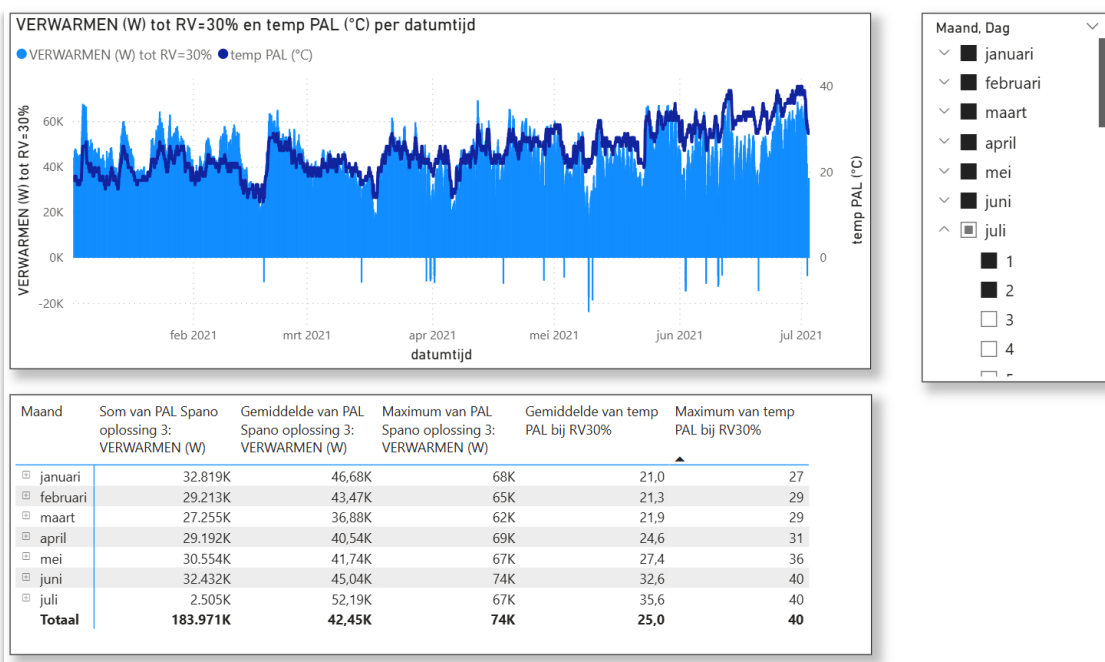
In praktijk zal de temperatuur lager liggen omdat de infiltratie van lucht beperkt is t.o.v. de grote massa in het PAL magazijn. Maar bij zomerse zwoele dagen zal er toch richting 40°C moeten bijgewarmd worden.

Het totaal opwarmvermogen bedraagt 65kW.

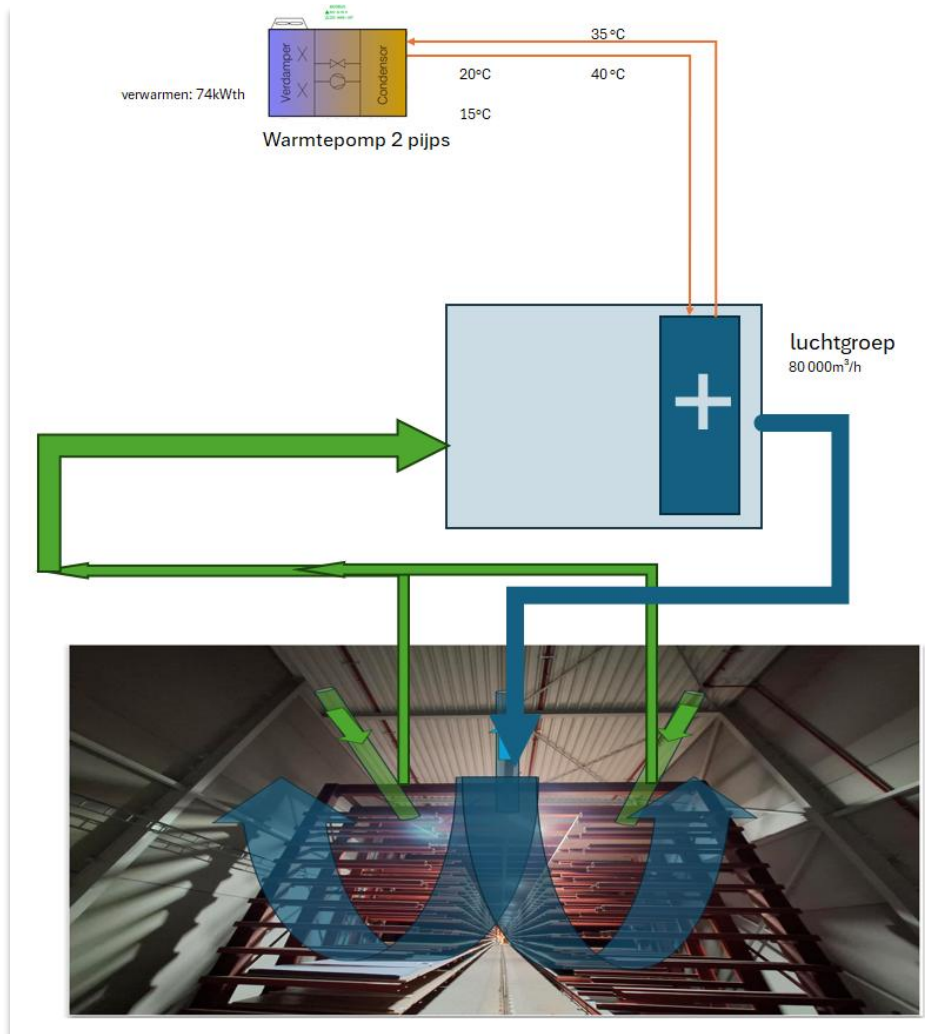


Conclusie:

- energetisch een goede oplossing, maar op **voorwaarde dat het magazijn tot max. 40°C** mag opgewarmd worden.
 - Dit is uitgesloten na mail van Ronny Cruyt op 13/11/2025.
- Op basis van de meetdata van jan-juni 2025 krijgen we onderstaand beeld en verbruik.



