

10-2-2023

Dak-koeling met regenwater

Hittestress en wateroverlast: een integrale blik, elkaars oplossing?



Diepeveen, Tim
Douma, Thomas
Van de Putte, Sebastiaan
ADVIESBUREAU VVVOGHEL

RAAK-project
Klimaatadaptieve
bedrijventerreinen



Adviesbureau
VVVOghel
Leeuwarden

Dak-koeling met regenwater

Hittestress en wateroverlast: een integrale blik, elkaars oplossing?

Opdrachtgever:

Peter van der Maas

In het kader van:

RAAK publiek voorstel Klimaatadaptieve bedrijventerreinen; Ontwikkeling van een effectieve aanpak voor klimaatbestendige, natuur-inclusieve en aantrekkelijke bedrijventerreinen

Geschreven door:

Tim Diepeveen, Sebastiaan van de Putte, Thomas Douma

Vanuit:

Adviesbureau VVoghel Leeuwarden

Onder begeleiding van:

Astrid Valent

Aangeleverd op:

10-02-2023

Locatie:

Leeuwarden

Bron afbeelding kaft:

pattersonfan.com

Voorwoord

Dit adviesrapport is opgesteld door junior adviseurs duurzaamheid van adviesbureau VVVoghel. De junior adviseurs die dit rapport hebben opgesteld zijn Sebastiaan van de Putte, Thomas Douma en Tim Diepeveen. Het adviesbureau VVVoghel is opgericht binnen de studie Milieukunde aan Hogeschool Van Hall Larenstein, op locatie Leeuwarden. Binnen de studie Milieukunde is dit adviesbureau onderdeel van de laatste lesmodule in het derde jaar van de opleiding. Deze lesmodule is genoemd 'LMK309VN3 Adviesbureau voor duurzame oplossingen'. Binnen deze module werkt elke student als junior adviseur duurzaamheid bij het duurzame adviesbureau VVVoghel.

De opdrachtgever van dit adviesrapport is Peter van der Maas. De opdrachtgever is projectleider van het RAAK-project, wat oplossingen zoekt om bedrijventerreinen klimaatadaptief te maken. Het RAAK-project ondersteunt de ontwikkeling van een effectieve aanpak van klimaatbestendige, natuur-inclusieve en aantrekkelijke bedrijventerreinen. De doelgroep van dit adviesrapport is de directie van de betreffende fabriek. Het kan het ook interessant zijn voor andere partijen die geïnteresseerd zijn in oplossingen om bedrijventerreinen klimaat adaptief te maken. Echter zal dit rapport ook interessant zijn voor mensen die kennis willen opdoen over duurzame, klimaat adaptieve maatregelen tegen wateroverlast en hittestress.

Iedereen die ondersteuning heeft geboden tijdens de werkzaamheden bij VVVoghel aan dit adviesrapport wordt hartelijk bedankt. In het bijzonder wordt de opdrachtgever Peter van der Maas, de werknemers van de fabriek, de begeleidende senior-adviseur; Astrid Valent, de CEO van VVVoghel; Leo Bentvelzen en de overige senior-adviseurs bij VVVoghel bedankt voor de geleverde bijdrages aan dit adviesrapport.

Samenvatting

In dit adviesrapport is beschreven hoe regenwater gebruikt kan worden om hittestress en wateroverlast te beperken bij een grote voedingsmiddelen fabriek. Bij deze fabriek is in de zomer sprake van hittestress en in het gehele jaar wateroverlast, wat de bedrijfsvoering nadelig beïnvloed. Voor problematiek rond hittestress en wateroverlast wordt vaak gebruik gemaakt van vergroenende oplossingen, zoals een groen dak of meer beplanting op het terrein. Deze maatregelen hebben als bijeffect dat het insecten en ander ongedierte aantrekt. Omdat de fabriek te maken heeft met strenge voedselveiligheid certificaten, mag de oplossing niet het risico op ongedierte te vergroten. Vanwege deze eis is er onderzoek gedaan naar een overige oplossing voor de waterlast en hittestress op het bedrijventerrein, namelijk dak-koeling middels regenwater.

Een andere oplossing voor deze problematiek is het beperken van de benodigde koelenergie door het sproeien van regenwater over het dak. Door de verdamping van dit water wordt de opwarming van het pand afgeremd, en zal er minder warmte het gebouw binnentreden. Het regenwater wat hiervoor gebruikt wordt, zal worden afgevangen van het dak en worden opgeslagen in silo's. Zodoende wordt de belasting van het riool verminderd, waardoor de kans op wateroverlast zal afnemen. De materiaalkosten voor de verschillende componenten van het dak-sproeisysteem zijn circa 65 tot 75 duizend euro (exclusief installeringskosten).

Het systeem kan gerealiseerd worden met een sproeisysteem op het dak in combinatie met regenwateropslag, wat het sproeisysteem voorziet van water. De sterkste eigenschap van deze oplossing is dat het beide problemen tegelijk en integraal aanpakt, op een duurzame manier, zonder dat het risico op ongedierte vergroot wordt. De oplossing draagt hierin bij aan een aantal van de Sustainable Development Goals die zijn opgesteld door de Verenigde Naties.

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting	4
1. Inleiding.....	7
2. Methodiek.....	9
2.1 Deelvraag 1.....	9
2.2 Deelvraag 2.....	10
2.3 Deelvraag 3.....	11
3. Theoretisch kader.....	12
3.1 Evaporatieve koeling	12
3.2 Dakvijvers & dak-sproeisystemen	13
4. Toepasbaarheid concept waterdak.....	15
4.1 Inleiding.....	15
4.2 Resultaten	15
4.3 Conclusie toepasbaarheidsonderzoek	20
5. Ontwerp DSS	21
5.1 Inleiding.....	21
5.2 Te koelen ruimten	21
5.3 Het DSS.....	22
5.4 Regenwateropslag.....	24
5.5 Kosten	25
5.6 Bespaarde koel-energie.....	27
5.7 Ongedierte	28
5.8 Eventuele extra opties.....	30
6. Duurzaamheid DSS	32
6.1 Inleiding.....	32
6.2 SDG 6: Schoon water en sanitair & SDG 12: Verantwoorde consumptie en productie	32
6.3 SDG 8: Waardig werk en economische groei	33
6.4 SDG 9: Industrie, innovatie en infrastructuur	33
6.5 SDG 11: Duurzame steden en gemeenschappen	34
6.6 SDG 13: Klimaatactie	34
7. Discussie	35
8. Advies	36

9. Aanbevelingen.....	37
10. Bibliografie	38
11. Bijlagen.....	42
Bijlage I: Totale dakoppervlakte van de fabriek	42
Bijlage II: Dakoppervlaktes voor de toepassing van het dak-sproeisysteem	43
Bijlage III: Concept van directe en indirecte evaporatieve koeling	46
Bijlage IV: Mogelijke configuraties voor een direct- en indirect evaporatief koelsysteem.....	47
Bijlage V: Overzicht van de verschillende gebruiksfuncties in de fabriek	48
Bijlage VI: Programma van eisen van het concept waterdak	49
Bijlage VII: Berekeningen & parameters toepasbaarheidsonderzoek.....	50
Bijlage VIII: Temperatuur in de fabriek	52
Bijlage IX: Berekeningen en parameters ontwerp van het DSS.....	56
Bijlage X Overzicht kosten verschillende componenten DSS	58

1. Inleiding

De gevolgen van klimaatverandering beginnen steeds beter zichtbaar te worden. Het leidt niet alleen tot een hogere gemiddelde globale temperatuur, het zorgt ook voor problemen op een kleinere schaal. Zo is de kans op extreme weersomstandigheden, zoals hittegolven en extreme regenval, hoger geworden en is ook de verwachting dat de intensiteit en frequentie hiervan in de toekomst zullen toenemen. (Leo Capari, 2022) Bedrijfsterreinen zijn extra gevoelig voor de effecten van zulke weersomstandigheden vanwege de verharde inrichting. Hierdoor kan onder andere het water minder makkelijk weg, waardoor wateroverlast kan ontstaan en ook hitte beter en langer blijft hangen. Dit brengt risico's mee voor de ondernemers die hier gevestigd zijn en ook voor de nabije omgeving van het bedrijfsterrein.

In Nederland bevindt zich een dergelijk verhard bedrijfsterrein, waar een fabriek is gevestigd. Het terrein waar de fabriek op gevestigd is bestaat al 125 jaar en bestaat voornamelijk uit bestraatte en verharde ondergrond, zie Figuur 1. Dit brengt in de zomer hittestress met zich mee en zorgt bij zware regenbuien voor een hogere belasting op het plaatselijke rioleringsstelsel, vanwege de slechte afwatering van regenwater.

Het onderwerp van dit project is het integraal aanpakken van de hittestress en wateroverlast van deze fabriek.

Het project komt voort uit het RAAK publiek voorstel voor klimaat adaptieve bedrijventerreinen, waarin meerdere partijen samenwerken om duurzame, toekomstbestendige bedrijfsterreinen willen verwezenlijken. (RAAK Publiek, 2020) Een van de consortium partners van dit publieke voorstel had het desbetreffende bedrijfsterrein opgegeven voor dit voorstel.



Figuur 1: bovenaanzicht van het fabrieksterrein

De laatste jaren is er veel onderzoek gedaan naar de aanpak van hittestress en wateroverlast. Veelvoorkomende oplossingen die hiervoor worden aangedragen, bestaan uit vergroenende maatregelen. Een voorbeeld van een vergroenende maatregel op bedrijfsterreinen is het aanleggen van een park. Hiermee worden hittepieken voorkomen door minder hoge bebouwing, de verdamping van water door de huidmonden en door de vergrote schaduwoppervlaktes. Daarnaast wordt ook water beter opgevangen en verwerkt in de bodem. (Lenzholzer, 2013)

Vanuit de fabriek is aangegeven dat groen echter geen onderdeel kan zijn van de oplossing, aangezien dit ongedierte aan kan trekken. Hieruit volgde de volgende probleemstelling vanuit Peter van der Maas, die de projectleider is van het RAAK voorstel: kan het overschot aan regenwater worden gebruikt om te koelen? Hiermee zou mogelijk zowel hittestress, als wateroverlast integraal kunnen worden voorkomen of gemitigeerd.

Het doel van dit project is om te onderzoeken of dit mogelijk is, waarbij rekening wordt gehouden met de duurzaamheid van de maatregel, i.v.m. het duurzame beleid van het adviesbureau VVVoghel. De probleemstelling is aan de hand van de volgende hoofdvraag uitgewerkt:

“Kan afgevangen regenwater gebruikt worden als duurzaam alternatief om hittestress en wateroverlast bij de fabriek te beperken, door gebruik te maken van dit regenwater als dak-koeling?”

Om deze hoofdvraag te kunnen beantwoorden, zijn de volgende deelvragen opgesteld en beantwoord:

Deelvraag 1: *“Kan het opgevangen regenwater ingezet worden als dak-koeling?”*

Deelvraag 2: *“Wat is een mogelijk ontwerp van een dak-koelsysteem?”*

Deelvraag 3: *“Is het dak-koelsysteem een duurzame maatregel?”*

Leeswijzer

De opbouw van het rapport is als volgt: als eerst is de methode uiteengezet waarmee de hoofd- en deelvragen zijn beantwoord. Ten tweede is er een theoretisch kader uiteengezet over de werking van dak-koeling middels water, om de leesbaarheid en begrijpbaarheid van het vervolg van het rapport te verbeteren. Ten derde zijn de resultaten van het uitgevoerde onderzoek voor deelvraag 1 uiteengezet. Ten vierde zijn de resultaten van de gedane onderzoeken voor deelvragen 2 uiteengezet. Ten vijfde zijn de resultaten voor deelvraag 3 te lezen. Ten zesde volgt een discussie, waarin mogelijke aandachtspunten binnen het gedane onderzoek onder de loep zijn genomen. Ten zevende volgt het uiteindelijke advies, waarin het antwoord op de hoofdvraag is uiteengezet. En als laatst zijn enkele aanbevelingen te lezen. (De gebruikte literatuur en de bijlagen volgen hierna.)

2. Methodiek

Voor dit adviesrapport is gebruikgemaakt van de mixed-methods onderzoeksmethode om antwoord te geven op de hoofdvraag: *“Kan afgevangen regenwater gebruikt worden als duurzaam alternatief om hittestress en wateroverlast bij de fabriek te beperken, door gebruik te maken van dit regenwater als dak-koeling?”*

Om deze hoofdvraag te kunnen beantwoorden zijn er drie deelvragen opgesteld. De eerst deelvraag luidt: *“Kan het opgevangen regenwater ingezet worden als dak-koeling?”* Na het beantwoorden van deze vraag is het concept waterdak verder uitgewerkt aan de hand van deelvraag 2 *“Wat is een mogelijk ontwerp van een dak-koelsysteem?”* en deelvraag 3 *“Is het dak-koelsysteem een duurzame maatregel?”*.

2.1 Deelvraag 1

Om deelvraag 1 te beantwoorden is aan de hand van een gesprek met de fabriek een programma van eisen opgesteld. Dit programma van eisen is verwerkt volgens de MoSCoW-methode, een wijze van prioriteiten stellen die vaak gebruikt wordt bij software engineering en projectmanagement (Haughey, 2021). De letters in de MoSCoW-methode staan voor:

- M – must have; deze eisen moeten terugkomen
- S – should have; deze eisen zijn zeer gewenst, maar zijn niet noodzakelijk
- C – could have; deze eisen zullen alleen aan bod komen als er tijd genoeg is
- W – won't have; deze eisen zullen niet in het project aan bod komen, maar kunnen in de toekomst interessant zijn

De must have's

De must have's zijn eisen waar het concept waterdak in ieder geval aan moet voldoen om interessant en uitvoerbaar te zijn voor de fabriek. In Tabel 1 zijn de must have's weergegeven, waaraan het concept waterdak is getoetst. De should have's en could have's worden eventueel nader behandeld tijdens de beantwoording van deelvraag 2, indien uit de deelvraag 1 blijkt dat het concept waterdak voldoet aan de must have's.

Tabel 1: Verplichte eisen uit het programma van eisen aan de hand van de MoSCoW methode uit Bijlage VI: Programma van eisen van het concept waterdak

Must have's	Lichte dak belasting
	Geen extra risico op het aantrekken van ongedierte
	Koelend vermogen opleveren
	Gebruikmaken van regenwater
	Regenwateropslag bij zware regenbuien
	Max budget van € 500.000,- (= 10% v.h. jaarlijks investeringsbudget)

Deze must-have's zijn m.b.v. literatuuronderzoek en meteorologische data behandeld. Voor het literatuuronderzoek is gebruik gemaakt van Greeni, de online bibliotheek voor het groene HBO, en Google Scholar. De bronnen zijn verzameld en ingedeeld in Mendeley. Binnenin Mendeley zijn de bronnen onderverdeeld in drie verschillende categorieën: mogelijkheden waterdak, berekeningen waterdak en alternatieve mogelijkheden.

Er is gebruik gemaakt van een zoekstrategie, waarbij voornamelijk gezocht is met een aantal van tevoren opgestelde termen. De gevonden literatuur is vervolgens (ook) gebruikt om deze zoektermen verder te specificeren.

In de Nederlandse literatuur is over het koelen van gebouwen, middels evaporatie van water op het dak, weinig gevonden. Dit kan komen door het milde/niet warme en vochtige klimaat. Immers, het hoge vochtgehalte heeft als gevolg dat de lucht al meer gesatureerd is met vocht, waardoor het uiteindelijke koelvermogen lager zal zijn vergeleken met een droog klimaat, er kan immers minder (makkelijk) water verdampen. (Cuce & Riffat, 2016)

De termen, veelal Engelstalig, die de meest relevante literatuur hebben opgeleverd, zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2: Meest gebruikte zoektermen met in de linker kolom Nederlandse termen en in de rechter kolom Engelse termen

<i>Nederlandse termen</i>	<i>Engelse termen</i>
Waterdak	Waterroof
Evaporatieve koeling	Water + Roof + Cooling
	Roof + Cooling + System
	Evaporative cooling + Roof

Om antwoord te kunnen geven op deelvraag 1 is berekend hoeveel water er gedurende het jaar valt, en hoeveel hiervan zal verdampen. De meteorologische data die gebruikt zijn, zijn afkomstig van het KNMI. Hiervoor zijn data van Sneek en Leeuwarden gebruikt, aangezien dit de dichtstbijzijnde, t.a.v. de fabriek, meetpunten waren die beschikbaar waren.

De KNMI-data van Sneek zijn gebruikt voor de gemiddelde neerslag per jaar. Voor het berekenen van de verdamping van water waren verschillende parameters nodig die de gegevens van Sneek niet bevatte. Deze gegevens zijn afkomstig van een meetpunt in Leeuwarden, van 1 juni tot 15 september van de zomers van 2018 tot 2022. Het gaat hierbij om de per etmaal gemiddelde relatieve vochtigheid, windsnelheid en buitentemperatuur. De oppervlakte van het dak is berekend doormiddel van de meet functionaliteit in Google Maps. Voor de berekening van de verdamping van het water op het dak is gezocht naar verschillende formules in de literatuur. Dit heeft geen eenduidig antwoord opgeleverd, waardoor gebruik is gemaakt van een reken tool Lenntech, waarvan de achterliggende formule bekend is.

Van de binnentemperaturen van de fabriek waren meetgegevens beschikbaar van 8 verschillende locaties in het pand, de metingen van de binnentemperaturen zijn onvolledig, en lopen van 17-09-2021 tot 31-08-2021. Deze gegevens zijn gebruikt om aan te geven dat er daadwerkelijk hittestress plaats vindt in de fabriek.