- Het verbruik bedraagt 184 MWth voor een half jaar, wat zeer goed meevalt.
- Het maximum opwarmvermogen is 74 KWth
- Stel dat we dit opwarmen met een warmtepomp met COP=4
 - Verwarmen: 184 MWth / 4 = 46 MWhe
- Totaal verbruik volledige installatie voor een volledig jaar:
 - 2 x 46 = 92 MWhe

Concept Situatie 4:

2.4. Oplossing 4: combinatie HVAC verwarmen + adsorptie ontvochtiging

Het doel is om in eerste instantie te werken met een temperatuursverhoging om $RV=30\%$ te behalen, maar beperkt tot max. 30°C . Het resterende vocht wordt verwijderd door een adsorptiemachine.

Een adsorptiedroger wordt als stand-alone toestel in de PAL-ruimte of in de aanzuig van de LBH-groep geplaatst.

Bijkomend zal de adsorptie droger (in zijn standaard configuratie) de ontvochtigde proceslucht extra opwarmen met ca. 70% van de warmte nodig voor regeneratie van de silicagel.

Om de maximum temperatuur van 30°C te garanderen zal dus een koelbatterij noodzakelijk zijn.

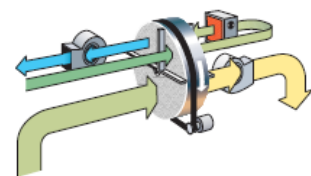
Het verbruik bedraagt **1,6 kWh/kg.** (inclusief ventilatoren).

- Voor 25 kg ontvochtiging => 35 kWh
- 35 kWh @70% = 24,5 kWh extra warmte naar het PAL magazijn.

Dehumidification principles

The basic principle of sorption dehumidification is that the rotating rotor continuously adsorbs the moisture. The moisture is discharged via an independent wet air outlet.

-  Incoming air.
-  Outgoing dry air.
-  Outgoing wet air, condensed in certain cases.



Recusorb R Complete with internal heat recovery to improve efficiency. Heat gained by the rotor during regeneration is transferred to the incoming regeneration air. The process air outlet is therefore both cooler and drier than with other desiccant dryers.

Dehumidifier Consorb CZ-82, 102, 102L, 104



Dehumidifying capacity at 20°C / 60%RH

22 - 65 kg/h

Dry air flow

3200 - 8000 m³/h

- Washable rotor
- Long lifetime
- No desiccant carry-over
- Suitable for high ambient water contents
- Excellent deep drying ability
- Option:
 - Hot-water coil for regeneration air pre-heating
 - Process fan equipped with frequency converter

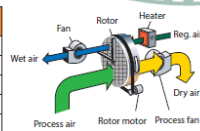


Section of a dehumidifier rotor from Selbu Giken. The high number of channels means that moisture is adsorbed with extra efficiency.

World leaders in dehumidification.

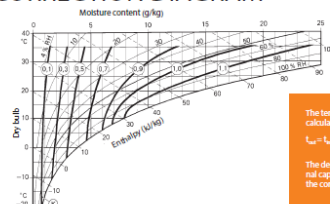
TECHNICAL DATA

Dehumidifier model	CZ-82	CZ-102	CZ-102L	CZ-104
Nominal capacity ¹⁾ (kg/h)	22	36	50	65
Dry air flow ²⁾ (m³/h)	3200	5200	7200	8000
at static pressure (Pa)	200	200	200	200
Wet air flow ²⁾ (m³/h)	850	1400	2000	2500
at static pressure (Pa)	200	200	200	200
Heater power ³⁾ (kW)	30	50	74	95
Max. electric consumption (kW)	34.1	54.5	81.7	106.5
Supply fuse 3x400V 50Hz (A)	63	100	160	200
Weight (kg)	300	380	400	560



1. Valid for inlet conditions 20°C/60%RH. For other inlet conditions the capacity can be calculated by using the diagram shown below.
2. Volume flow for density 1.20 kg/m³.
3. Electric reactivation heater is standard. Steam and hot water is optional.

CORRECTION DIAGRAM



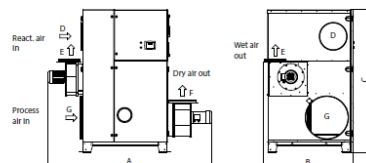
The temperature of the dry air at nominal air flow is calculated by:

$$t_{da} = t_a + (t_{wb} - t_a) \times 1.4$$

The dehumidifying capacity is estimated as the nominal capacity from above, multiplied by factor C_{cor} from the correction diagram.

DIMENSIONS

Subject to change without notice. Download installation drawing at www.dst-sg.com



	82	102	102L	104
A	2370	2420	2540	2915
B	1065	1265	1265	1255
C	1905	2105	2105	2105
D	Ø210	Ø400	Ø400	Ø400
E	Ø160	Ø215	Ø215	Ø215
F	Ø600	Ø600	Ø600	Ø600
G	Ø600	Ø630	Ø630	Ø630