2.2 Deelvraag 2

Voor het beantwoorden van deelvraag 2 is de gevonden literatuur tijdens deelvraag 1 gebruikt en is, waar nodig, verdiepend onderzoek gedaan. Voor de opstelling van het concept waterdak is inspiratie opgedaan van een bedrijf uit de Verenigde Staten, wat zulke systeem verkoopt en installeert. De kosten zijn op het internet gezocht, en er zijn voor verschillende onderdelen verschillende aanbieders gevonden, als aanvulling op de in de literatuur gevonden investeringskosten. Voor de subsidies zijn verschillende sites van de overheid gebruikt maar er is geen direct contact gezocht met een overheidsorgaan gezocht.

2.3 Deelvraag 3

Voor de beantwoording van deelvraag 3, met betrekking tot de duurzaamheid van het concept waterdak, is gebruik gemaakt van de voorgaande hoofdstukken. Om de duurzaamheid te toetsen is van de nul-situatie met de situatie met concept waterdak vergeleken a.d.h.v. de het raamwerk van de Sustainable Development Goals (SDG's). Niet alle SDG's zijn van toepassing, hierom is gefilterd aan welke SDG's dit getoetst is en met welk target het samenhangt. De volgende SDG's zijn gebruikt: SDG 6 en SDG 12 met targets 6.4 en 12.2; SDG 8 met target 8.8; SDG 9 met target 9.4; SDG 11 met target 11.5; SDG 13 met target 13.1.

3. Theoretisch kader

Een korte uitleg over het concept evaporatieve koeling is hieronder kort uiteengezet, zodat de werking van het concept waterdak helder is. Ook zijn de twee typen waterdaken kort uiteengezet.

3.1 Evaporatieve koeling

Koeling middels evaporatie van water kan als volgt worden gedefinieerd: bij het drogen van een vaste stof met vrij of gebonden vocht verwijdert het effect van een faseverandering van de vloeibare toestand naar de damptoestand energie uit de vloeistof-vaste massa. (Fox, Belline, & Pelligrini, 2014) Of simpeler gezegd: koeling middels evaporatie houdt in dat temperatuur van een object met water afneemt doordat het water warmte van het object opneemt en uiteindelijk verdampt.

Toepassend op dit project houdt dit het volgende in: door middel van een dunne laag water te sprayen op de daken van de te koelen ruimtes van de fabriek, zal de temperatuur van het dak verlagen. Hierdoor zal de warmte uitwisseling met het gebouw afnemen en zal de binnentemperatuur lager uitvallen. Evaporatieve koeling is hiermee een indirecte koeltechniek.

Evaporatie koeling kan via operationeel verschillende manieren worden toegepast om een object te koelen. Hieronder zijn drie, onderling te onderscheiden, typen evaporatieve koelsystemen uiteengezet, inclusief enkele belangrijke eigenschappen. Zie ook Bijlage III en Bijlage IV voor een visuele weergave van de systemen.

Tabel 3: 3 typen evaporatieve koelsystemen, inclusief belangrijke kenmerken

Type koeling	Belangrijke kenmerken
Directe evaporatie	Relatief simpel
	Het te koelen 'product' komt direct met water in aanraking
Indirecte evaporatie	Complexer systeem dan directe evaporatie
	Het te koelen 'product' komt niet direct met water in aanraking
	Lagere efficiënte dan directe evaporatie -> M-cyclus kan dit doen verminderen (Wani, Ghodke, Shrivastava, & Student, 2012)
Twee of meerdere stages van evaporatie	Complex systeem
	Bijvoorbeeld indirecte en directe koeling achter elkaar geschakeld

3.2 Dakvijvers & dak-sproeisystemen

De in Tabel 3 genoemde verschillende operationele systemen kunnen ook op verschillende structurele manieren worden toegepast. Zo zijn er twee verschillende overkoepelende typen structuren in de literatuur te onderscheiden, namelijk dakvijvers (roof ponds) en daken met een dunne laag water dat erop wordt gespreid.

Voor dit project zijn dakvijvers als volgt gedefinieerd: een dak structuur met een continue waterlaag erop van minimaal 5 cm diep en daken met een periodieke dunne waterlaag (<5cm) als 'DSS' (DSS). Als eerst volgt hieronder een nadere uitleg over dakvijvers en vervolgens een stuk over DSS.

Dakvijvers

Er is momenteel (december 2022) een verscheidenheid aan literatuur over dakvijvers te vinden. De literatuur behandelt zowel structureel als operationeel verschillende typen dakvijvers. Ook de efficiëntie en effectiviteit van dakvijvers zijn onderling vergeleken, inclusief de verschillende omgevingsparameters, alhoewel het daadwerkelijke koelend vermogen van de verschillende configuraties nauwelijks onderling zijn vergeleken.

Dakvijvers bevatten een continue laag water (>5cm diep) op een dak en naarmate het een grotere hoeveelheid water betreft, wordt de warmteopslagcapaciteit van het waterdak groter. Dit kan onder andere nog groter worden door bijvoorbeeld stenen, met een hoge warmteopslagcapaciteit, in het water te plaatsen. Ook kan er zonwering boven de watermassa worden geplaatst die overdag het zonlicht weerkaatsen en in de nacht open staan waardoor, respectievelijk, overdag minder (snel) warmte wordt opgenomen door de dakvijver en de warmte dat is opgeslagen in het water weer uitgewisseld kan worden met de lucht. Dit waren een aantal voorbeelden van verschillende waterdaken, maar er zijn nog meer mogelijkheden. (Spanaki, Tsoutsos, & Kolokotsa, 2011; Sharifi & Yamagata, 2015)

Deze wetenschappelijke studies zijn (veelal) uitgevoerd door niet-Nederlandse onderzoekers/Nederlandse literatuur was nauwelijks te vinden, wat wellicht te verklaren is doordat in Nederland het waterdak concept nog niet vaak bewust wordt toegepast als maatregel tegen hitteoverlast, vanwege het milde/niet warme en vochtige klimaat. Immers, het hoge vochtgehalte heeft als gevolg dat de lucht al meer gesatureerd is met vocht, waardoor het uiteindelijke koelvermogen en de efficiëntie lager zal zijn vergeleken met een droog klimaat, er kan namelijk minder (makkelijk) water verdampen. (Cuce & Riffat, 2016) Waterdaken worden in Nederland wel al aangeboden en aangelegd, o.a. door de bedrijven Drain Products BV en Pittsburgh Corning Nederland BV.. (Multifunctionele daken, sd; Pittsburgh Corning, sd)

DSS

In het onderzoek naar DSS zijn voornamelijk wetenschappelijke onderzoeken naar model en experimentele opstellingen gevonden, waaruit bleek dat de hoeveelheid evaporatie van een dunne laag water verschilt bij verschillende omgevingsparameters. (Al-Turki & Zaki, 1991; Crawford & da Silva, 2014; da Veiga, 2020; Wanphen & Nagano, 2009) Zie Tabel 4 voor de effecten van verschillende omgevingsparameters op het systeem. (da Veiga, 2020)

Tabel 4: De effecten van verschillende paramaters op het koelsysteem

Parameter	Effect
Klimaat	-Warme en droge klimaten hebben meer baat bij koeling via evaporatie dan koude en vochtige klimaten.
Luchtvochtigheid	-Een lagere luchtvochtigheid zorgt voor een hogere effectiviteit van koeling middels evaporatie, doordat de warmteopslagcapaciteit van de lucht hoger is. -Samen met temperatuur is de luchtvochtigheid de belangrijkste parameter voor de effectiviteit van koeling middels evaporatie.
Temperatuur	-Een hogere temperatuur leidt tot een hogere warmteopname van het dak en meer benodigd water voor het sproeisysteem.
Windsnelheid	-Een hogere windsnelheid verhoogt de warmte uitwisseling, verhoogd de verwijdering van warmte (advection) en verhoogd hierdoor de effectiviteit van het evaporatieve koelsysteem. Alhoewel dit effect afneemt bij te hoge windsnelheden.

DSS bevatten een aantal sproeiers, die aangesloten zijn op een waterleverpunt, dat periodiek een bepaalde hoeveelheid water levert wat via de sproeiers op het dak wordt gespreid. Dit kan met een verschillende soorten sproeiers (grotere of kleinere sproeiers bijvoorbeeld) gebeuren en op verschillende manieren (bijvoorbeeld verschillende frequenties) worden gespreid.

Ook kunnen deze systemen bijvoorbeeld worden uitgebreid met onder andere het gebruik van een droogmiddel en/of (extra) isolatie. Dit zijn slechts twee mogelijke toevoegingen, er zijn er meer. Over het algemeen zorgen DSS voor minder koeling van het dak vergeleken met dakvijvers, maar vindt er wel een hogere warmte uitwisseling middels evaporatie plaats. (Kondepudi, 1993)

4. Toepasbaarheid concept waterdak

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal aan de hand van een toepasbaarheidsonderzoek bepaald worden of het concept waterdak op de specifieke situatie van de fabriek kan worden toegepast. Hiervoor is een programma van eisen opgesteld, met behulp van verkregen informatie uit een bedrijfsbezoek op locatie. Tijdens het bedrijfsbezoek is informatie verkregen over de eisen en verwachtingen die de directie van de fabriek stelt aan het concept waterdak. In het toepasbaarheidsonderzoek wordt het concept waterdak aan de hand van het programma van eisen getoetst, met als conclusie of het concept waterdak toegepast kan worden op de specifieke situatie van de fabriek.

Het toepasbaarheidsonderzoek bestaat uit literatuuronderzoek naar de verschillende eisen waar het concept waterdak aan getoetst wordt, weergegeven in Tabel 1. Daarnaast bestaat het uit een aantal berekeningen om de literatuur te ondersteunen en om aan te tonen of de eisen van de fabriek behaald worden.

4.2 Resultaten

In onderstaande koppen zijn de resultaten van het toepasbaarheidsonderzoek uitgewerkt. In Bijlage VII zijn de gebruikte parameters en waardes voor de berekeningen, en de berekeningen uit dit hoofdstuk weergegeven.

Dak belasting

Een koelsysteem waarbij water wordt gebracht op een dak brengt vanzelfsprekend gewicht met zich mee, wat de dakconstructie zal moeten kunnen dragen. Een dergelijk koelsysteem kan a.d.h.v. twee verschillende opties, namelijk een DSS of een dakvijver. Deze technieken zijn beschreven in hoofdstuk 3. Theoretisch kader. In het gesprek met de fabriek is naar voren gekomen dat de huidige dakconstructie niet geschikt is om veel gewicht te dragen, vandaar dat er ook nog geen zonnepanelen aanwezig zijn op het platte dak van de fabriek.

Het DSS bestaat uit wateropslag, die zich niet op het dak bevindt, en leidingen en sproeikoppen die op het dak worden aangelegd. De laag water die het systeem op het dak sproeit zal circa 1 à 2 cm zijn. Dit systeem verspreidt zich over het gehele te koelen dakoppervlak, waarbij het gewicht evenredig verdeeld wordt. Door deze eigenschappen is dit een systeem dat de dakconstructie niet zwaar zal belasten.

Een dakvijver is een koeltechniek wat zich hecht aan de constructie van het dak zelf, wat daarmee een onderdeel wordt van de dakconstructie. De permanente constructie waaruit een dakvijver bestaat brengt meer belastend gewicht met zich mee, vanwege de grote massa water en de vele bouwmaterialen. De constructie kan per type dakvijver sterk verschillen, waar onderling veel verschil in zit op het gebied van belastend gewicht, zie het hoofdstuk 3.2 Dakvijvers & dak-sproeisystemen. Echter heeft elke dakvijver een permanente constructie, die continue een waterlaag vasthoudt van minimaal 5 centimeter. Omdat er met inhoud gerekend wordt, betekent dit dat als de oppervlakte van een dakvijver toeneemt, dat de inhoud van het water wat zich hierin bevindt exponentieel toeneemt. Door deze eigenschappen zal een dakvijver een te grote belasting zijn voor de dakconstructie van de fabriek, omdat het een relatief groot te koelen dakoppervlakte betreft van circa 13.000 m².

Tussenconclusie

Er is gekozen om de koeltechniek met een dakvijver voor dit toepasbaarheidsonderzoek niet verder uiteen te zetten voor de resterende must haves van het programma van eisen, omdat blijkt dat de benodigde watermassa te zwaar is voor de huidige dakconstructie van de fabriek. Ook benodigd een dakvijver ingrijpende aanpassingen aan de huidige dakconstructie, wat lastig te realiseren is vanwege de vele huidige objecten op het dak.

DSS kunnen naar verwachting op de huidige dakconstructie worden geplaatst, omdat dit systeem relatief weinig gewicht met zich meebrengt en zich evenredig verdeelt over het te koelen dakoppervlak. Daarnaast wordt dit systeem op de dakconstructie geplaatst i.p.v. 'in' de dakconstructie, waarmee de huidige objecten kunnen blijven staan.

Concluderend, in het resterende toepasbaarheidsonderzoek wordt het DSS verder uiteengezet en getoetst aan het programma van eisen.

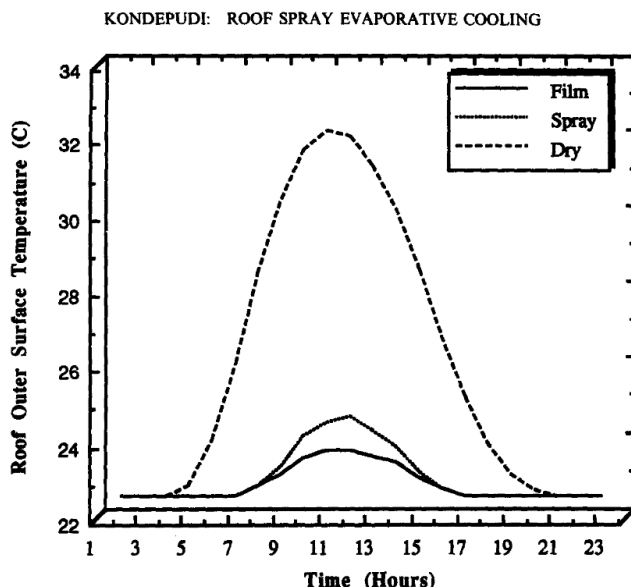
Risico op ongedierte

Stilstaand water heeft als eigenschap dat het een broedplaats kan zijn voor insecten, waar het risico bij de fabriek hierop niet verhoogd mag worden vergeleken met de huidige situatie. Een voorbeeld van een insectensoort die gebruik maakt van stilstaand water om in te broeden is de mug. In de zomer hebben muggenlarven minimaal een week nodig om zich tot volwassen mug te ontwikkelen. (Dr.ir. F.C. Boogaard, 2021) In de huidige situatie zullen er alleen langdurige waterplassen op het dak ontstaan door onregelmatigheden in het dak, waarnaar het regenwater niet weg kan stromen op bepaalde plekken en de waterplas niet verdampt door de zon. Het DSS wordt alleen in periodes van hittestress gebruikt. In deze hete periodes zal het water wat op het dak gespoten wordt snel verdampen, waardoor dit stilstaande water niet de mogelijkheid krijgt om een week lang op het dak te liggen. Hierdoor zal er geen verhoogde kans op muggenoverlast ontstaan. Dit voorbeeld is vergelijkbaar met andere insectsoorten, omdat larven de tijd nodig hebben om uit de eitjes te komen.

Koelvermogen

DSS kunnen in combinatie met reguliere koelsystemen, of als alleenstaande oplossing gebruikt worden voor het verkoelen van gebouwen. (Yifan Yang, 2019) Hoeveel koelend vermogen een DSS exact oplevert, kan niet worden achterhaalt uit de literatuur vanwege de verschillende weercondities en opstellingen. Er zijn wel literatuurstudies waaruit blijkt dat het DSS een koelend effect heeft, waarbij de piek van hittestress afgevlakt wordt. (da Veiga, 2020) Het effect van evaporatieve koeling middels besproeiing of bevoeiing van water op het dak in vergelijking met een droog dak is visueel weergegeven in Figuur 2: Effect van evaporatieve koeling middels sproeien of bevoeien van water op het dak in vergelijking met een droog dak. . (Kondepudi, 1993) In een studie waar gebruik werd gemaakt van een nat doek over het dak om te koelen met water, werkte dit even goed of beter dan een dakvijver en bleef het dak zo'n 2 tot 3 graden koeler dan het dak zonder evaporatieve koelmethode. (Esparza L., 2018)

Om het koelvermogen exact te bepalen, zijn er verschillende rekenmodellen gemaakt. Een aantal daarvan zijn echter niet recent, namelijk uit 1993 en 1998, maar ook recenter is hier nog onderzoek naar gedaan door Ajaya Ketan Nayak in 2020.



Figuur 2: Effect van evaporatieve koeling middels sproeien of bevoeien van water op het dak in vergelijking met een droog dak. (Kondepudi, 1993)

Gebruik van regenwater

Om vast te kunnen stellen of er gebruik gemaakt kan worden van regenwater voor het DSS is het benodigd om te weten hoeveel m^3 regenwater er opgevangen kan worden via het dak van de fabriek. Hiervoor is een berekening uitgevoerd bij Berekening 1, deze is te vinden in Bijlage VII. De gebruikte parameters voor Berekening 1 staan weergegeven in Tabel 11, te vinden in Bijlage VII. Voor een van deze parameters is gebruik gemaakt van gegevens afkomstig van het KNMI. Deze gegevens geven de regenval in Sneek weer, wat de dichtstbijzijnde locatie bij de fabriek is binnen de beschikbare gegevens van het KNMI.

De uitkomst uit Berekening 1 is ca. 14.460 m^3 regenwater wat per jaar neer valt op het totale dakoppervlak van de fabriek.

Daarnaast is een berekening vereist voor hoeveel m^3 water er benodigd is voor het gebruik van het DSS. Deze berekening is nodig zodat er bevestigd kan worden of er voldoende regenwater opgevangen kan worden om het DSS volledig op regenwater te laten functioneren. Om deze berekening te kunnen maken, moet worden uitgerekend hoeveel water er theoretisch zou verdampen gedurende de periode waarin het systeem zal functioneren. De berekening van de hoeveelheid water dat via dit systeem precies zal verdampen is lastig, omdat er over de verdamping van water op stedelijke bebouwing weinig literatuur beschikbaar is.

Er is wel een online rekenmodel beschikbaar over de hoogte van water wat verdampt uit een vat, oftewel een stilstaande en kleine hoeveelheid water. Bij deze berekening wordt de verdampingshoogte, berekent uit het online rekenmodel, als uitgangspunt gebruikt om een indicatie te bieden van de hoeveelheid water dat verdampt bij het gebruik van het DSS. De invoer in het online rekenmodel voor de verdampingshoogte is weergegeven in Figuur 20, te vinden in Bijlage VII. De gebruikte parameters staan weergegeven in Tabel 11. In dit rekenmodel zijn er ook een aantal parameters afkomstig van de KNMI, ditmaal van Leeuwarden omdat dit de dichtstbijzijnde plek bij de fabriek is waar deze specifieke parameters gemonitord zijn. Deze parameters zijn de relatieve luchtvochtigheid, de windsnelheid en het aantal zonuren per dag. De formule waar gebruik van wordt gemaakt in het online rekenmodel is weergegeven in Bijlage VII, onder Figuur 21. De berekening is uitgevoerd in Berekening 2, ook te vinden in Bijlage VII.

De uitkomst uit Berekening 2 is ca. 2.060 m³ water wat benodigd is om het DSS te gebruiken gedurende 45 dagen per jaar.

Voor het DSS kan regenwater gebruikt worden als water wat op het dak gespreeid wordt, zoals is gebleken uit Berekening 1 en Berekening. Er is namelijk een overschot van ca. 12.400 m³ (14.460-2060) aan regenwater wat op het dak van de fabriek terecht komt.

Regenwaterbuffer bij zware regenbuien

Bij het bedrijfsbezoek is gebleken dat de fabriek kampt met wateroverlast bij zware regenbuien, waarbij het huidige rioolstelsel capaciteit te kort komt om al het regenwater af te voeren. Om te voorkomen dat er opnieuw of vaker wateroverlast plaatsvindt bij de fabriek, wordt er bij de regenwateropslag voor het DSS rekening gehouden met een bufferopslag voor regenwater tijdens deze zware regenbuien. Om te bepalen hoeveel regenwateropslag hiervoor benodigd is, is er berekent hoeveel regenwater er op het dak van de fabriek neervalt bij een zware regenbui per dag. Deze berekening is te vinden in Bijlage VII, onder Berekening 3.

De uitkomst uit Berekening 3 is ca. 830 m³ regenwater wat neervalt gedurende 1 dag bij een zware regenbui. Deze hoeveelheid regenwater zou minimaal vastgehouden moeten worden om het rioolstelsel gedurende 1 dag bij een zware regenbui te ontlasten. Wanneer de zware regenbui langer aanhoudt dan 1 dag is het mogelijk om tussentijds het opgevangen regenwater te lozen in nabijgelegen oppervlaktewater of te laten infiltreren in de bodem, waardoor het rioolstelsel ontlast blijft.

Regenwateropslagsystemen

Een wateropslagsysteem voor het regenwater is benodigd om de must haves 'gebruik maken van regenwater' en 'regenwateropslag bij zware regenbuien' te realiseren. Er zijn meerdere mogelijkheden om regenwater op te slaan, welke onder te verdelen zijn in bovengrondse en ondergrondse opslagen. In Figuur 3 zijn een aantal wateropslagsystemen weergegeven, waarbij de bovenste 2 mogelijkheden bovengronds zijn en de onderste twee mogelijkheden ondergronds zijn.

Systeem	Capaciteit (m ³)	Investering (€)	Afschrijving (%)	Grondoppervlak (m ²)	Jaar-kosten (€)	Jaar-kosten (€/m ³)
Foliebassin	1000	9.953	15	850	13.008	13
Silo	1000	14.928	10	450	7.914	8
Waterblock	1000	118.433	5	0	11.843	12
Gegraven bekken	10.000	35.000	10	5.000	4.500	0,45

Figuur 3: Kosten voor vier typen wateropslagsystemen. Investeringskosten: grondwerkzaamheden, heiwerk, fundering of andere benodigde constructie en eventueel toegepaste folies. Jaarkosten: afschrijving en 5% rente over de investering, opbrengstderving op het benodigde grondoppervlak. Bron: (Stekelenburg & Hoogervorst, 2010). N.b. bij de kostenopgave van het gegraven bekken is geen rekening gehouden met eventuele maatregelen ter voorkoming van lekverliezen naar de ondergrond (Wageningen Environmental Research, 2018)

De benodigde regenwateropslag voor het DSS is ca. 2.060 m³ per jaar (zomer van 45 dagen). Om het regenwater bij zware regenbuien op te vangen is er ca. 830 m³ regenwateropslag nodig per dag. Dit maakt dat er minimaal een totaal van ca. 2.890 m³ aan regenwateropslag benodigd is voor de werking

van beide must haves. Wanneer de opslagcapaciteit van de wateropslagsystemen uit Figuur 3 wordt toegepast op de situatie bij de fabriek is een wateropslagsysteem met 3 silo's een mogelijkheid.

Kosten

De kosten voor een DSS zijn weergegeven in Tabel 5. Dit bedrag bevat de kosten voor het materiaal van het systeem en de manuren voor het plaatsen van het systeem. De kosten voor het DSS is opgesteld voor een kas met een oppervlakte van 3 hectare, waarbij het DSS 2 liter/m²/uur verbruikt. Dit is ruim meer dan het dakoppervlak dat gekoeld dient te worden bij de fabriek. Aangezien er voor het dak minder leidingwerk nodig is en de aanleg minder manuren in beslag zal nemen in vergelijking met het systeem op de kas, zullen de kosten naar verwachting niet hoger uitvallen.

De kosten van de wateropslag zijn afkomstig uit een onderzoek van het STOWA, naar wateropslag op bedrijfsniveau, te zien in Figuur 3.

De totale kosten van het DSS inclusief de regenwateropslag is ca. €74.800,-. Hieronder staat een schematisch overzicht hiervan.

Tabel 5: Kostenoverzicht van het DSS en de regenwateropslag. (Wageningen Environmental Research, 2011) (H.F. de Zwart, 2004)

Onderdeel	Kosten/stuk	Aantal	Totale kosten
DSS	€30.000,00	1	€30.000,00
Water opslag silo	€14.928,00	3	€44.784,00
Totale systeem	-	-	€74.784,00

4.3 Conclusie toepasbaarheidsonderzoek

Het concept waterdak, inmiddels het DSS, wordt als toepasbaar verklaard wanneer dit voldoet aan de must haves uit het programma van eisen. Wanneer dit DSS toepasbaar wordt verklaard, zal het verder uiteengezet worden in een verdiepend onderzoek.

DSS kunnen naar verwachting op de huidige dakconstructie worden geplaatst, omdat dit systeem relatief weinig gewicht met zich meebrengt en zich evenredig verdeelt over het te koelen dakoppervlak. Dit maakt dat er aan de must have 'Lichte dak belasting' voldaan is.

Muggenlarven hebben minimaal een week de tijd nodig hebben om zich van larf tot volwassen mug te ontwikkelen. In de hete periodes zal het water wat op het dak gespoten wordt snel verdampen, waardoor dit stilstaande water niet de mogelijkheid krijgt om een week lang op het dak te blijven. Er zal hierdoor geen verhoogde kans op muggenoverlast ontstaan ten opzichte van de huidige situatie. Er wordt hierdoor verwacht dat er door andere soorten ongedierte ook geen extra overlast veroorzaakt zal worden. Dit maakt dat er aan de must have 'Geen extra risico op het aantrekken van ongedierte' voldaan is.

Er zijn literatuurstudies waaruit blijkt dat het DSS een koelend effect heeft, waarbij de piek van hittestress afgevlakt wordt. Dit maakt dat er aan de must have 'Koelend vermogen opleveren' voldaan is.

Voor het DSS kan regenwater gebruikt worden als water wat op het dak gespreid wordt. Dit is gebleken uit Berekening 1 en Berekening 2, waarbij er een overschot van ca. 12.400 m³ aan regenwater op het dak van de fabriek terecht komt.

Voor de regenwateropslag bij zware regenbuien is de hoeveelheid regenwater wat er per dag bij een zware regenbui op het dak van de fabriek valt berekent. De uitkomst uit deze Berekening 3 is ca. 830 m³ regenwater. Wanneer de zware regenbui langer aanhoudt dan 1 dag, is het mogelijk om tussentijds het opgevangen regenwater te lozen in nabijgelegen oppervlaktewater of te laten infiltreren in de bodem. Hierdoor blijft het rioolstelsel ontlast en wordt wateroverlast voorkomen.

Om voldoende regenwater op te kunnen slaan of te bufferen voor de must haves 'Gebruik maken van regenwater' en 'Regenwateropslag bij zware regenbuien' moet er totaal ca. 2.890 m³ aan regenwateropslag gerealiseerd worden. Wanneer de opslagcapaciteit van de wateropslagsystemen uit Figuur 3 wordt toegepast op de situatie bij de fabriek is een wateropslagsysteem met 3 silo's een mogelijkheid. Dit maakt dat er aan de must haves 'Gebruik maken van regenwater' en 'Regenwateropslag bij zware regenbuien' voldaan is.

De totale kosten van het DSS inclusief de regenwateropslag is ca. €74.800,-. De directie van de fabriek heeft aangegeven dat het maximale budget voor deze oplossing € 500.000,- bedraagt, namelijk 10% van het jaarlijkse investeringsbudget. Dit maakt dat er aan de must have 'Max budget van € 500.000,-' voldaan is.

Uit het toepasbaarheidsonderzoek is gebleken dat het concept waterdak, en specifiek het DSS, voldoet aan de gestelde eisen (must haves) uit het programma van eisen. Dit betekent dat er wordt verwacht dat het DSS kan worden toegepast op de specifieke situatie van de fabriek.

5. Ontwerp DSS

5.1 Inleiding

Nadat was gebleken dat het DSS toepasbaar is voor de fabriek, is dit systeem nader uitgewerkt door deelvraag 2 te beantwoorden: *“Wat is een mogelijk ontwerp van een dak-koelsysteem?”* Dit hoofdstuk beschrijft aan de hand van verschillende onderdelen hoe een DSS toegepast op de fabriek er uit zou kunnen gaan zien. De onderwerpen die behandeld zullen worden zijn: te koelen ruimten, het DSS, regenwateropslag, kosten, bespaarde koel-energie, ongedierte en eventuele extra mogelijkheden.

5.2 Te koelen ruimten

De fabriek bestaat uit verschillende ruimtes, die op het kantoorpand na allemaal onder hetzelfde dak vallen. Hierdoor zal het DSS de fabriek als geheel koelen, op het kantoordeel na. In Bijlage V, Figuur is een overzicht te vinden van de verschillende gebruiksfuncties binnen de fabriek.

Tijdens het bedrijfsbezoek is besproken of er specifieke ruimtes waren waar hittestress ervaren werd, aan de hand van de meetgegevens van de temperatuursensors die in een eerder project geplaatst waren. Hier werd aangegeven dat er niet specifieke ruimtes waren die gekoeld moesten worden.

De ruimtes waar volgens de temperatuursensoren de meeste hittestress werd ervaren zijn geen werknemers aanwezig, waardoor het ook niet nodig is om deze ruimtes extra te koelen.

Het DSS kan niet overal op het dak van het pand toegepast worden, omdat een deel van het dak al bezet is met objecten die niet weggehaald kunnen worden. De dakoppervlaktes van de ruimtes die gekoeld dienen te worden zijn weergegeven in Bijlage II. De gemeten binnentemperaturen van de fabriek zijn te vinden in Bijlage VIII.

5.3 Het DSS

Uit het literatuuronderzoek is een praktijkvoorbeeld gevonden waarbij de toegepaste situatie nauw overeenkomt met de situatie van de fabriek. Aan de hand van dit praktijkvoorbeeld, wordt het DSS verder uiteengezet. Het desbetreffende bedrijf waar dit praktijkvoorbeeld vandaan komt bevindt zich in de Verenigde Staten. Dit concept van het DSS wordt Solar Shield genoemd, wat een evaporatief koelsysteem is middels het sproeien van water op het dakoppervlak. Een voorbeeld van dit systeem is te zien in Figuur 4, waarbij het systeem niet actief is. In deze foto zijn de Ultraviolet resistente pvc-leidingen te zien, gemonteerd middels kunststof draagblokken. In Figuur 6 is een actief DSS te zien. Wanneer dit systeem actief is, wordt het platte dak besproeit middels sproeistukken. Deze sproeistukken hebben een verschillend bereik, zodat het water zo optimaal mogelijk gesproeid kan worden. Aan de rand van het dak bevinden zich sproeistukken met een bereik van 180°, zodat het water niet van het dak af gesproeid wordt. In de hoeken van het platte dak bevinden zich sproeistukken met een bereik van 90°, en in de midden gelegen delen van het dak bevinden zich sproeistukken met een bereik van 360°. In Tabel 6 is een overzicht weergegeven van alle componenten van het DSS.



Figuur 4: Voorbeeld van het DSS, bij inactiviteit

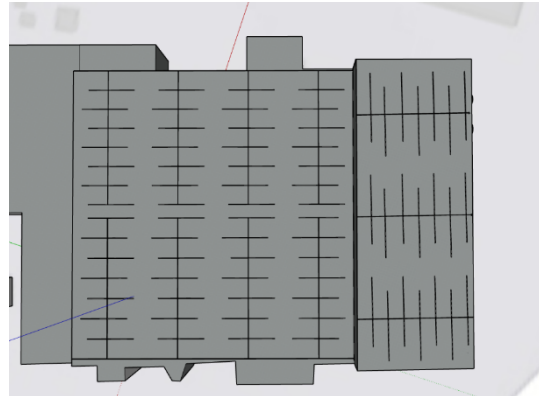
Tabel 6: Componenten van het DSS (Patterson Fan, 2023)

Component	Aantal
Ultra-Violet resistente PVC buizen	Ca. 3900 meter
Terugslagkleppen	175 stuks
Aftappluggen per terugslagklep, tegen bevriezing in winter	350 stuks
Magneetkleppen	25 stuks
Sproei stukken met een sproeirange van 360° (centrale sproeiers), 180° (randsproeiers) en 90° (hoeksproeiers)	280 stuks
Montage materiaal (kunststof draagblokken voor het leidingwerk)	Ca. 390 stuks
Waterpomp	1 stuk
Thermostaat met temperatuursensoren	1 stuk
Controller (computersysteem) met tijds klok	1 stuk

Het computersysteem wat het DSS reguleert beschikt over temperatuursensoren die zich vlak boven het dakoppervlak bevinden. Dit computersysteem zal, wanneer goed ingesteld, het DSS automatisch inschakelen wanneer de temperatuur van de lucht kort boven het dak boven de 30 graden Celsius komt. Dit zal alleen in de zomerperiode van toepassing zijn, omdat in de andere seizoenen in Nederland deze temperaturen niet behaald zullen worden. De koeltijd van het DSS per dag, dus de actieve periode van het systeem, is gebaseerd op Figuur 2 en bevat 6 uren. Dit is de tijd dat de lucht boven het dakoppervlak (in de situatie van het betreffende onderzoek) boven de 30 graden Celsius komt, namelijk van 09:00 – 15:00. Wanneer dit systeem is gerealiseerd, is het mogelijk om de koeltijd en de sproei-intensiteit van de sproeiers aan te passen. Met sproei-intensiteit wordt bedoeld hoe lang er

water wordt gesproeid per zone en de sproeitijd per dag. Uit ervaring moet blijken wat het beste werkt in de klimaatcondities bij de fabriek.

Dit DSS maakt gebruik van een zoneringsysteem, wat betekent dat het dakoppervlak opgedeeld is in meerdere sproeizones. Een sproeizone varieert in grote van 510 m² tot 790 m² per zone. Voor de situatie bij de fabriek is ervan uitgegaan dat één sproeizone 510 m² bedraagt. In Figuur 5 is visueel weergegeven hoe deze sproeizones voor een deel van het dakoppervlak van de fabriek ingedeeld zijn. Het te koelen dakoppervlak van de fabriek zal opgedeeld worden in 25 zones, zoals berekent in Bijlage IX bij Berekening 4. Per zone wordt er 30 seconden gesproeid, waarnaar het systeem doorschakelt naar de volgende zone. (Patterson Fan, 2023) Dit gebeurt non-stop wanneer het systeem ingeschakeld is, hierbij ontstaan er sproeirondes rond het dak van de fabriek.



Figuur 5: voorbeeld ontwerp DSS op het dak van de fabriek

Bij de aansluiting van elke zone op de hoofdleiding bevindt zich een magneetklep, die op afstand open en dicht gezet kan worden. Het computersysteem van het DSS bevat een timer, waardoor de zonering via de magneetkleppen gestuurd kan worden. De sproeironde duurt voor de situatie bij de fabriek 12,5 minuut, zoals berekent in Bijlage IX bij Berekening 6. Met deze tijd van één sproeironde maakt het systeem in een koeltijd van 6 uren per dag ca. 29 sproeirondes, zoals berekent in Bijlage IX bij Berekening 7.