Updated 19.01

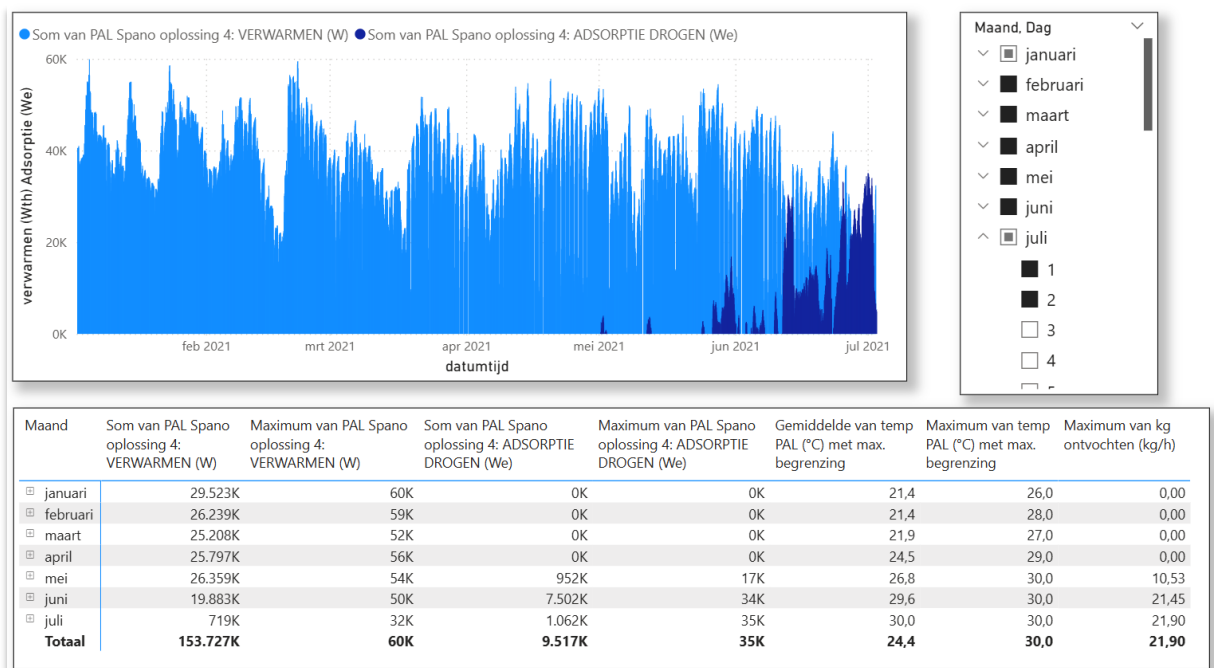


Sweden | +46 8 445 77 20
info@dst-sg.com | www.dst-sg.com

aTAUWcompany®

consultes
uw partner in duurzaamheid

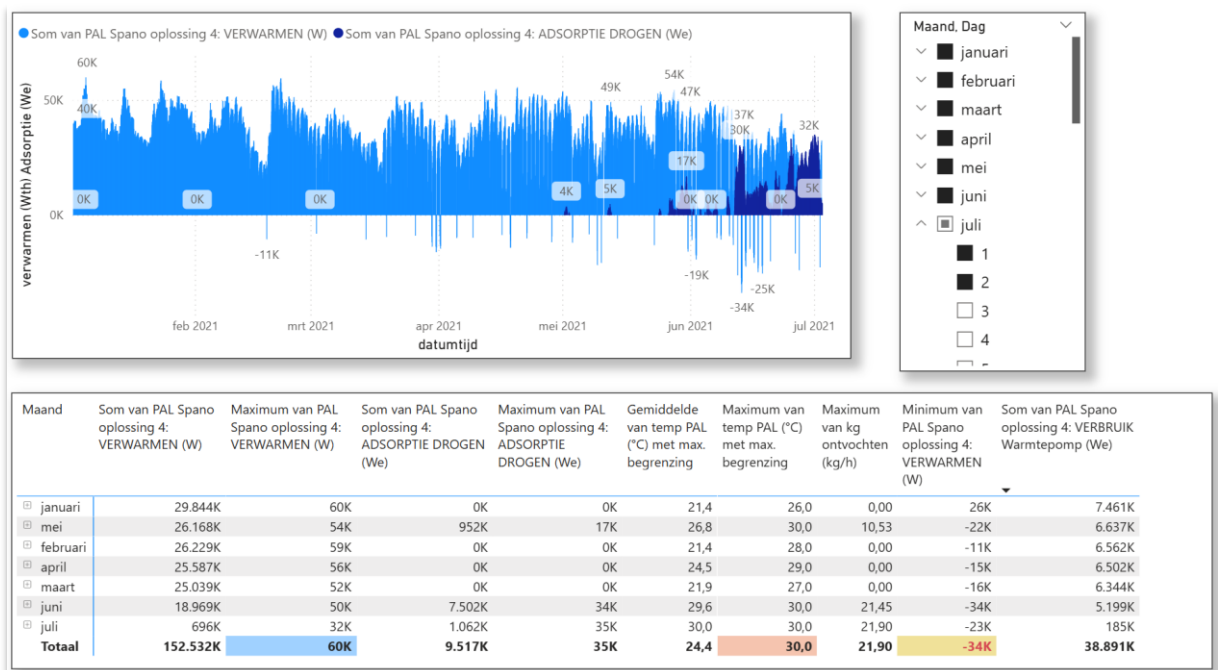
2.4.1. Situatie 5: ontvochtigen combinatie verwarmen/adsorptie met max. **temperatuur 30°C**



Commentaar:

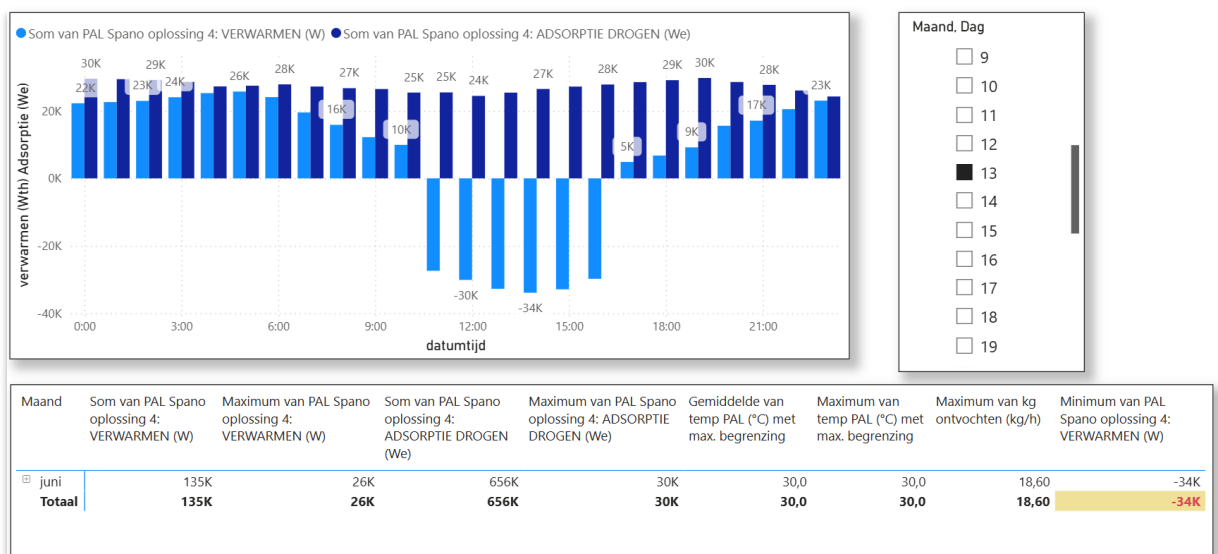
- Het bijverwarmen van het PAL magazijn is begrensd tot 30°C, maar zal toch doorstijgen in de zomer naar waarden **boven 40°C**. Naast de omgevingswarmte is er ook de adsorptiemachine die aanzienlijke warmte in de gedroogde lucht zal steken. Door het verhogen van de ruimtetemperatuur zal de RV dalen, waardoor minder moet ontvochtigd worden, waardoor de ruimtetemperatuur zal dalen, waardoor de RV opnieuw zal stijgen.... Na verloop van tijd zal er een evenwicht optreden.
- De adsorptiemachine moet maximaal 21,9kg/h ontvochtigen.
 - Dit vraagt in piek $21,9\text{kg/h} \times 1,6\text{kWe/kg} = 35\text{ kWe}$
 - Extra warmte input in het PAL magazijn: $35\text{ kWe} \times 0,7 = 25\text{ KWth}$
 - ***Dit dient weggekoeld te worden.***
- Het verwarmen is max. 60KWth.
- Het elektrisch verbruik van de adsorptiemachine bedraagt 9,5MWhe (voor een half jaar)
- Het totaal elektrisch verbruik van de warmtepomp: COP=4
 - Verwarmen : $153\text{ MWth} / 4 = 38,25\text{ MWhe}$
 - Koelen: $9,5\text{ MWth} \times 0,7 / 4 = 1,65\text{ MWhe}$
- Totaal verbruik volledige installatie voor een volledig jaar:
 - $2 \times (9,5 + 38,25 + 1,65) = 99\text{ MWhe}$

2.4.1.1 Rekening houdend met sterke opwarming van het dak (door hoge zonne-instraling) en de beperking van max. 30°C in het PAL magazijn.

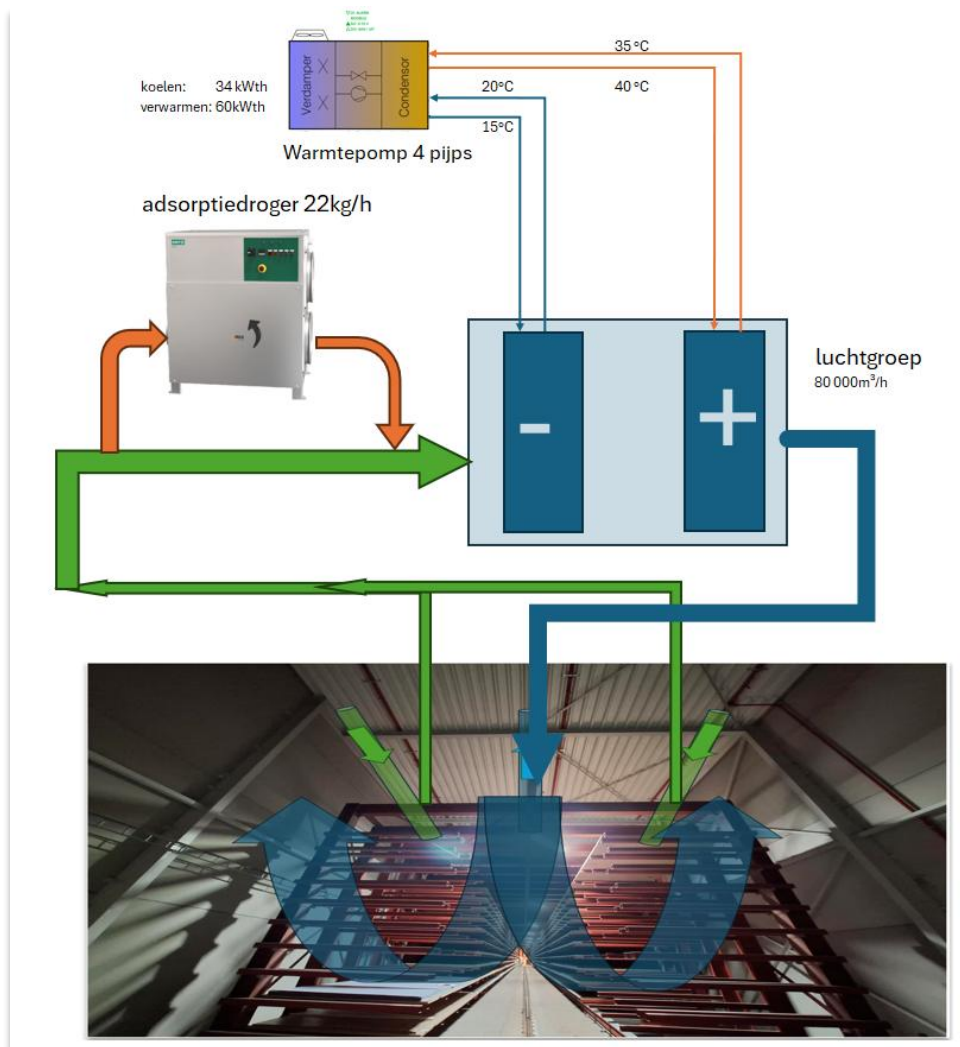


- Het elektrisch verbruik van de adsorptiemachine bedraagt 9,5MWhe (voor een half jaar)
- Het totaal elektrisch verbruik van de warmtepomp: COP=4 bedraagt 38,9MWhe (voor een half jaar)
- Totaal verbruik volledige installatie voor een volledig jaar:
 - $2 \times (9,5 + 38,9) = 97 \text{ MWhe}$