Het doel van dit zoneringsysteem is het besparen van water- en elektriciteitsverbruik. Door gebruik te maken van de zones hoeft de waterpomp niet alle sproeiers tegelijk van water te voorzien, waardoor er een minder hoog debiet van water naar het sproeisysteem gepompt dient te worden. Dit lagere debiet brengt met zich mee dat er minder elektrisch vermogen benodigd is voor het DSS, wat energiebesparing met zich meebrengt. Daarnaast zijn er terugslagkleppen aanwezig bij de aansluiting van elke leiding waar sproeikoppen aan bevestigd zijn. Dit zorgt ervoor dat het water in de leidingen niet terug kan lopen wanneer de zone is uitgeschakeld, waardoor de druk bewaard blijft bij elke zone. Hierdoor zullen de zones direct beginnen met sproeien wanneer de magneetklep opent en zal er energie bespaard worden doordat de druk niet opnieuw opgebouwd hoeft te worden.



Figuur 6: Voorbeeld van het DSS, wanneer actief

Daarnaast bespaart dit systeem op waterverbruik, omdat het dak niet gedurende de gehele dag constant besproeid wordt. Het idee achter dit principe is dat het water wat op het dak gesproeid is niet meteen verdampt, en zodoende niet continue nat gesproeid hoeft te worden. Elke zone die natgespoten is, krijgt met dit zoneringsysteem 12 minuten de tijd om te verdampen, waarmee er een hogere efficiëntie voor het waterverbruik is gerealiseerd. Het waterverbruik van dit DSS met zonering is ca. 750 m³, zoals berekent in Bijlage IX bij Berekening 8.

In de winterperiode dient het water verwijderd te worden uit het leidingstelsel om bevriezing, met als gevolg beschadiging van het systeem, te voorkomen. Dit is mogelijk door de aftappluggen, waarbij er zich 2 bevinden bij elke terugslagklep.

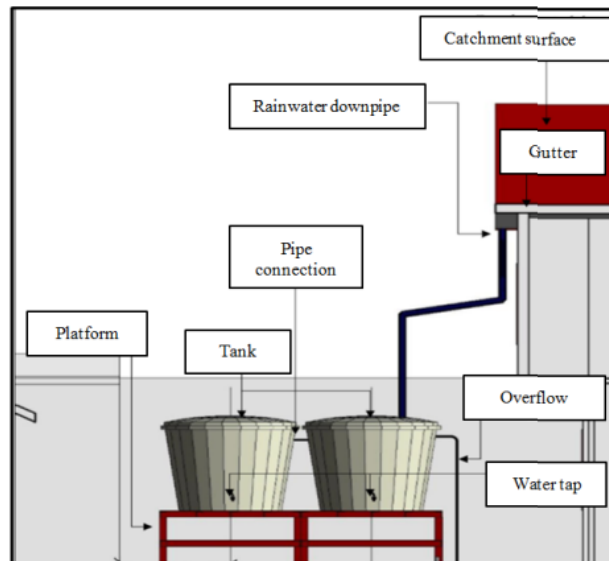
5.4 Regenwateropslag

Het opvangen en opslaan van regenwater wordt ook wel Rain Water Harvesting of in het kort RWH genoemd en wordt vaak verdeeld in drie categorieën: klein, gemiddeld en grote opslag van regenwater. Over het algemeen wordt regenwater opgevangen op het dak, waarna het via de dakgoot en regenpijp richting de opslag silo loopt. Bij een RWH-systeem (zie Figuur 7) is het van belang dat er een filter aanwezig is, om eventuele vervuiling uit de opslag te houden. (Sharifah Meryam Shareh Musa, 2022) Naast dit filter kan ook gekozen worden voor een fijner filter, om eventuele macro-organismen uit de opslag silo te houden, zie H5.7 voor meer informatie hierover.

Opslag silo's komen in verschillende soorten en maten voor. Voor kleinschalige opslag silo's zijn via een reguliere Google zoektocht veel verschillende soorten te vinden, vaak inclusief de kosten. Voor grootschalige opslag zijn ook veel aanbieders te vinden, echter zijn de kosten van deze oplossingen vaak op aanvraag.

Voor de opslag silo wordt vaak Polyethyleen (plastic) gebruikt, een andere optie zou een roestvrijstalen silo zijn. Voor de leidingen en de opslag silo's die het regenwater afvoeren en opvangen, is het van belang dat er gebruik wordt gemaakt van een materiaal wat goed tegen corrosie kan, omdat regenwater vaak licht zuur is.

Voor de leidingen zou PVC gebruikt kunnen worden, bij voorkeur UV gestabiliseerde variant omdat het langdurig blootgesteld wordt aan zonlicht, wat bij regulier PVC voor een brosse buitenlaag zou kunnen zorgen wat bij stoten eerder breuken kan veroorzaken. Elke locatie is uniek en vergt daardoor ook een unieke aanpak voor het plaatsen van een RWH-systeem. In de literatuur zijn een aantal stappen plannen aanwezig die gevolgd kunnen worden voor de plaatsing hiervan, zie Tabel 7.



Figuur 7: Voorbeeld RWH-systeem (Sharifah Meryam Shareh Musa, 2022)

Tabel 7: 1 Stappenplan aanleg RWH-systeem (Sharifah Meryam Shareh Musa, 2022)

Stap	Actie
1	Gebiedsinventarisatie
2	Geschatte benodigde hoeveelheid water
3	Evalueren van mogelijke beperkingen
4	Actieve of passieve waterverzameling
5	Aanstellen installateur RWH-systeem
6	Aanstellen installateur irrigatiesysteem
7	Opslag positie bepalen: bovengronds of ondergronds
8	Mogelijke opslaglocatie en overflow locatie bepalen
9	Type, grootte en compositie van materialen bepalen
10	Benodigde vergunningen aanvragen
11	Installeren en onderhouden van het RWH-systeem

Voor het gebruik van het DSS is per zomer 750 m³ water nodig, om daarnaast nog ruimte te hebben om het riool tijdens zware regenval te ontlasten, zal nog een buffer aangelegd moeten worden. Wateropslag van deze schaal neemt veel ruimte in, voor de plaatsing op het terrein van de fabriek zal daarom goed moeten worden nagedacht. Bij bovengrondse opslag is de mogelijkheid er om het regenwater op te slaan in twee silo's van elk 720 m³, met een diameter van 14,6 meter en een hoogte van 4,6 meter. Deze silo's zijn beschikbaar op de Europese markt, en worden verkocht door het in het Verenigd Koninkrijk gevestigde "The TankShop". Deze silo's zijn gemaakt van gegalaniseerd staal. Een andere mogelijkheid is om voor een grotere silo te kiezen. Via dezelfde verkoper is er ook een silo beschikbaar met een capaciteit van 1100 m³, water met een diameter van 18 meter en hoogte van 4.6 meter. In totaal levert dit 300 m³ minder opslag op, echter scheelt het wel in de hoeveelheid grond die het DSS zou gebruiken. (The TankShop, 2023)

Een andere optie is om te kiezen voor een silo met een opslagcapaciteit van 760 m³ water, zonder extra capaciteit als buffer bij zware regenval. Met zware regenval zou de capaciteit uit deze silo gelijkmatig geloosd worden op het riool of oppervlaktewater, om zodoende wel de wateroverlast tijdens zware regenval te beperken. Een andere optie is om dit in het grondwater te laten infiltreren doormiddel van het een wadi of waterdoorlatende stenen. Bij keuze voor 1 silo is er wel het risico dat bij een periode van langere regenval de opslag overvol raakt en dat het riool alsnog overbelast raakt.

Een andere optie voor een RWH-systeem is ondergrondse opslag. Veel van de ondergrondse tanks die aangeboden worden op de Nederlandse markt zijn echter niet van voldoende capaciteit om serieus overwogen te worden. De grootste ondergrondse tanks hebben veelal een capaciteit tussen de 20 m³ en 50 m³. Om hiermee op de benodigde capaciteit van ~ 1500 m³ te komen zouden zou 30 tanks van 50 m³ geïnstalleerd moeten worden. (Budgettank, 2023)

Na de zomer dient het overgebleven regenwater geloosd te worden, op het riool, oppervlaktewater of doormiddel van infiltratie in de grond. Zodoende kan de opslag weer gevuld worden tijdens de winter, voor de volgende zomer.

5.5 Kosten

Om een gedetailleerdere schatting te bieden van de kosten die een DSS met zich meebrengt, is een overzicht gemaakt van de aanschaf kosten van de verschillende componenten. Deze tabel 13 is te vinden in Bijlage X. Uit het overzicht blijkt dat de grootste kostenposten van het DSS, in aanschaf, de wateropslag en het leidingwerk zijn.

In het kostenoverzicht is geen rekening gehouden met de aanleg kosten die komen kijken bij het installeren van het systeem. Naar verwachting zal dit, naast de leidingen en de wateropslag, de grootste kostenpost zijn. In Tabel 8 is zijn de totaalkosten van een mogelijke samenstelling van het DSS te zien. De totaalkosten zijn uitgezet in totaal in euro's en totaal in pond, in verband met de wisselkoers is dit niet allemaal omgerekend naar euro's. De totaalkosten van alle verschillende componenten zal tussen 65.000 en 75.000,- euro kosten. Voor de manuren van de aanleg is geen inschatting gemaakt, aangezien er een gebrek is hebben aan expertise op dit vlak.

Tabel 8: Voorbeeld samenstelling DSS met totaalkosten van de componenten

Component	Prijs per stuk	Aantal	Prijs totaal
Galvanised Steel Water Storage Tank	£ 16,088.22	2	€ 32,176.44
PVC-Buis - UV bestendig	€ 6.95	3900	€ 27,105.00
Bonfix Aftapplug	€ 3.25	350	€ 1,137.50
Rain Bird magneetklep	€ 21.95	25	€ 548.75
Rainwater Harvesting Kit C	£ 777.00	800	€ 1,554.00
Protherm Pro water controller PRO.2	€ 358.00	1	€ 358.00
H-Tronic HTS 1000 Temperatuurschakelaar	€ 57.99	1	€ 57.99
DAB Jet 300 M	€ 499.00	1	€ 499.00
Totaal kosten componenten uit EU			€ 29,706.24
Totaal pond componenten VK			£ 33,730.44
Totaal prijs van het DSS in euro's			€ 67,471.24

Subsidies

Er is op nationale schaal gekeken naar mogelijke subsidies, waaruit de volgende mogelijkheden gevonden zijn, zie Figuur 4.

Momenteel biedt de gemeente Súdwest-Fryslân enige soelaas voor het DSS. Zo is er momenteel vanuit de gemeente Súdwest-Fryslân de volgende subsidie beschikbaar:

Subsidieregelingen 2023 gemeente Súdwest-Fryslân, paragraaf 7.3 Duurzaamheid, Groene Daken biedt een maximale subsidie van 5000 euro per eigenaar per jaar. (Gemeente Súdwest-Fryslân, 2022) Verder zijn er op het gemeentelijk vlak geen subsidies gevonden, echter kan de fabriek wellicht gezamenlijk met de gemeente tot een overeenkomst komen i.v.m. de grote hoeveelheden regenwater dat met het DSS kan worden afgevangen, waardoor de gemeentelijke riolering.

De provincie Friesland biedt geen subsidieregeling voor een dergelijk DSS. Echter kan wel op basis van de ASV (Algemene subsidieverordening) een incidentele subsidie worden aangevraagd bij de provincie. (Incidentele subsidies Fryslân, sd) Afgelopen jaren (2021-2022) was er ook binnen de provincie Friesland eventueel een subsidie beschikbaar, namelijk de 'Subsidieregeling vestiging en circulair ondernemerschap Fryslân' (Paragraaf 2.3. een project dat ziet op een diversificatie binnen een bestaande vestiging van de onderneming van de aanvrager in Fryslân, die bijdraagt aan de transitie naar een circulaire economie in Fryslân). Mogelijk dat een dergelijke subsidieregeling in de nabije toekomst weer beschikbaar wordt gesteld en dat hier aanspraak op kan worden gedaan.

Subsidies		
Gemeentelijk	Provinciaal	Landelijk
tot € 5000	Incidentele	MIA
		EIA
		Vamil
		KIA

Figuur 8: gemeentelijke en provinciale subsidiemogelijkheden en landelijke fiscale aftrekposten

Op nationaal-niveau kan gebruik gemaakt worden van bepaalde fiscale aftrekposten. Het DSS zit in de milieu-en energielijst categorie A en het is hierdoor mogelijk om m.b.v. de MIA (Milieu-investeringsaftrek) en Vamil (Vervroegde afschrijving milieu-investeringen regeling) fiscaal voordeel te bewerkstelligen: 36% MIA en 75% Vamil. Voor de MIA houdt dit in dat 36% van de totale investeringskosten van het DSS eenmalig boven op de gebruikelijke investeringsaftrek kunnen worden afgeschreven van de fiscale winst. Voor de VAMIL houdt dit in dat, in plaatst van jaarlijks een X% van de investeringskosten af te schrijven van de fiscale winst, in één keer 75% van de investeringskosten kunnen worden afgeschreven van de fiscale winst en de overige 25% in andere jaren van de fiscale winst kunnen worden afgeschreven. (RVO, 2022)

Tabel kleinschaligheidsinvesteringsaftrek 2023

Investering	Kleinschaligheidsinvesteringsaftrek
niet meer dan € 2.600	0%
€ 2.601 t/m € 63.716	28% van het investeringsbedrag
€ 63.717 t/m € 117.991	€ 17.841
€ 117.992 t/m € 353.973	€ 17.841 verminderd met 7,56% van het deel van het investeringsbedrag boven de € 117.991

Figuur 9: kleinschaligheidsinvesteringsaftrek percentages per investeringsbedragen (Belastingdienst, sd)

Mogelijk zou ook gebruik gemaakt kunnen worden van de KIA (Kleinschalige investeringsaftrek), waarbij het percentage dat kan worden afgetrokken van de fiscale winst afhangt van het geïnvesteerde bedrag (zie Figuur 5), en de EIA (Energie-investeringsaftrek), waarbij 45,5% van de investeringskosten van de fiscale winst eenmalig kan worden afgeschreven. (Veel meer geld voor energiezuinige investeringen van bedrijven in 2023, 2023)

Wel dient er rekening te worden gehouden dat de EIA en de MIA niet gezamenlijk kunnen worden aangevraagd voor dezelfde maatregelen. De MIA, Vamil en KIA kunnen bijvoorbeeld worden gecombineerd of de EIA, Vamil en KIA, maar niet de MIA, EIA en Vamil.

Ook dient er rekening mee gehouden te worden dat er voor de subsidies een bepaald bedrag voor een bepaalde periode beschikbaar wordt gesteld en dat indien dit bedrag al is toegekend, er op een nieuwe periode dient te worden gewacht. De aanvraag dient ook, in het geval van de MIA en Vamil, 3 maanden na de investeringen te zijn ingediend.

Welk exact bedrag er via subsidies en regelingen van de kosten kan worden afgetrokken, is niet berekend binnen dit project. Dit hangt af van de specifieke financiële situatie van de fabriek, wat niet is meegenomen in dit project.

5.6 Bespaarde koel-energie

Het koelvermogen van een techniek houdt in; hoeveel warmte er uit een ruimte onttrokken kan worden door de koeltechniek per tijdseenheid. Het DSS is geen directe koeltechniek, wat inhoudt dat de techniek niet de warmte uit de ruimte onttrekt. Wat het DSS wel doet is zorgen dat er minder warmte de ruimte binnen treedt, waarmee de anders benodigde koelenergie door een directe koeltechniek bespaard wordt. Dit is een indirecte manier voor het koelen van een ruimte. In de ruimtes van de fabriek zijn metingen verricht voor het in kaart brengen van de mate van hittestress per ruimte. Met behulp van het DSS zullen de gemeten temperaturen lager blijven dan voor het gebruik van het DSS. De gemeten temperaturen bij de fabriek zijn te vinden in Bijlage VIII.

Er zijn rekenmodellen waarmee te berekenen is hoeveel warmte er precies buiten de ruimte gehouden kan worden. In dit hoofdstuk wordt er een versimpelde methode toegepast. Namelijk, via het verschil in temperatuur van de buitenzijde van het platte dak tussen een situatie met DSS en zonder DSS. De gebruikte buitentemperaturen van het dak zijn afkomstig uit Figuur 2.

Vervolgens wordt met het verschil in buitentemperatuur van het dak berekent hoeveel warmte er niet binnen het gebouw treedt via de warmte-weerstandswaarde. Het is onbekend wat de warmte-weerstandswaarde is van het huidige platte dak van de fabriek. In het kadaster wordt aangegeven dat het gebouw in 1964 gebouwd is. (Kadaster, 2023) Aan de hand van dit bouwjaar wordt een schatting van de Rc-waarde gedaan. In Figuur 10 zijn de Rc-waardes weergegeven voor constructies van de fabriek aan de hand van betreffende bouwjaar. (ISSO, 2023) Dit zijn forfaitaire waardes, wat inhoudt dat deze

waarden toegepast kunnen worden wanneer de details van de constructie onbekend zijn. Omdat er niet bekend is of er een spouw is en of de constructie is (na)geïsoleerd, wordt er een gemiddelde waarde van 0,5 aangehouden als Rc-waarde voor het platte dak.

In Berekening 9, te vinden in Bijlage IX is de Rc-waarde omgerekend naar een doorlatingswaarde (U). Vervolgens is met de doorlatingswaarde berekend Berekening in 10 hoeveel warmte (energie) er over het te koelen dakoppervlak van de fabriek buiten gehouden is, gedurende 1 dag door het DSS. De berekening voor de bespaarde koelenergie is te vinden in Bijlage IX, waarbij de berekening uitkomt op ca. 940 kWh bespaarde koel-energie per dag.

	Aanwezigheid spouw	R _c [m²K/W]	
		Isolatie onbekend of afwezig	(na)geïsoleerd
Gevels	Spouw	0,35	0,85
	Geen spouw of onbekend	0,19	0,69
Panelen opgenomen in kozijnen	Spouw	0,23	0,73
	Geen spouw of onbekend	0,04	0,54
Vloer boven kruipruimte of direct op ondergrond; onder maaiveld gelegen uitwendige scheidingsconstructies die de verwarmde binnenruimte scheiden van de grond	Spouw	0,33	0,83
	Geen spouw of onbekend	0,15	0,65
Daken en vloeren grenzend aan de buitenlucht (voor rieten daken, zie paragraaf 6.6.6.5)	Spouw	0,35	0,85
	Geen spouw of onbekend	0,22	0,72

Figuur 10: Rc-waardes voor constructies van het bouwjaar <1965 zonder isolatie of met na-isolatie (ISSO, 2023)

5.7 Ongedierte

Het voorkomen van ongedierte op het bedrijfsterrein is een belangrijke eis i.v.m. de wet- en regelgeving en vergunningen m.b.t. hygiëne voor de fabriek. In dit onderdeel wordt beschreven welke risico's er voor het DSS, vergeleken met de huidige situatie (geen DSS), op dit vlak zijn gevonden en hoe deze risico's kunnen worden aangepakt of voorkomen.

Ongedierte is opgedeeld in twee groepen: micro-organismen (organismen die niet met het blote oog te zien zijn) en macro-organismen (organismen die met het blote oog te zien zijn). Binnen deze groepen is onderscheid gemaakt tussen het dak en de opslag, vanwege de verschillen tussen deze onderdelen.

Wet- en regelgeving m.b.t. preventie van ongedierte is hierin niet meegenomen maar hier dient wel rekening mee te worden gehouden. Dit onderzoek betreft een, i.v.m. het tijdsbestek, korte eerste uitwerking. Nader onderzoek dient te worden uitgevoerd om een hogere zekerheid te verschaffen.

Micro-organismen op het dak

Alhoewel er micro-organismen in het te sproeien water aanwezig zullen zijn, vormen ze niet allemaal een risico. Het risico ontstaat pas wanneer er significante hoeveelheden van het desbetreffende micro-organismen aanwezig zijn. Dit gebeurt wanneer de omgevingsomstandigheden, zoals de zuurtegraad, de temperatuur en het vochtgehalte, gunstig zijn voor het desbetreffende micro-organismen. Het bekendste risicovolle micro-organisme is de bacterie Legionella. En alhoewel legionella niet in het hemelwater aanwezig is, zal het wel op het dak kunnen zitten. (Boer, 2006) De groei van legionella wordt bevorderd bij temperaturen tussen de 20 en 60 graden Celsius, stilstaand water en accumulatie van sediment. (Legionellose richtlijn)

Aangezien het in de zomer gesproeide water snel zal verdampen bij hogere temperaturen, zal er niet langdurig een laag stilstaand water op het dak blijven liggen. Door het DSS zal het dak wel in de temperatuurrange van 20-60 graden Celsius kunnen vallen. Ook kunnen stoffen in het water sedimenteren op het dak, wanneer alleen het water verdampt. Hier dient rekening mee gehouden te worden, door het dak periodiek te monitoren en onderhoud te plegen als dit nodig is. Wanneer er gebruik wordt gemaakt van filters om het vuil en micro-organismen uit de silo te houden, zal dit de hoeveelheid sedimentatie doen verminderen. Echter zal dit niet voor alle stoffen gelden, het in het water opgeslagen zout zal bijvoorbeeld niet door de filters worden afgevangen.

Micro-organismen in de silo

In de silo dient er ook rekening gehouden te worden met risicovolle micro-organismen, en dan in het specifiek legionella. Zoals eerder genoemd, zal deze mogelijk met het van het dak afstromende water in de silo terecht kunnen komen. De omgevingsparameters die de groei van de bacterie bevorderen en schade kunnen toebrengen aan de silo (lage pH-waardes), dienen te worden gecontroleerd door middel van monitoring in de silo.

Stilstaand water kan worden voorkomen door bijvoorbeeld met (mechanische) toepassingen beweging in het water in de silo aan te brengen. Ook kan er een filter worden geplaatst om het water, voordat het in de silo terecht komt, van micro-organismen, waaronder Legionella, te scheiden. Dit filter dient dan wel periodiek te worden vervangen. Chemische behandeling van het water is ook een mogelijk, maar wordt vaak gedaan met milieuonvriendelijke stoffen als koper. Verder is er ook de mogelijkheid om het water met een UV-lamp te bestralen, waardoor het DNA en cel processen van bacteriën wordt beschadigd en groei niet meer optreedt. (Landelijk Centrum Hygiëne en Veiligheid, 2016)

Macro-organismen op het dak

Insecten en vogels kunnen voor overlast zorgen op het dak. Van andere organismen wordt dit niet verwacht, aangezien zij hier niet (gemakkelijk) kunnen komen.

Zoals genoemd in het haalbaarheidsonderzoek is een belangrijke vereiste voor het ontstaan van overlast van insecten stilstaand water. Vergeleken met de huidige situatie waarin geen DSS wordt toegepast, is het risico hierop vrijwel gelijk. Immers, het DSS zal alleen water op het dak sproeien wanneer er sprake is van hitteoverlast. Deze periode zal waarschijnlijk de maanden juli en augustus betreffen, aangezien dit over het algemeen de warmste maanden zullen zijn. Echter, in de praktijk, kan het water op het dak worden gesproeid wanneer dit nodig wordt geacht: ook als het een dag (extreem) warm is. De buitentemperatuur zal gedurende deze periode, op de momenten dat gekoeld dient te worden, hoog genoeg zijn om ervoor te zorgen dat het op het dak gesproeide water verdampt. Hierdoor zal er niet lang genoeg een laag water op het dak blijven staan en zullen insecten deze plek niet snel uitkiezen om hun eitjes te leggen en eerder omliggende wateren zoeken waar een waterlaag aanwezig blijft.

Ook overlast van vogels zal niet significant anders zijn vergeleken met de huidige situatie. Idem door het feit dat het water niet (lang) blijft liggen en de vogels hier dus geen geschikte drink- en/of wasplaats zullen vinden.

De verwachting is dus dat het dak binnen het DSS geen extra macro-ongedierte zal aantrekken vergeleken met de huidige situatie van het dak.

Om te verzekeren dat macro-organismen niet overlast zullen veroorzaken in de silo, is het mogelijk om periodiek de silo te controleren en wellicht in de monitoring van de omgevingsparameters ook hiermee rekening te houden.

Macro-organismen in de silo

De specificaties van de opslag zijn van belang om ervoor te zorgen dat macro-organismen hier geen overlast zullen veroorzaken. Als de silo compleet wordt afgesloten, zal dit voorkomen dat er insecten en/of vogels bij kunnen komen.

Als er wel insecten, voor vogels zal dit geen reëel probleem zijn, bij de aanvoer van het regenwater naar de opslag zijn meegekomen, zouden deze met een filter kunnen afgevangen. Dit filter dient dan wel periodiek te worden vervangen om verstoppingen te voorkomen.

5.8 Eventuele extra opties

Om extra effecten te bewerkstelligen is het mogelijk om aanpassingen te maken aan het DSS. Deze zijn in praktijk niet allemaal toepasbaar op de huidige situatie van de fabriek, maar wellicht wel in een toekomstige situatie. In Tabel 9 staan mogelijke aanpassingen, inclusief belangrijke kenmerken ervan. Ook de toepasbaarheid van de aanpassingen op het uitgewerkte DSS is uiteengezet. De toepasbaarheid wordt als volgt gescoord: slecht (de mogelijkheid kan beter niet worden toegevoegd), neutraal (de mogelijkheid heeft voordelen en nadelen die elkaar compenseren/heeft geen gevonden significant voordeel of nadeel) en goed (de mogelijkheid biedt een significant voordeel).



Extra mogelijkheden	Belangrijke kenmerken	Toepasbaarheid
Schaduw	-Minder zoninstraling op het dak (Ghosal, Tiwari, & Srivastava, 2002), waardoor het dak minder (snel) opwarmt en er minder water nodig is	-Slecht: te veel wind in Nederland + kans op ongedierte op de schaduw gevende objecten
Isolatie	-Een (extra) isolatielaag zorgt voor een mindere warmte uitwisseling tussen het dak en de binnenruimten (Jung, 2011); -Kan warmte in de binnenruimten ook minder snel kwijtraken	-Goed: ('ademende') isolatielaag kan worden aangebracht op het dak en/of onder het dak, wat ervoor zorgt dat er minder AC koelvermogen nodig is (Jung, 2011). Wel dient er rekening te worden gehouden met het gewicht van de isolatielaag i.v.m. de draagkracht van het dak.
Manier van sproeien	-Hogere koeling naarmate er meer wordt gesprayd, maar niet evenredig -> wordt minder als er te veel wordt gesprayd (Nayak, Hagishima, & Tanimoto, 2020); -De positie van de sprays is van belang voor de efficiëntie van het systeem (Cuce & Riffat, 2016)	-Neutraal: i.v.m. het tijdsbestek is er geen onderzoek gedaan naar de effectiviteit van verschillende posities van de sproeiers. Meer water sproeien is geen reële aanpassing, aangezien hierdoor water langer kan blijven liggen op het dak wat de kans op ongedierte zal vergroten.
Nat doek, gespannen over het dak	-Kan leiden tot hogere koeling (Ghosal, Tiwari, & Srivastava, 2002)	-Slecht: zorgt voor een groter risico op ongedierte
Poreus dak	-Lagere dak temperatuur (Wanphen & Nagano, 2009)	-Goed: door het bitumen op het dak te vervangen door een poreuzer dak, zou de dak temperatuur lager uitvallen en er minder warmte naar de binnenruimtes stromen. Het hoeft niet zwaar materiaal te zijn en de kosten hoeven ook niet hoog te zijn. (Wanphen & Nagano, 2009)
Reflectief dak	-Verminderd benodigd koelvermogen, vanwege de lagere warmteopname (Jung, 2011)	-Goed: hogere reflectie zorgt voor een lagere dak temperatuur, waardoor er minder warmte naar de binnenruimtes stroomt. De reflectieve laag kan op het dak worden aangebracht in de vorm van bijvoorbeeld een folie of coating. (Jung, 2011)
Warmteopslagcapaciteit	-Hoe hoger de warmteopslagcapaciteit, hoe lager de piek warmte uitwisseling; -Kan bijvoorbeeld worden bewerkstelligd door stenen te plaatsen op het dak. (Ben Cheikh & Bouchair, 2004)	-Slecht: de huidige dakconstructie kan waarschijnlijk extra warmteopslagcapaciteit, in de vorm van bijvoorbeeld stenen, niet dragen.
(Extra) gekoeld water	-Koeler water kan meer warmte opnemen voordat het evaporeert dan warmer water.	- Neutraal: het water in de opslag zou gekoeld kunnen worden, echter kost dit ook energie. Of de baten hoger zijn dan de kosten is niet onderzocht binnen dit project.
Zonnepanelen	-Kunnen (een deel van) de benodigde energie voor het systeem opwekken en zorgt voor schaduwwerking	-Slecht: de dakconstructie kan geen zonnepanelen dragen.

Tabel 9: Verschillende extra mogelijke opties voor bij het DSS. Hierbij zijn belangrijke kenmerken en de toepasbaarheid van de extra opties benoemd. De toepasbaarheid is als slecht, neutraal of goed gescoord, waarbij slecht inhoudt dat de extra optie niet goed toepasbaar is voor de specifieke situatie van de fabriek, neutraal dat de voor- en nadelen tegen elkaar opwegen en goed dat de extra optie goed toepasbaar is voor de fabriek.

6. Duurzaamheid DSS

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de derde deelvraag beantwoord, namelijk: *“Is het dak-koelsysteem een duurzame maatregel?”*.

De duurzaamheid van het DSS is kwalitatief beschreven a.d.h.v. het raamwerk van de sustainable development goals (SDG's). Hierbij is de huidige situatie, waarbij geen DSS in gebruik is, vergeleken met de nieuwe situatie, waarbij het DSS is geïmplementeerd. Binnen de SDG-doelen zijn relevante targets gekozen die het best betrekking hebben op het project, waar beide situaties op zijn beschreven.

Er zit enige overlap tussen de ‘toetsing’ van de verschillende SDG's, vanwege het integrale karakter van deze doelen en doordat de uiteenzetting telkens hetzelfde systeem en dezelfde situatie (het DSS bij de fabriek) betreft. SDG 6 en 12 zijn gezamenlijk beschreven, vanwege de grote overlap tussen beide ‘toetsingen’.



Figuur 11: doel van de SDG's Nederland, welke vertaald zijn vanuit de United Nations SDG's. (SDG Nederland, sd)

6.2 SDG 6: Schoon water en sanitair & SDG 12: Verantwoorde consumptie en productie

- Target 6.4: “Tegen 2030 in aanzienlijke mate de efficiëntie van het watergebruik verhogen in alle sectoren en het duurzaam winnen en verschaffen van zoetwater garanderen om een antwoord te bieden op de waterschaarste en om het aantal mensen dat af te rekenen heeft met waterschaarste, aanzienlijk te verminderen”
- Target 12.2: “Tegen 2030 het duurzame beheer en het efficiënte gebruik van natuurlijke hulpbronnen realiseren”

Momenteel valt er circa 14.500 m³ regenwater op de daken van de fabriek. Hiernaast valt er ook regen op de rest van het terrein. Al dit regenwater wordt binnen de huidige situatie geloosd op het riool. Bij warmere temperaturen wordt er gekoeld m.b.v. AC en één ventilatieschaft.

Als het DSS in werking is getreden, zal er een klein deel van het op het dak gevallen regenwater worden afgevoerd naar de silo's en hier worden opgeslagen: ca. 830 m³ van het regenwater wordt als buffer in de lente afgevangen, wat relatief op de omliggende ecosystemen van de fabriek een te verwaarlozen hoeveelheid water betreft. Dit deel van het regenwater wordt nu dus efficiënt(er) gebruikt. Ook hoeft er hierdoor minder elektriciteit gebruikt te worden om te koelen via AC en de ventilatieschaft. Als er gebruik gemaakt wordt van de extra silo('s), wordt een nog groter deel van het regenwater efficiënt(er) gebruikt, bijvoorbeeld door dit water te gebruiken voor de koelprocessen of door het water langzaam in de bodem te laten infiltreren i.p.v. op het riool te lozen.

Ook zorgt het ervoor dat er minder gekoeld hoeft te worden met AC en de ventilatieschaft, waardoor ook minder grondstoffen hiervoor benodigd zijn.

Het DSS verwezenlijkt dus een grotere efficiëntie van regenwater en gebruik van elektriciteit en draagt hierdoor bij aan zowel SDG 6.4 als SDG 12.2.

6.3 SDG 8: Waardig werk en economische groei

- Target 8.8: “De arbeidsrechten beschermen en veilige en gezonde werkomgevingen bevorderen voor alle werknemers, met inbegrip van migrerende werknemers, in het bijzonder vrouwelijke migranten, en zij die zich in precare werkomstandigheden bevinden”

In Bijlage VIII is de gemeten temperatuur, gedurende juli en augustus, gemiddeld de warmste maanden van het jaar in Nederland, af te lezen. Alhoewel 2021 een mild jaar was, is er Figuur 22 af te lezen dat de binnentemperatuur in de opslag van de hulpmaterialen tussen de 38 en 40 graden Celsius zit. Alhoewel hier nauwelijks personeel werkt/aanwezig is, zal deze warmte een negatieve invloed op de temperatuur van de rest van de fabriek kunnen hebben. Verder ervaren de andere ruimten ook sporadisch een overschrijding van de hittestress grens van 26 graden Celsius, zoals te zien is in de fabriek in Figuur 28.

In de nieuwe situatie zal het DSS de dak temperatuur doen verlagen. Aangezien vrijwel alle daken van de fabriek worden besproeid, zal er ook op de ruimten waar niet per se hittestress wordt ervaren een lagere temperatuur zijn. Hierdoor zullen de ruimten met hittestress makkelijker hun warmte kwijtkunnen aan deze koelere ruimten en nog koeler uitvallen en zal ook de fabriek over het geheel een koelere werkplek zijn. Er wordt hierdoor bijgedragen aan SDG-target 8.8.

6.4 SDG 9: Industrie, innovatie en infrastructuur

- Target 9.4: “Tegen 2030 de infrastructuur moderniseren en industrieën aanpassen om hen duurzaam te maken, waarbij de focus ligt op een grotere doeltreffendheid bij het gebruik van hulpbronnen en van schonere en milieuvriendelijke technologieën en industriële processen, waarbij alle landen de nodige actie ondernemen volgens hun eigen respectieve mogelijkheden”

De fabriek ervaart momenteel hittestress. Deze hitte beperkt zich niet alleen tot de fabriek zelf, de warmte zal ook uitstralen naar de omgeving van de fabriek. Momenteel koelt de fabriek de vergaderruimtes met AC en het blikproductiegebouw met één ventilator. Tegelijkertijd ervaart de fabriek ook wateroverlast bij zware regenbuien, aangezien het huidige rioleringsstelsel niet de grote hoeveelheden regenwater kan verwerken. Ook dit beperkt zich niet tot alleen de fabriek, de omgeving zal hier ook gevolgen van ondervinden zoals problemen met het afvoeren van hun (afval)water.

Het DSS maakt gebruik van regenwater, dat (deels) afgevangen is tijdens zware regenbuien, waardoor de wateroverlast wordt verminderd. Door het koelende effect van het stelsel zal niet alleen de temperatuur in de fabriek lager zijn, ook zal waarschijnlijk de omgeving minder last hebben van het hitte-eilandeffect van het fabrieksterrein. Tegelijkertijd hoeft er minder gekoeld te worden met het huidige koelsysteem.

Het moderniseren van het koelsysteem van de fabriek draagt hierdoor bij aan verduurzaming van de industrie, en in het specifiek aan het verminderen van de druk op het milieu, het doeltreffender gebruik van de hulpbron water en het verminderen van het gebruik van AC en een ventilatiesysteem en draagt hierdoor bij aan SDG-target 9.4.