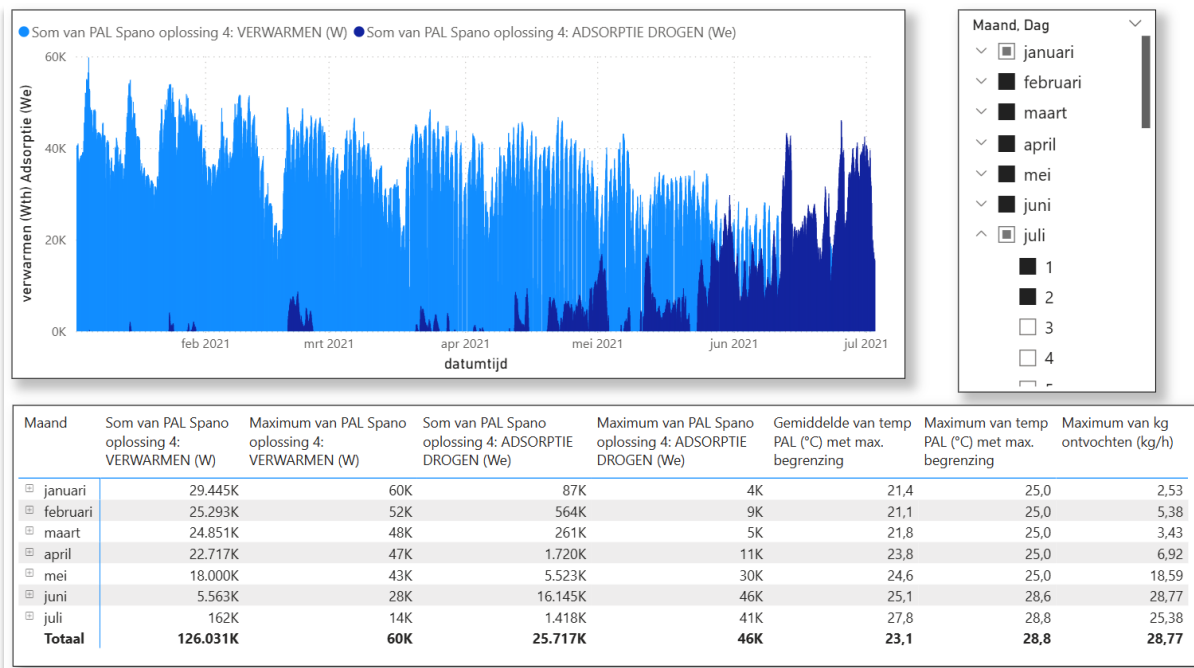
Detail van de warmste dag op 13/06/2025



Commentaar: er is een maximale koeling vereist van 34kW en dit gedurende 6h op een dag en dit om de maximum temperatuur van 30°C te kunnen behouden.

Concept Situatie 5:

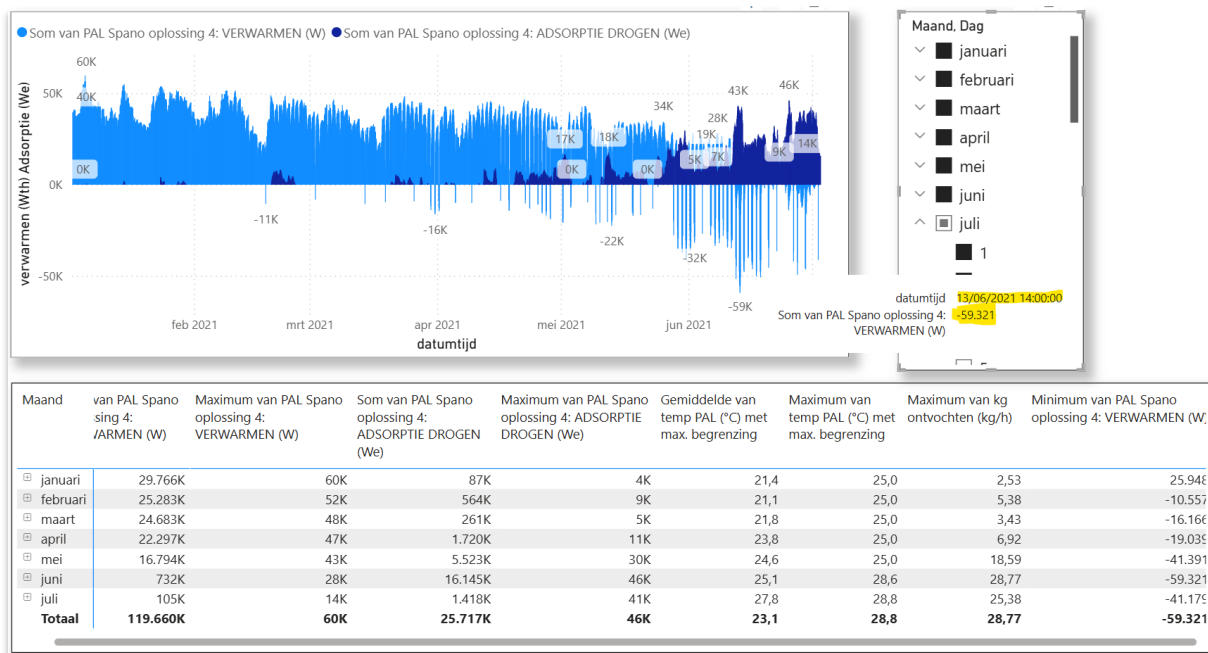
2.4.2. Situatie 6: ontvochtigen combinatie verwarmen/adsorptie met max. bijverwarmen tot 25°C



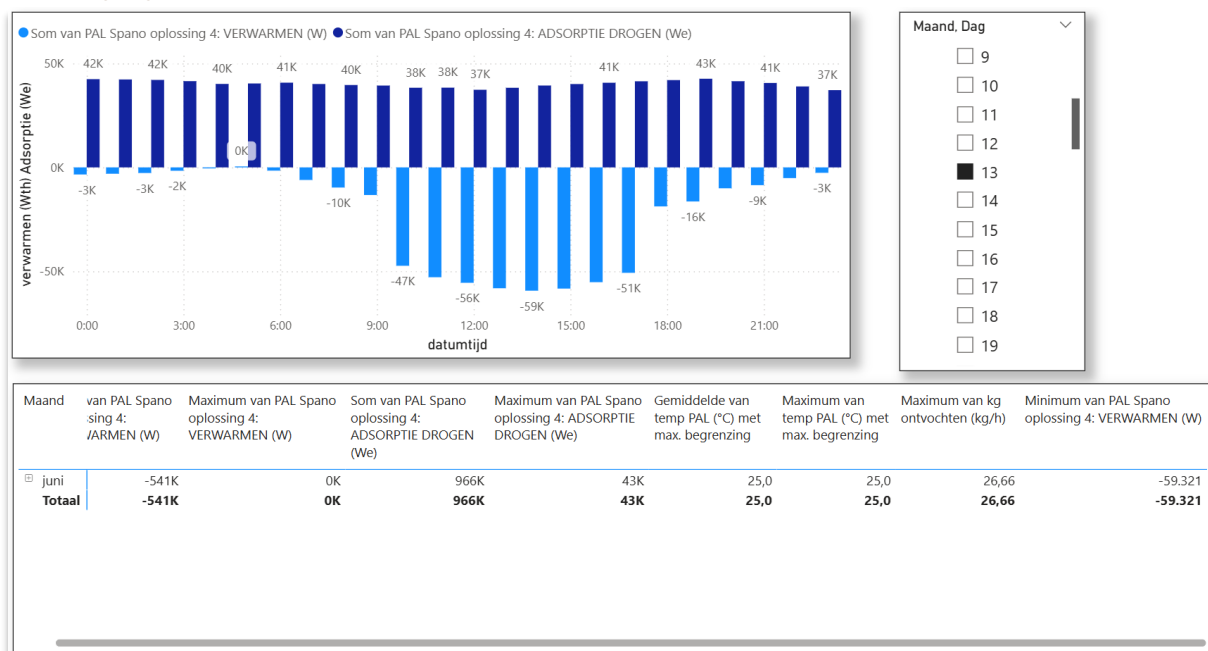
Commentaar:

- Het bijverwarmen van het PAL magazijn is begrensd tot 25°C, maar zal toch doorstijgen in de zomer naar waarden **boven 40°C**. Naast de omgevingswarmte is er ook de adsorptiemachine die aanzienlijke warmte in de gedroogde lucht zal steken. Door het verhogen van de ruimtetemperatuur zal de RV dalen, waardoor minder moet ontvochtigd worden, waardoor de ruimtetemperatuur zal dalen, waardoor de RV opnieuw zal stijgen.... Na verloop van tijd zal er een evenwicht optreden.
- De adsorptiemachine moet maximaal 28,8kg/h ontvochtigen.
 - Dit vraagt in piek $28,8\text{kg/h} \times 1,6\text{kWe/kg} = 46\text{ kWe}$
 - Extra warmte input in het PAL magazijn: $46\text{ kWe} \times 0,7 = 32\text{ KWth}$
 - **Dit dient weggekoeld te worden.**
- Het verwarmen is max. 60KWth.
- Het elektrisch verbruik van de adsorptiemachine bedraagt 25,7MWhe (voor een half jaar)
- Het totaal elektrisch verbruik van de warmtepomp: COP=4
 - Verwarmen: $126\text{ MWth} / 4 = 31,5\text{ MWhe}$
 - Koelen: $25,7\text{ MWth} \times 0,7 / 4 = 4,5\text{ MWhe}$
- Totaal verbruik volledige installatie voor een volledig jaar:
 - $2 \times (25,7 + 31,5 + 4,4) = 123\text{ MWhe}$