6.5 SDG 11: Duurzame steden en gemeenschappen

- Target 11.5: “Tegen 2030 het aantal doden en getroffen en aanzienlijk verminderen en in aanzienlijke mate de rechtstreekse economische impact op het bruto binnenlands product terugschroeven dat veroorzaakt wordt door rampen, met inbegrip van rampen die met water verband houden, waarbij de klemtoon ligt op het beschermen van de armen en van mensen in kwetsbare situaties”

De exacte (economische) schade door wateroverlast en hittestress is niet berekend, echter kan worden aangenomen dat deze aspecten een bepaalde schade toebrengen op de fabriek. Bijvoorbeeld een lagere efficiëntie van de werknemers bij hogere werktemperaturen, een onderbreking in het productieproces door wateroverlast en meer benodigd koelvermogen van een AC. Ook kunnen hittestress en wateroverlast op het bedrijfsterrein nadelige effecten geven voor de omgeving van de fabriek. De riolering wordt momenteel overbelast bij zware regenbuien, wat ook schade kan aanbrengen aan het desbetreffende rioleringsstelsel.

Doordat het DSS een deel van het water tijdens zware regenbuien opvangt, zullen de fabriek, de omgeving van de fabriek en de riolering minder last hebben van wateroverlast en hierdoor zal bepaalde (economische) schade worden voorkomen. Ook wordt door het DSS hittestress/overlast tegengegaan, waardoor werknemers efficiënter kunnen werken en ook de omgeving geen/minder negatieve consequenties ondervindt.

Hierdoor draagt het DSS bij aan een veilige en veerkrachtige fabriek en omgeving en wordt (economische) schade door hittestress en wateroverlast voorkomen of verminderd. Er wordt hiermee bijgedragen aan SDG-target 11.5.

6.6 SDG 13: Klimaatactie

- Target 13.1: “De veerkracht en het aanpassingsvermogen versterken van met klimaat in verband te brengen gevaren en natuurrampen in alle landen”

Alhoewel er momenteel al last wordt ervaren door periodieke grote hoeveelheden water en hitte op het bedrijfsterrein, inclusief de bijbehorende gevolgen voor de omgeving, is de voorspelling dat deze omstandigheden met huidige klimaatveranderingen zullen toenemen in frequentie en intensiteit. (Informatiepunt Leefomgeving, sd) Dit brengt hogere schades, meer problemen en andere onvoorziene gevolgen met zich mee.

Het DSS zal ervoor zorgen dat deze wateroverlast en hittestress kan worden voorkomen of in ieder geval worden verminderd. Hiermee zal de fabriek en de omgeving veerkrachtiger worden en wordt bijgedragen aan SDG-target 13.1 en aan de toekomstbestendigheid van de bijdrage aan de hierboven genoemde SDG's.

7. Discussie

In het beginstadium van het project is ervoor gekozen om te werken doormiddel van een beslisboom na deelvraag 1. Hier is voor gekozen omdat er twijfel was of het DSS de beste oplossing was om hittestress aan te pakken. Tijdens het bedrijfsbezoek in week 6 van het project werd duidelijk dat wateroverlast een substantieel onderdeel was van het probleem. Om deze reden is toen gekozen om het DSS verder uit te werken, aangezien dit integraal beide problemen kan aanpakken. Hierdoor zijn de onderzoeksvragen later in het project aangepast.

Het adviesrapport betreft iets wat hittestress dient te beperken, waardoor de link naar koelend vermogen snel gelegd is. Echter is een DSS geen koelsysteem, maar een systeem wat ervoor zorgt dat het pand minder warm zal worden en zodoende de hittestress beperkt/er minder benodigd koelvermogen zal zijn. Hiervoor is onderbouwing gevonden in de literatuur. Een beperking hiervan is dat veel van het onderzoek naar zulk soort systemen is gedaan in landen waarvan de klimatologische omstandigheden sterk verschillen met die van Nederland. Dit kan van invloed zijn op de daadwerkelijke prestaties van het systeem in de praktijk.

Bij veel duurzame investeringen is de terugverdientijd van groot belang. In dit rapport is geen terugverdientijd te vinden, dit heeft een aantal redenen. Het DSS is zoals eerder beschreven een systeem wat de benodigde koel energie beperkt. De fabriek heeft op dit moment alleen in een klein deel van het pand actieve koeling. Zodoende wordt de energie die het DSS bespaart nog niet gebruikt om te koelen en is hier dus ook niet een terugverdientijd voor berekent. Daarnaast zouden de baten kunnen worden uitgedrukt in het beperken van de hittestress en wateroverlast. Wat dit de fabriek echter kost is niet geheel duidelijk. Wat hittestress een bedrijf kost is in theorie arbeidsproductiviteit, het precieze verlies wat dit oplevert is lastig in te schatten. Dit heeft namelijk te maken met hoe lang een werknemer in de temperatuur werkt, de luchtvochtigheid, de luchtstroomsnelheid, de gemiddelde stralingstemperatuur en de luchttemperatuur. Een inschatting hiervan maken zou een heel nieuw onderzoek vergen naar de precieze arbeidsomstandigheden binnen de fabriek. De baten van het beperken van het wateroverlast liggen voornamelijk bij de gemeente, aangezien die verantwoordelijk zijn voor het rioolstelsel. Wel zal het de kosten van loodgieters voor de wateroverlast in de WC's beperken.

Voor het gedeelte over ongedierte is gefocust op een beperkt aantal macro en micro-organismen. Andere vormen van 'ongedierte' die wellicht overlast kunnen veroorzaken zijn binnen dit adviesrapport niet onderzocht.

Om te onderzoeken of dit systeem daadwerkelijk als duurzame oplossing kan worden gezien is de situatie met en zonder DSS getoetst aan verschillende SDG's. Echter zijn er naast de SDG's meer raamwerken waarmee kan worden getoetst of de maatregel daadwerkelijk duurzaam is.

Hiernaast zijn er ook een aantal suggesties voor vervolgonderzoek: onderzoek naar de effectiviteit van albedo coatings als alternatief en mogelijk minder ingrijpende maatregel om de hittestress aan te pakken. Hiernaast is het risico van Legionella in de wateropslag van het DSS een onderwerp waar zekerheid over dient te worden verschaft. Dit is in dit onderzoek enigszins gedaan, echter is dit een onderwerp wat grote gevolgen kan hebben en zodoende een eigen onderzoek verdient om hier duidelijk antwoord op te kunnen geven.

8. Advies

Op basis van de onderzoeksresultaten is de hoofdvraag, en daarmee de vraag vanuit de opdrachtgever, beantwoord in dit adviesrapport. Het is mogelijk om regenwater als duurzame oplossing te gebruiken voor dak-koeling, waarmee wateroverlast en hittestress gereduceerd kunnen worden op het bedrijfsterrein van de fabriek. Het advies is om het DSS te realiseren, waarbij de opgedane kennis en ideeën uit dit rapport een ondersteuning bieden bij de realisatie.

Het DSS is een duurzame en passende oplossing voor de opdrachtgever vanwege de vermindering van hittestress en wateroverlast op het bedrijfsterrein, waarbij de huidige bedrijfsvoering niet wordt aangetast.

Het DSS bestaat uit een sproeisysteem wat op het dak wordt geplaatst en een regenwateropslag silo wat op de grond wordt geplaatst, voor de besproeiing en de bufferopslag bij zware regenbuien. Dit sproeisysteem bestaat uit verschillende componenten, zoals in Tabel 6 is weergegeven, en werkt middels een zoneringssysteem waarbij het dak in verschillende zones besproeid wordt. Een groot voordeel hiervan is het relatief lage waterverbruik van dit DSS met zonering, namelijk ca. 750 m³ per zomerperiode van 45 dagen. Er valt ruim voldoende regenwater op het dak van de fabriek, namelijk ca. 14.460 m³ per jaar. Dit regenwater kan gebruikt worden om het waterverbruik van het DSS te voorzien. Om dit regenwater op te slaan is regenwateropslag benodigd. Bij bovengrondse regenwateropslag is het mogelijk om het regenwater op te slaan in twee silo's van elk 720 m³, met een diameter van 14,6 meter en een hoogte van 4,6 meter. Via deze opslagmogelijkheid is er voldoende regenwateropslag om in een zomerperiode het dak te bespuiten, en daarnaast om zware regenbuien te kunnen bufferen tegen wateroverlast. Voor de buffering van zware regenbuien is namelijk ca. 830 m³ regenwateropslag benodigd. Met de besproeiing van het dak middels het DSS zal er minder warmte de fabriek binnentreden via het platte dak. Hiermee wordt de anders benodigde koelenergie door een directe koeltechniek bespaard. Deze bespaarde koelenergie, dus de hoeveelheid energie in warmte die het gebouw niet binnentreedt door het DSS, is ca. 940 kWh per zomerdag.

De totaalkosten voor de verschillende componenten van het DSS en de regenwateropslag komt uit op ca. €70.000,-. Hier zijn de installatiekosten van de systemen en de transportkosten van de componenten niet bij inbegrepen. Er zijn een aantal subsidies voor technieken als het DSS waarvan gebruik kan worden gemaakt, bijvoorbeeld de combinatie van de MIA, de Vamil en de KIA. Hierbij is er geen exact bedrag berekend voor de aftrek van de kosten via de mogelijke subsidies en regelingen.

De duurzaamheid van het DSS is kwalitatief beschreven a.d.h.v. het raamwerk van de SDG's. Het DSS draagt daarin bij aan een aantal SDG's, bijvoorbeeld aan de efficiëntie van het zoetwatergebruik (SDG 6), de versterking van de veerkracht en het aanpassingsvermogen aan de klimaatverandering (SDG 13) en aan een het bevorderen van veilige en gezonde werkomgevingen voor alle werknemers (SDG 8).

Met een blik op de toekomst wordt verwacht dat de problemen omtrent hittestress en wateroverlast zullen verergeren, doelend op de veranderende klimaatomstandigheden. Als er geen rekening wordt gehouden met deze problematiek, zullen ook de mogelijke negatieve gevolgen hiervan toenemen. De geboden oplossing voor deze problematiek in dit advies, het DSS, bindt de wateroverlast met verkoeling op de momenten van hittestress. Hierdoor zijn de twee problemen elkaars oplossing geworden, waarbij uw gebouw weer gereed is voor wat de toekomst kan brengen.

9. Aanbevelingen

Naast het advies, zijn er ook nog een tweetal aanbevelingen voor vervolgonderzoek. In dit adviesrapport is gekeken naar of het DSS het risico op ongedierte vergrootte, hierbij is gekeken naar micro en macro-organismen. Hierbij is de kennis opgedaan dat er in de wateropslag een kans is dat er legionella in ontstaat. Hoe groot dit risico precies is, en of er dit in schadelijke concentraties zal voorkomen is niet onderzocht in dit adviesrapport. Wij bevelen aan om hier vervolgonderzoek naar te laten doen.

Hiernaast zijn er tijdens het literatuuronderzoek ook informatie gevonden over zogenoemde albedo daken. Dit zijn reflectieve coatings die de meeste straling van de zon weerkaatsen, en zodoende hittestress vermindert. Een studie heeft aangetoond dat een albedo-coating op een geïsoleerd dak de omstandigheden in het pand verbeterde ten opzichte van de omstandigheden buiten. (De Brito, Henriquez, & Dutra, 2011) Een ander onderzoek, naar de lange termijn prestaties van deze coatings kwam tot de conclusie dat het koelend effect per jaar verminderd, maar dat na het wassen van het dak de reflectiviteit tot 90-100% van de originele reflectiviteit kan worden gebracht. (Bretz, 1999)

Een albedo-coating zou echter niet het wateroverlast probleem aanpakken. Daarvoor zou in het geval van een albedo-coating nog een alternatieve oplossing voor bedacht moeten worden. Een optie hiervoor zouden infiltratiekratten onder de parkeerplaats kunnen zijn of waterdoorlatende stenen. Door deze redenen zien wij dit als een interessante optie voor vervolgonderzoek.

10. Bibliografie

- Landelijk Centrum Hygiëne en Veiligheid. (2016, May). *LCHV-draaiboek Preventie en melding van legionellabacteriën in water*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid, Ministerie van Volksgezondheid <https://www.rivm.nl/legionella/lchv-draaiboek>
- Al-Turki, A., & Zaki, G. (1991). Energy saving through intermittent evaporative roof cooling. *Energy and Buildings*, 35-42.
- Arya, S. P. (2002). Introduction to micrometeorology. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*.
- Belastingdienst. *Kleinschaligheidsinvesteringsaftrek 2023*. 2023, Belastingdienst: <https://www.belastingdienst.nl/wps/wcm/connect/bldcontentnl/belastingdienst/zakelijk/winst/inkomstenbelasting/veranderingen-inkomstenbelasting-2023/investeringsaftrek-2023/kleinschaligheidsinvesteringsaftrek-2023>
- Ben Cheikh, H., & Bouchair, A. (2004). Passive cooling by evapo-reflective roof for hot dry climates. *Renewable Energy*, 1877-1886.
- Boafo Edmond, F., Kim, J.-T., & Kim, J.-H. (2017). Evaluating the impact of green roof evapotranspiration on annual building energy performance. *International journal of green energy*.
- Boer, J. d. (2006). *Is Legionella ooit in regenwater aangetoond? Hoe komt het in drinkwater?* Bohn Stafleu van Loghum.
- Bretz, S. E. (1999). Long-term performance of high-albedo roof coatings. *Energy and Buildings*, 159-167.
- Budgettank. (2023, 01 26). *AP50K Aqua Plast XXL Ondergrondse Regenwater Tank Kunststof 50.000 Liter*. budgettank: <https://www.budgettank.nl/p/ap50k-aqua-plast-xxl-ondergrondse-regenwater-tank-kunststof-50-000-liter>
- Crawford, R., & da Silva, A. (2014). Experimental testing of a passive, evaporation-based roof cooling system. *Energy and Buildings*, 12-19.
- Cuce, P. M., & Riffat, S. (2016). A state of the art review of evaporative cooling systems for building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1240-1249.
- da Veiga, A. P. (2020). Evaporative cooling in building roofs: Local parametric and global analyses (Part-2). *Solar energy*, 1009-1020.
- De Brito, J., Henriquez, J., & Dutra, J. (2011). Effects of coefficients of solar reflectivity and infrared emissivity on the temperature and heat flux of horizontal flat roofs of artificially conditioned nonresidential buildings. *Energy and Buildings*, 440-445.
- Dr.ir. F.C. Boogaard, R. M. (2021). Muggen en klimaataanpassingen. *Land+Water*, 11.
- Duursma, S. *Update productielocatie Hochwald Bolsward*. Jorritsmabouw.nl.
- Esparza L., C. J. (2018). Potential of a wet fabric device as a roof evaporative cooling solution: Mathematical and experimental analysis. *Journal of Building Engineering*, 366-375.

- Fox, B., Belline, G., & Pelligrini, L. (2014). Chapter 14 - Drying. *Fermentation and Biochemical Engineering Handbook (Third Edition)*, 283-305.
- Gemeente Súdwest-Fryslân. (2022, October 31). Gemeentebld Nr 482902. *Subsidieregelingen 2023 gemeente Súdwest-Fryslân (Gemeentebld 2022 nr. 482902)*, 34-35. gemeente Súdwest-Fryslân.
- Ghosal, M., Tiwari, G., & Srivastava, N. (2002). *Modeling and experimental validation of a greenhouse with evaporative cooling by moving water film over external shade cloth*. New Delhi: Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology.
- Google. (2022, 12 22). *Google Maps*. Opgehaald van google.com/maps: <https://www.google.com/maps>
- H.F. de Zwart, E. J. (2004). *Kaskoeling en aquiferlading door middel van een dakbevoeiingsysteem*. Wageningen: Agrotechnology and Food Innovations B.V.
- Haughey, D. (2021, 10 15). *MoSCoW Method*. projectsmart.co.uk: <https://www.projectsmart.co.uk/tools/moscow-method.php>
- Incidentele subsidies Fryslân*. 1 24, 2023, Provincie Fryslan: <https://www.fryslan.frl/incidentele-subsidies-fryslan>
- Informatiepunt Leefomgeving. *Gevolgen van klimaatverandering*. January 26, 2023, Informatiepunt Leefomgeving - Experts in Omgevingswet en leefomgeving: <https://iplo.nl/thema/klimaat/gevolgen-klimaatverandering/#:~:text=Door%20klimaatverandering%20worden%20de%20zomers,de%20veiligheid%20en%20de%20economie>.
- ISSO. (2023, 01 30). *Isolatiewaarden*. Opgehaald van duurzaammbou.nl: <https://www.duurzaammbou.nl/dzb-materialen/bouwfysica/isolatiewaarden>
- Jung, S.-J. (2011). A Study on Passive Cooling Methods by Evaporation and Solar Reflection on Rooftops in a Temperate Climate Region. *Journal of Asian architecture and building engineering*, 227-234.
- Kadaster. (2023, 01 30). *Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG)*. Opgehaald van bagviewer.kadaster.nl: <https://bagviewer.kadaster.nl/lvbag/bag-viewer/index.html#?searchQuery=Harlingerstraat%2065,%208701%20WR%20Bolsward&resultOffset=0&objectId=0064200000136057&geometry.x=163335.21036596&geometry.y=563785.32604706&zoomlevel=6&detailsObjectId=0064010000136058>
- KNMI. (2022, 12 21). *Daggegevens van het weer in Nederland*. Opgehaald van knmi.nl: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens>
- KNMI. (sd). *Zware regen*. Opgehaald van KNMI.nl: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/waarschuwingen/zware-regen>
- Kondepudi, S. (1993). A SIMPLIFIED ANALYTICAL METHOD TO EVALUATE THE EFFECTS OF ROOF SPRAY EVAPORATIVE COOLING. *Energy Conversion and Management*, 7-16.
- Legionellose richtlijn*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport: <https://lci.rivm.nl/richtlijnen/legionellose>

- Lenntech. (2022, 12 22). *Verdamping van Water*. Opgehaald van lenntech.nl:
<https://www.lenntech.nl/calculatoren/verdamping-van-water.htm>
- Lenzholzer, S. (2013). *Het weer in de stad*. Rotterdam: naio10.
- Leo Capari, H. W. (2022, 04 20). *Study on Urban Green and Blue Infrastructure and Climate Change-Induced Public Health Effects. Sustainability*. MDPI.com: <http://dx.doi.org/10.3390/su14094929>
- Misra, D., & Ghosh, S. (2017). Evaporative cooling technologies for greenhouses: a comprehensive review. *CIGR Journal*.
- Multifunctionele daken*. drainproducts.nl: <https://drainproducts.nl/multifunctionele-daken/>
- Nayak, A., Hagishima, A., & Tanimoto, J. (2020). A simplified numerical model for evaporative cooling by water spray over roof surfaces. *Applied Thermal Engineering*.
- Patterson Fan. (2023, 01 25). *SOLAR SHIELD*. Retrieved from pattersonfan.com:
https://www.pattersonfan.com/uploads/2/9/7/4/29747215/solar_shield_roof_system_info.pdf
- Pittsburgh Corning. *Blauw dak met waterreservoir op betonnen structuur*. Owens Corning FOAMGLAS:
<https://www.foamglas.com/nl-nl/-toepassingen-en-oplossingen/roofs/flat/concrete/blue-roof/podium-roof/b-fr-c-blue-podium>
- RAAK Publiek. (2020). *Klimaatadaptieve bedrijventerreinen Ontwikkeling effectieve aanpak voor klimaatbestendige, natuur-inclusieve en aantrekkelijke bedrijventerreinen*. Hogeschool van Hall Larenstein, Hanzehogeschool Groningen.
- Riangvilaikul, B., & Kumar, S. (2010). An experimental study of a novel dew point evaporative cooling system. *Energy and Buildings*, 637-644.
- RVO. (2022, 12 26). *Waterbesparende voorziening of installatie*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland: <https://data.rvo.nl/subsidies-regelingen/milieulijst-en-energielijst/miavamil/waterbesparende-voorziening-installatie-0>
- de 17 sdg's*. 2023, SDG Nederland: <https://www.sdgnerland.nl/de-17-sdgs/>
- Sharifah Meryam Shareh Musa, M. F. (2022). Small Scale Rainwater Harvesting Design for External Usage. *Environment and Ecology Research*, 268 - 274.
- Sharifi, A., & Yamagata, Y. (2015). *Roof ponds as passive heating and cooling systems: A systematic review*. Elsevier.
- Spanaki, A., Tsoutsos, T., & Kolokotsa, D. (2011). *On the selection and design of the proper roof pond variant for passive cooling purposes*. Elsevier.
- Stekelenburg, A., & Hoogervorst, W. (2010). Wateropslagsystemen: een vergelijkende inventarisatie. *Glastuinbouwtechniek*, 10-17.
- The TankShop. (2023, 01 26). *720,000 Litre Galvanised Steel Water Storage Tank (48ft x 15ft)*. thetankshop: <https://thetankshop.co.uk/products/720000-litre-galvanised-steel-water-storage-tank>

Veel meer geld voor energiezuinige investeringen van bedrijven in 2023. (2023, 01 2). Rijksdienst voor Ondernemend Nederland: <https://www.rvo.nl/nieuws/veel-meer-geld-energiezuinige-investeringen-bedrijven-2023>

Wageningen Environmental Research. (2011). *Waterreservoirs op bedrijfsniveau*. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer: <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/waterreservoirs-op-bedrijfsniveau>

Wageningen Environmental Research. (2018, Februari). *Waterreservoirs op bedrijfsniveau*. STOWA. Stowa.

Wani, C., Ghodke, S., Shrivastava, C., & Student, M. T. (2012). *Wani, C., Ghodke, S., Shrivastava, C., & Student, M.T. (2012). A Review on Potential of Maisotsenko Cycle in Energy Saving Applications Using Evaporative Cooling.*

Wanphen, S., & Nagano, K. (2009). Experimental study of the performance of porous materials to moderate the roof surface temperature by its evaporative cooling effect. *Building and Environment*, 338-351.

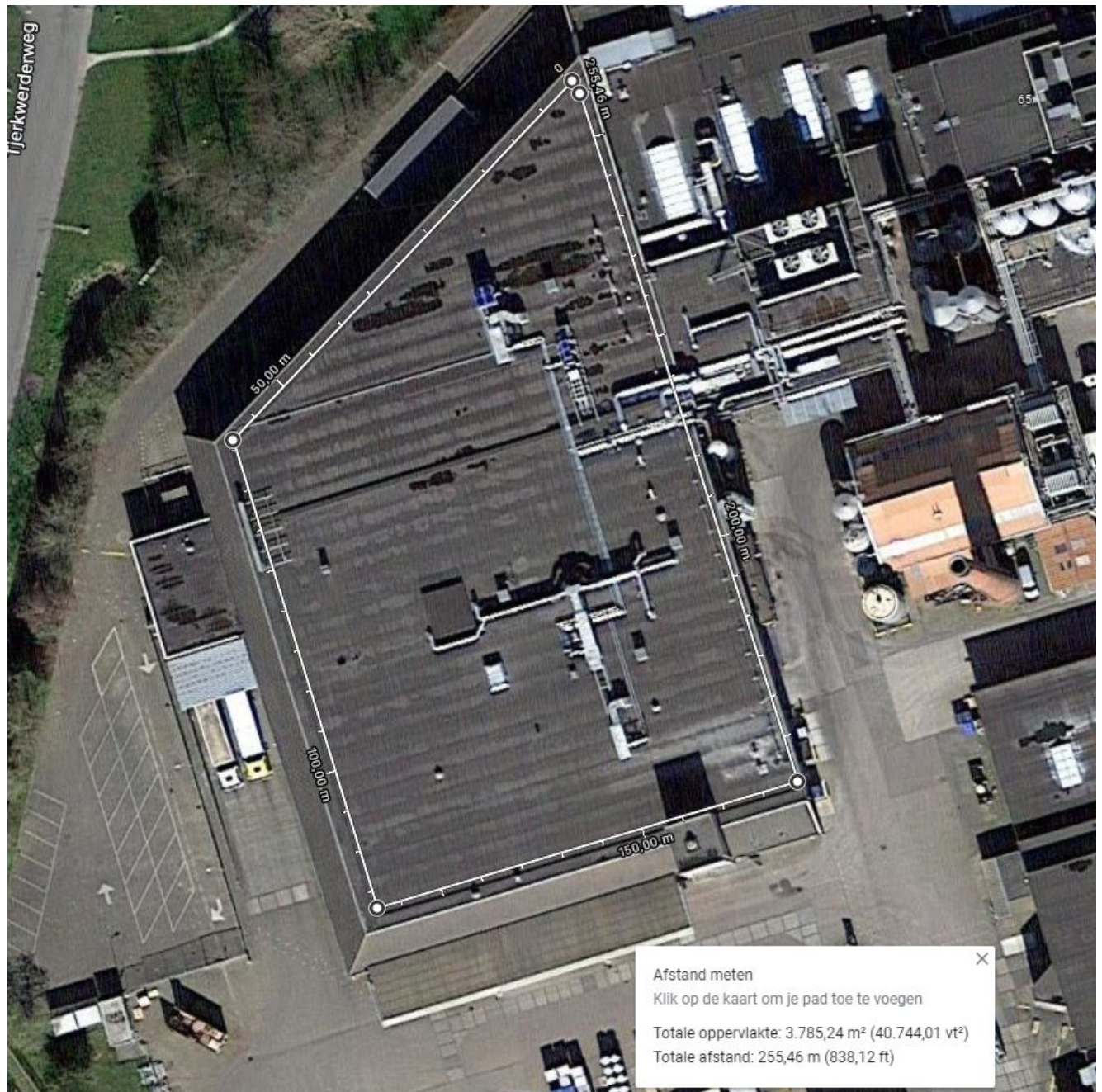
Yifan Yang, G. C. (2019). Developments in evaporative cooling and enhanced evaporative cooling - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113.

Zhang, H., Tao, Y., Zhang, G., Tam, V., Fan, C., & Shi, L. (2022). Ventilation performance of solar chimney integrated into a multi-storey building. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*.

Bijlage II: Dakoppervlaktes voor de toepassing van het dak-sproeisysteem



Figuur 13: Dakoppervlakte van de blikfabriek van de fabriek. (Google, 2022)

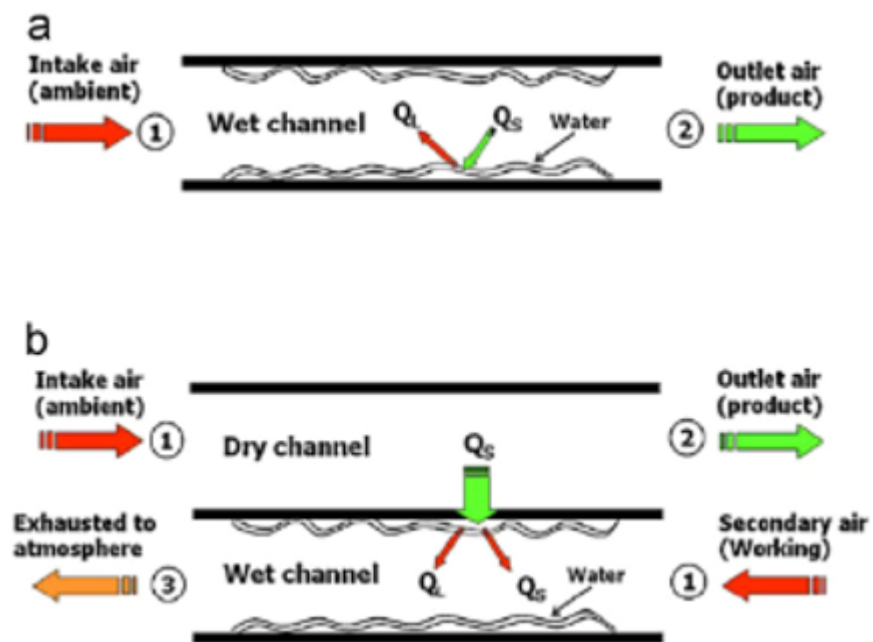


Figuur 14: Dakoppervlakte van de vulfabriek en opslag van de fabriek. (Google, 2022)



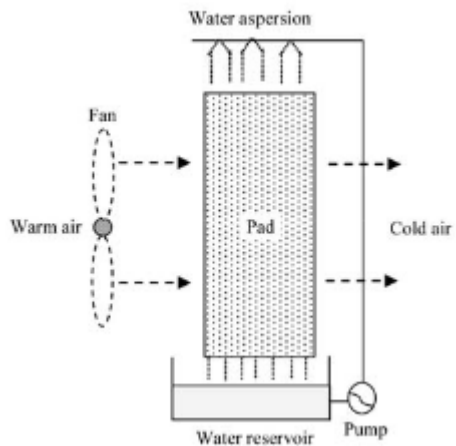
Figuur 15: Dakoppervlakte van de kantoorruimte en bijeenkomstruimtes van de fabriek. (Google, 2022)

Bijlage III: Concept van directe en indirecte evaporatieve koeling

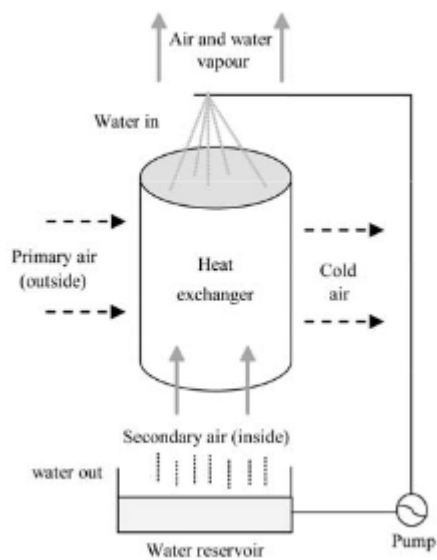


Figuur 16: Het concept van directe en indirecte evaporatieve koeling. a = directe evaporatieve koeling, b = indirecte evaporatieve koeling ((Riangvilaikul & Kumar, 2010)

Bijlage IV: Mogelijke configuraties voor een direct- en indirect evaporatief koelsysteem



Figuur 17: Mogelijke configuratie voor een direct evaporatief koelsysteem (Misra & Ghosh, 2017)



Figuur 18: Mogelijke configuratie voor een indirect evaporatief koelsysteem (Misra & Ghosh, 2017)

Bijlage V: Overzicht van de verschillende gebruiksfuncties in de fabriek



Figuur 19: Overzicht van de verschillende gebruiksfuncties in de fabriek

Bijlage VI: Programma van eisen van het concept waterdak

Tabel 10: Programma van eisen van het concept waterdak

Must have's	Lichte dak belasting
	Geen extra risico op het aantrekken van ongedierte
	Koelend vermogen opleveren
	Gebruikmaken van regenwater
	Gebruikmaken van regenwater
	Max budget van € 500.000,- (= 10% v.h. jaarlijks investeringsbudget)
Should have's	Geen legionella
Could have's	Subsidiemogelijkheden
	Albedo coating
Won't have's	Installeringsplan
	Maatregel(en) realiseren
	Subsidieaanvraag regelen
	Verwerking EED

Bijlage VII: Berekeningen & parameters toepasbaarheidsonderzoek

Berekening 1: Beschikbare hoeveelheid m³ regenwater voor opslag via het dak gedurende 1 jaar

$$(W_r \times DO_t)/1000 =$$

$$(872,54 \times 16.571,0)/1000 = 14.458,14$$

Berekening 2: Benodigde hoeveelheid m³ regenwater voor het DSS gedurende 1 jaar

$$V_h \times DO_k \times D_k =$$

$$0,0035 \times 13.059,0 \times 45,0 = 2056,79$$

Berekening 3: Hoeveelheid m³ regenwater dat op het dak van de fabriek valt per dag, bij een zware regenbui

$$(W_{zr} \times DO_t)/1000 =$$

$$(50,0 \times 16.571,0)/1000 = 828,55$$

Verdamping van water berekenen

Windsnelheid: m/s of

Buitemtemperatuur: graden Celsius

Luchtvochtigheid: %

Aantal zonuren per dag: uur/dag

Ik wil het antwoord in decimalen.

Wanneer er sprake is van een meer (grote hoeveelheden water, dan is de verdamping (lake evaporation))

mm/dag

Wanneer er sprake is van een vat (kleine hoeveelheden water, dan is de verdamping (pan evaporation))

mm/dag

[Click hier om de gevoels temperatuur te berekenen](#)

Figuur 20: Resultaat en input van het rekenmodel voor de verdampingshoogte in een kleine hoeveelheid water, parameters zijn afkomstig uit Tabel 11. (Lenntech, 2022)

$$E_p = 25.4 \frac{e^{\left(\left(\frac{9}{5} T_a - 180 \right) (.1204 - .01066 \ln(R)) \right) - .0001 + .025 (e_s - e_a) .88 (.37 + .0041 v)}}{\left(\frac{-7482.6}{\frac{9}{5} T_a + 430.36} \right) \cdot .025 + .6855400000 \cdot 10^{11} \frac{e^{\left(\frac{-7482.6}{\frac{9}{5} T_a + 430.36} \right)}}{\left(\frac{9}{5} T_a + 430.36 \right)^2}}$$

Figuur 21: Gebruikte formule in het online rekenmodel voor de verdampingshoogte in Figuur 2 (Lenntech, 2022)

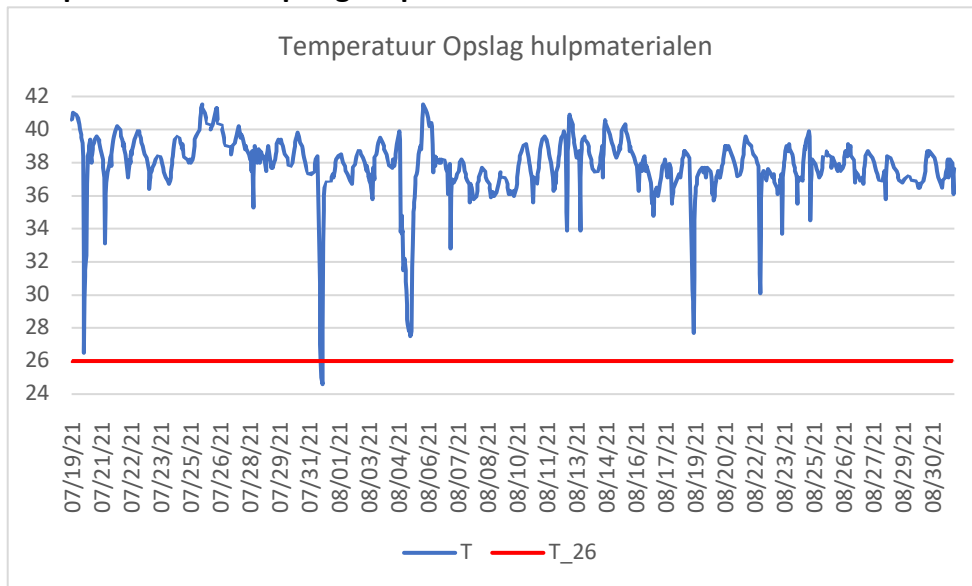
Tabel 11: Parameters en waarden voor de gebruikte berekeningen