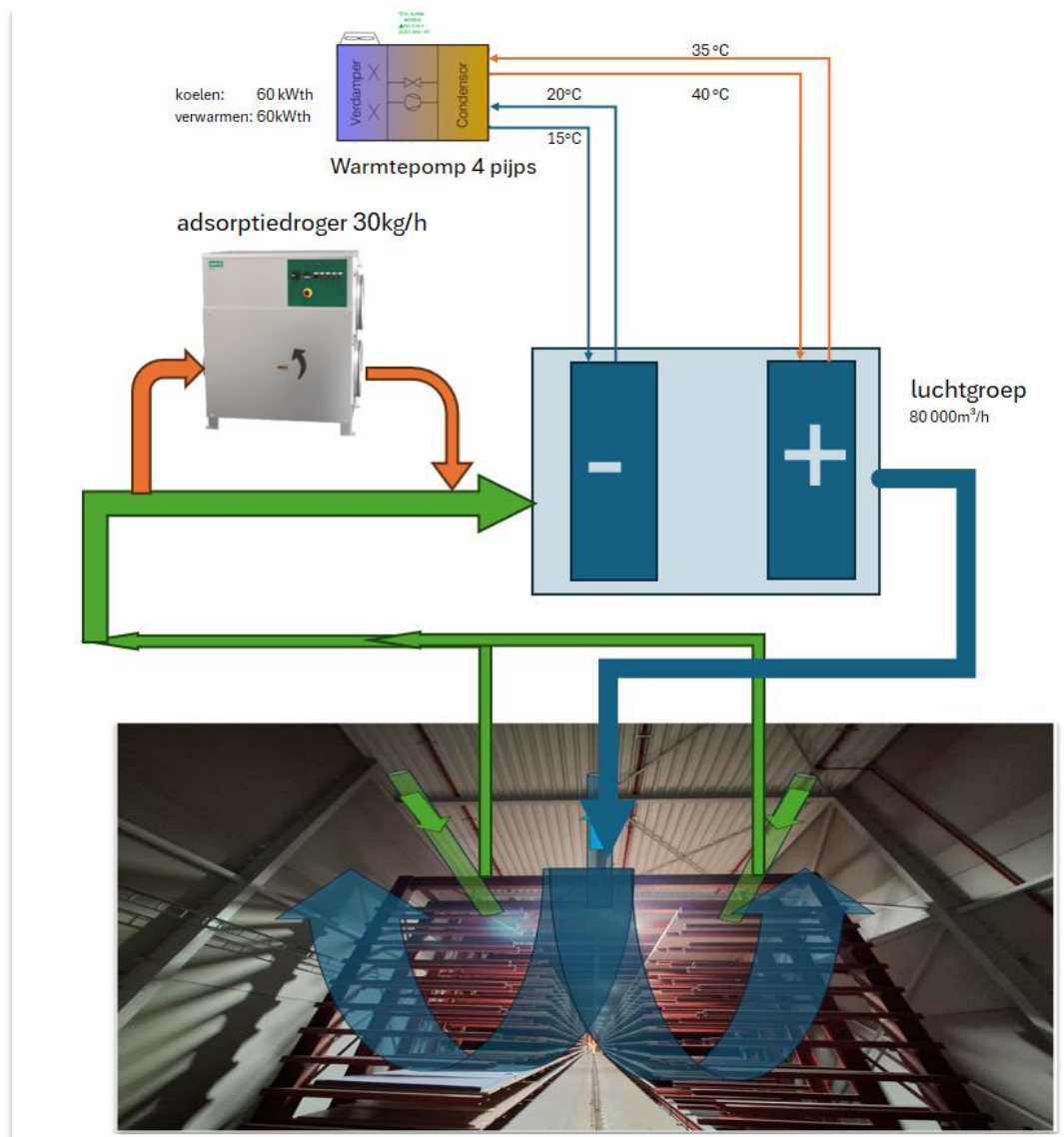
2.4.2.1 Rekening houdend met sterke opwarming van het dak (door hoge zonne-instraling)



Detail 13/06/2025

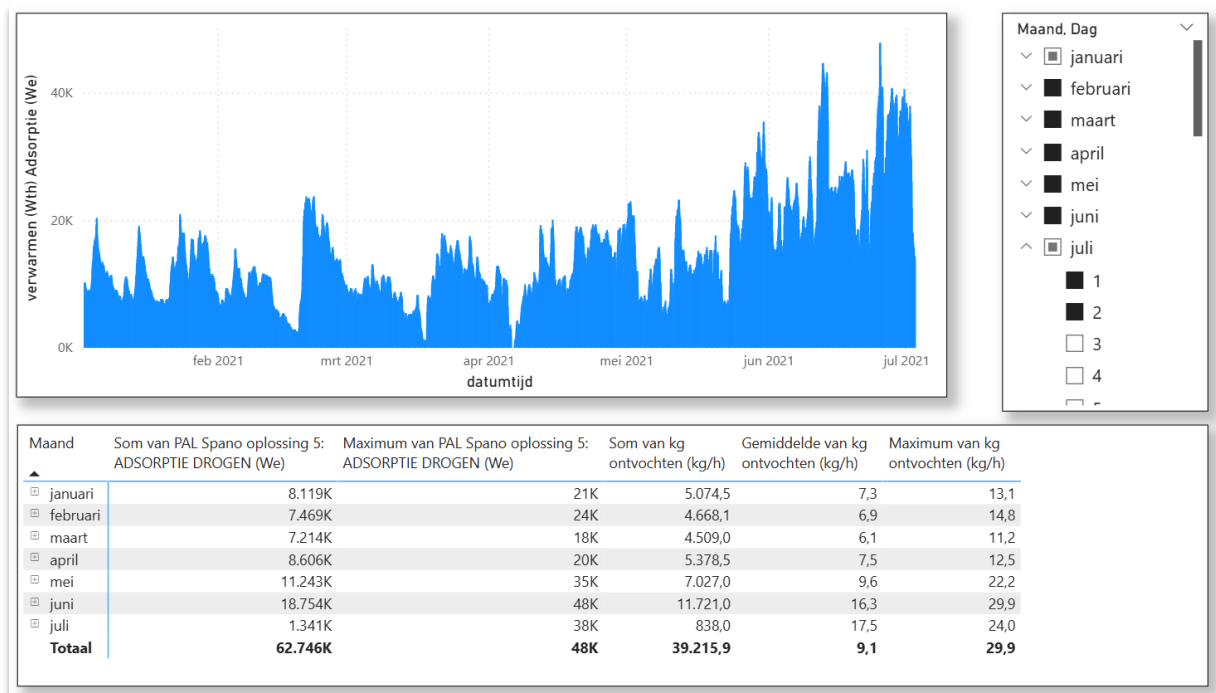


Commentaar: er is een maximale koeling vereist van **59kW** om de maximum temperatuur van 25°C te kunnen behouden.

Concept Situatie 6:

2.5. Oplossing 5: enkel adsorptie

De bedoeling is dat de adsorptiemachine continu regelt op een setpunt van max. RV=30%.



Commentaar:

- In de zomer zal door de opgewekte calorïeën van de adsorptiemachine de omgevingstemperatuur in het PAL magazijn stijgen. Temperaturen **boven 40°C** zijn realistisch.

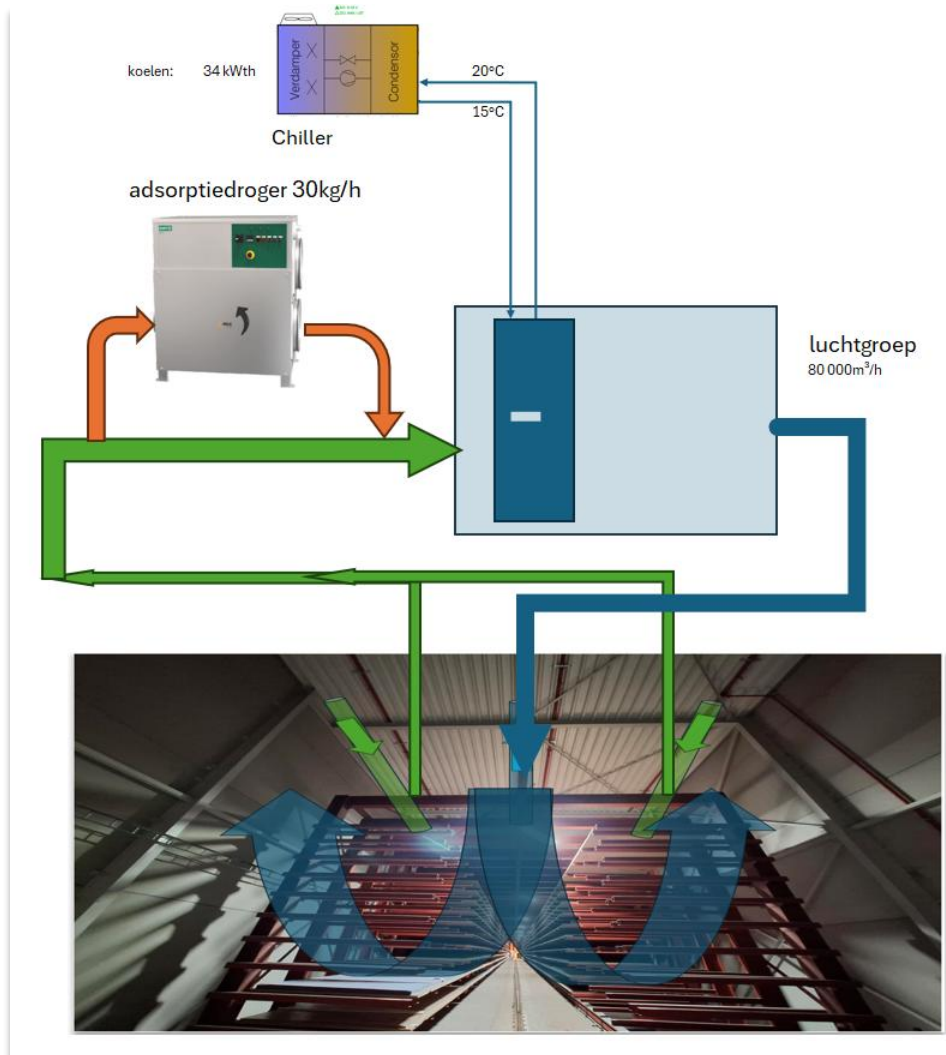
■ Dit is uitgesloten na mail van Ronny Cruyt op 13/11/2025.

Door het verhogen van de ruimtetemperatuur zal de RV dalen, waardoor minder moet ontvochtigd worden, waardoor de ruimtetemperatuur zal dalen, waardoor de RV opnieuw zal stijgen.... Na verloop van tijd zal er een evenwicht optreden.

Er zal dus **nood zijn aan een koelunit** in de luchtgroep.

- De adsorptiemachine moet maximaal 30kg/h ontvochtigen.
 - Dit vraagt in piek $30\text{kg/h} \times 1,6\text{kWe/kg} = 48\text{ kWe}$
 - Extra warmte input in het PAL magazijn: $48\text{ kWe} \times 0,7 = 34\text{ KWth}$
- Het maximaal vermogen is 48 kWe
- Het elektrisch verbruik van de adsorptiemachine bedraagt 63 MWhe (voor een half jaar)
- Het totaal elektrisch verbruik van de chiller: COP=4
 - Koelen: $63\text{ MWth} \times 0,7 / 4 = 11\text{ MWhe}$
- Totaal verbruik volledige installatie voor een volledig jaar:
 - $2 \times (63 + 11) = 148\text{ MWhe}$

Concept oplossing 5



3. CONCLUSIE

- Oplossing 1 en 2 zijn **niet realistisch en bovendien duur in CAPEX en OPEX**.
- Oplossing 3 is simpel als concept.
 - o Weinig energieverbruik
 - o De warmte kan via een lokaal warmtenet (thermische olie) of via een warmtepomp worden opgewekt.
 - o Beperking is de hoge temperatuur (tot 40°C) van het PAL magazijn. Dit kan impact hebben op het papier/hars.
 - Dit is uitgesloten na mail van Ronny Cruyt op 13/11/2025.
 - o
- Oplossing 4 is een tussenoplossing, waarbij de ruimtetemperatuur van het magazijn kan gestuurd worden.
 - o Situatie 5: ruimtetemperatuur tot 30°C
 - o Situatie 6: ruimtetemperatuur tot 25°C
 - Hoger in OPEX dan situatie 5
- Oplossing 5
 - o Is technisch eenvoudiger dan oplossing 4
 - De luchtgroep heeft enkel een koelunit nodig, die werkt met een chiller

Oplossing 4 (situatie 5) en 5 voldoen aan de spec's.

- Oplossing 4 (situatie 5): Energieverbruik: 97 MWhe
- Oplossing 5: Energieverbruik: 148 MWhe