Parameter	Waarde	Bron
Buitentemperatuur T_b (in $^{\circ}\text{C}$)	35,0	Meetrapport van de fabriek in het grasveld naast de fabriek
Windsnelheid S_w (in m/s)	4,13	Gemiddelde windsnelheid per etmaal, van 1 Juni tot 15 september, in Leeuwarden van de afgelopen 5 jaar (KNMI, 2022)
Regenwater W_r (in L/m^2)	872,54	Gemiddelde regenval per jaar in Sneek van de afgelopen 5 jaar (KNMI, 2022)
Relatieve luchtvochtigheid L_r (in %)	77,57	Gemiddelde relatieve luchtvochtigheid per etmaal, van 1 Juni tot 15 September, in Leeuwarden van de afgelopen 5 jaar (KNMI, 2022)
Zonuren U_z (in uren/dag)	7,43	Gemiddeld aantal zonuren per etmaal, van 1 Juni tot 15 September in Leeuwarden, van de afgelopen 5 jaar (KNMI, 2022)
Te koelen dakoppervlak DO_k (in m^2)	13.059,0	Som van de te koelen dakoppervlaktes van de fabriek, te vinden in Bijlage II (Google, 2022)
Totaal dakoppervlak DO_t (in m^2)	16.571,0	Totale dakoppervlakte van de fabriek voor de opvang van regenwater, te vinden in Bijlage I (Google, 2022)
Verdampingshoogte V_h (in m/dag)	0,0035	Berekend middels online rekenmodel, zie Figuur (Lenntech, 2022)
Te koelen dagen D_k (in dagen/jaar)	45,0	Meetgegevens van de fabriek, waarbij overcapaciteit is meegenomen voor de toekomstbestendigheid i.v.m. hetere zomers
Regenwater zware regenbui (in $\text{liter}/\text{m}^2/\text{dag}$) W_{zr}	50,0	Definitie van het KNMI voor een zware regenbui. Deze waarde is het minimum. (KNMI, sd)

Bijlage VIII: Temperatuur in de fabriek

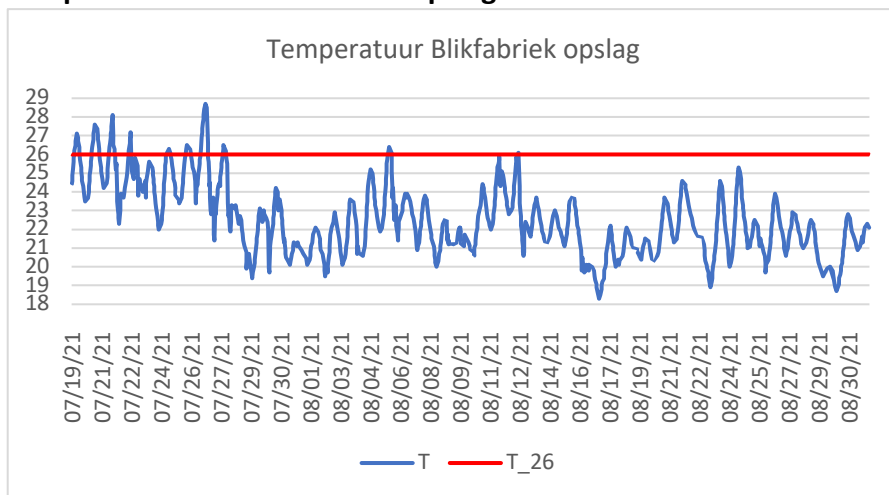
De temperaturen in de binnenruimtes van de fabriek gedurende de periode 19-07-2021 tot en met 30-08-2021 zijn hieronder uiteengezet. Hierbij indiceren de blauwe lijnen de gemeten temperaturen en de rode lijn de temperatuur waarboven hittestress (26 graden Celsius) wordt ervaren. Zie Bijlage V voor de locatie van de desbetreffende ruimtes.

Temperatuur in de Opslag hulpmaterialen



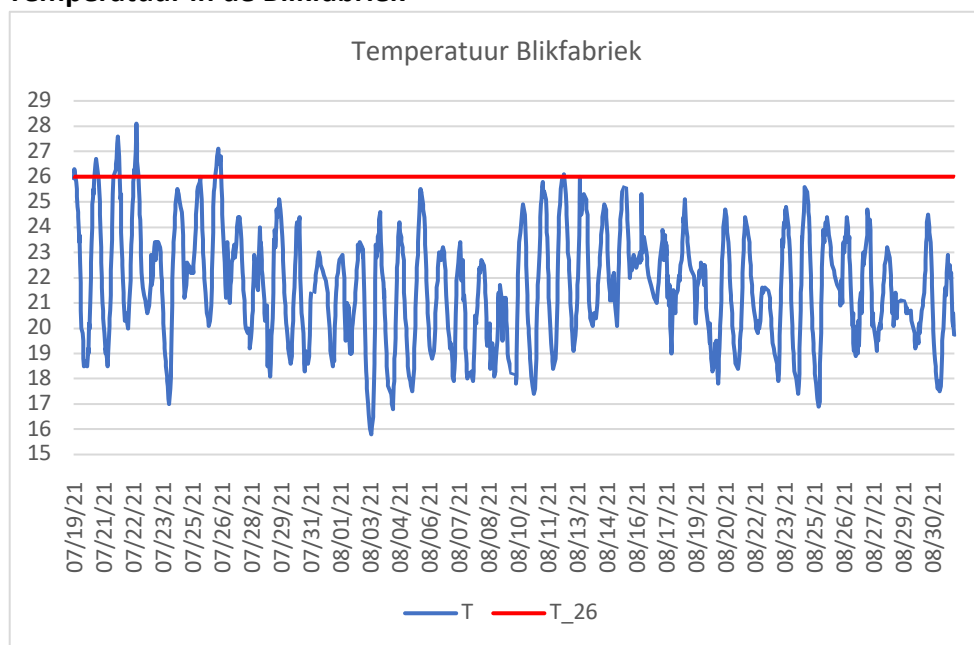
Figuur 22: De gemeten temperatuur in de opslag hulpmaterialen, gedurende de periode 19-07-2021 tot en met 30-08-2021. Hierbij indiceren de blauwe lijnen de gemeten temperaturen en de rode lijn de temperatuur waarboven hittestress (26 graden Celsius) wordt ervaren.

Temperatuur in de Blikfabriek opslag



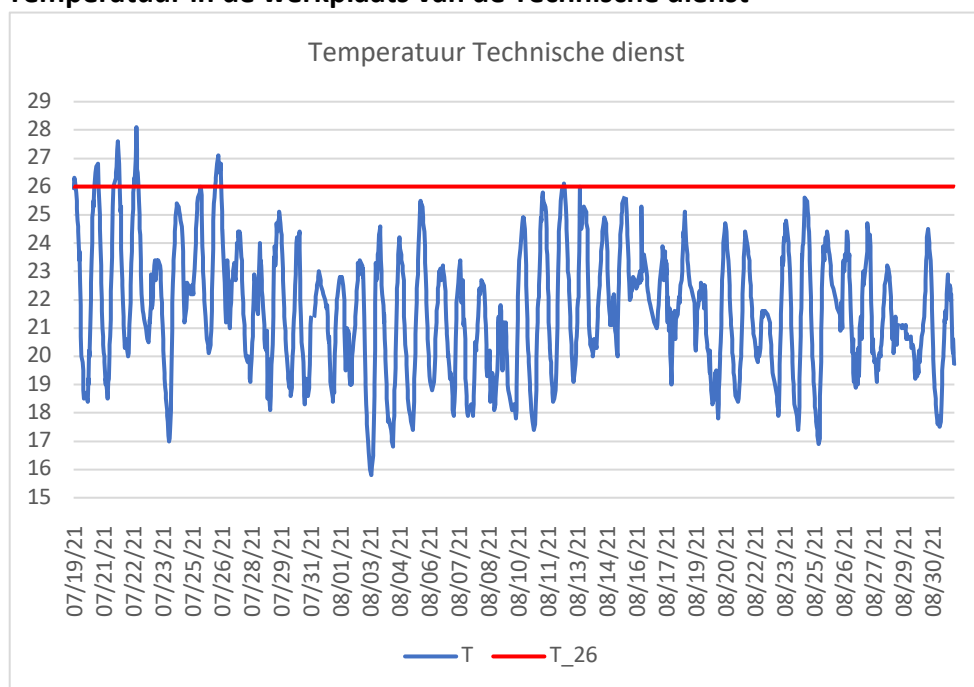
Figuur 23: De gemeten temperatuur in de blikfabriek opslag, gedurende de periode 19-07-2021 tot en met 30-08-2021. Hierbij indiceren de blauwe lijnen de gemeten temperaturen en de rode lijn de temperatuur waarboven hittestress (26 graden Celsius) wordt ervaren.

Temperatuur in de Blikfabriek



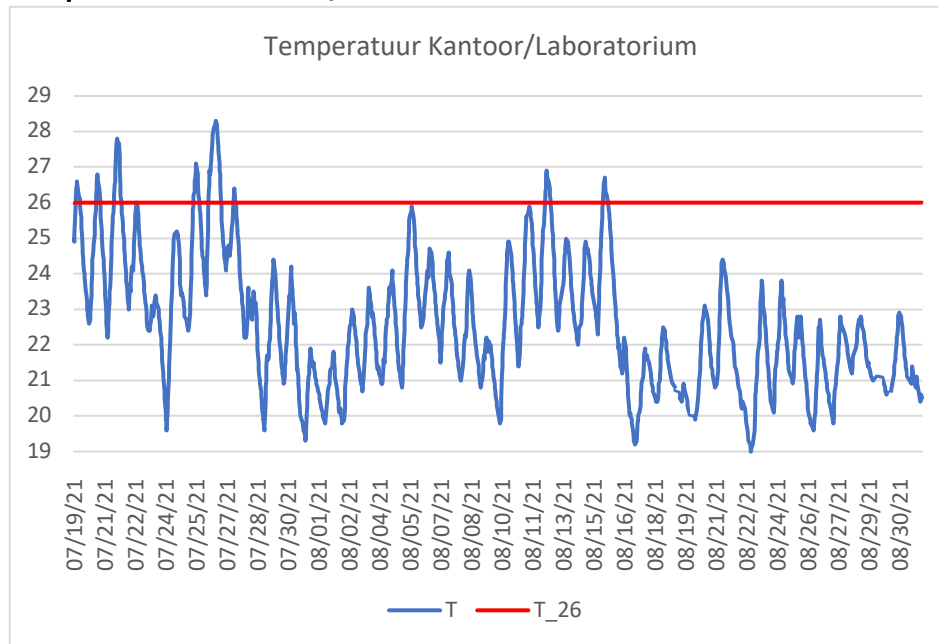
Figuur 24: De gemeten temperatuur in de blikfabriek, gedurende de periode 19-07-2021 tot en met 30-08-2021. Hierbij indiceren de blauwe lijnen de gemeten temperaturen en de rode lijn de temperatuur waarboven hittestress (26 graden Celsius) wordt ervaren.

Temperatuur in de werkplaats van de Technische dienst



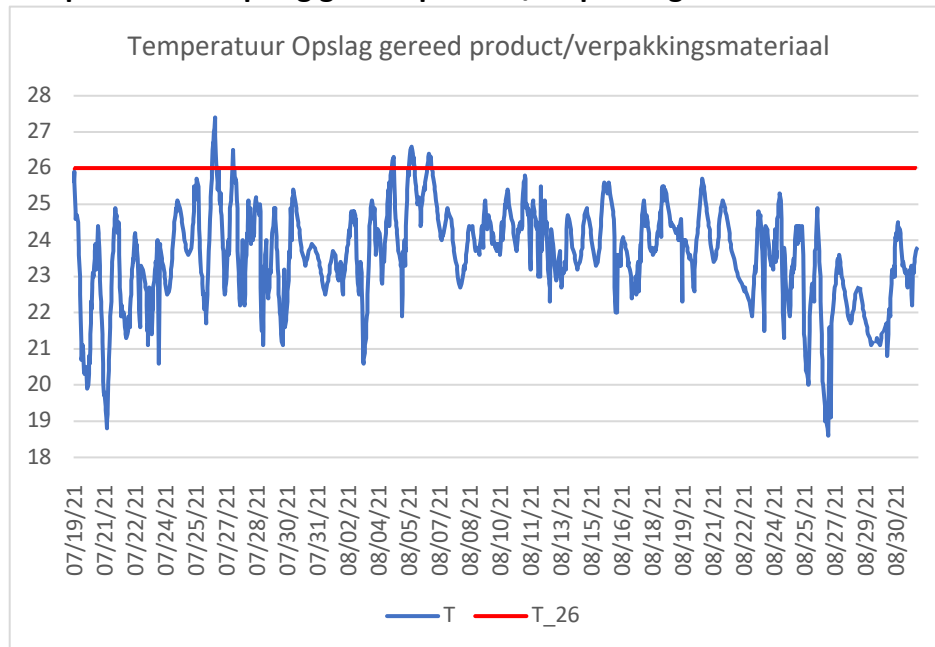
Figuur 25: De gemeten temperatuur in de werkplaats van de technische dienst, gedurende de periode 19-07-2021 tot en met 30-08-2021. Hierbij indiceren de blauwe lijnen de gemeten temperaturen en de rode lijn de temperatuur waarboven hittestress (26 graden Celsius) wordt ervaren.

Temperatuur in Kantoor/Laboratorium



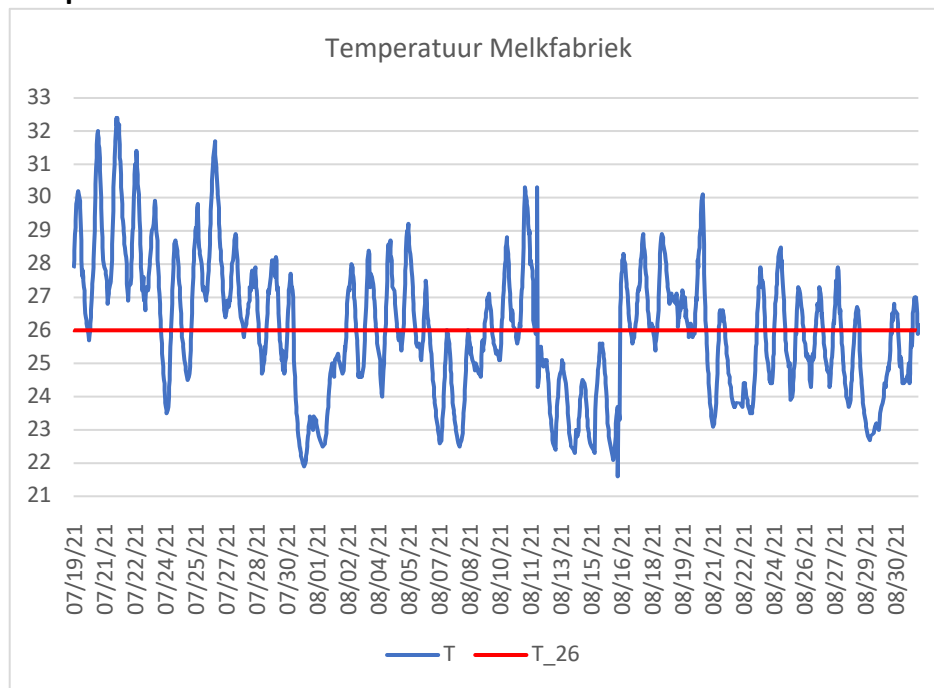
Figuur 26: De gemeten temperatuur in het kantoor/laboratorium, gedurende de periode 19-07-2021 tot en met 30-08-2021. Hierbij indiceren de blauwe lijnen de gemeten temperaturen en de rode lijn de temperatuur waarboven hittestress (26 graden Celsius) wordt ervaren.

Temperatuur in Opslag gereed product/verpakkingsmateriaal



Figuur 27: De gemeten temperatuur in de opslag gereed product/verpakkingsmateriaal, gedurende de periode 19-07-2021 tot en met 30-08-2021. Hierbij indiceren de blauwe lijnen de gemeten temperaturen en de rode lijn de temperatuur waarboven hittestress (26 graden Celsius) wordt ervaren.

Temperatuur in de fabriek



Figuur 28: De gemeten temperatuur in de melkfabriek, gedurende de periode 19-07-2021 tot en met 30-08-2021. Hierbij indiceren de blauwe lijnen de gemeten temperaturen en de rode lijn de temperatuur waarboven hittestress (26 graden Celsius) wordt ervaren.

Bijlage IX: Berekeningen en parameters ontwerp van het DSS

Berekening 4: Aantal zones op het dakoppervlak van de fabriek

$$DO_{koelen}/DO_{zone} = Z$$

$$13.059,0/510,0 \approx 25$$

Berekening 5: Aantal sproeiers op het dak van de fabriek

$$S_{zone} \times Z = S_{systeem}$$

$$14 \times 25 = 350$$

Berekening 6: Tijd per ronde sproeien met het zoneringssysteem

$$T_{sproeien} \times Z = T_{ronde}$$

$$0,5 \times 25 = 12,5$$

Berekening 7: Aantal rondes sproeien per dag met het DSS

$$T_{koelminuten}/T_{ronde} = R$$

$$360/12,5 \approx 29$$

Berekening 8: Waterverbruik per jaar van het DSS

$$R \times T_{zomer} \times WD_{sproeier} \times S_{systeem} = V_{DZ}$$

$$(29 \times 45 \times 1,66 \times 350)/1000 = 752,97$$

Berekening 9: U-waarde voor het platte dak van de fabriek

$$1/R_{dak} = U_{dak}$$

$$1/0,5 = 2$$

Berekening 10: Bespaarde actieve koelenergie door het DSS per dag

$$(T_{koeluren} \times U_{dak} \times DO_{koelen} \times BT_{verschil})/1000 = W_{DSS}$$

$$(6 \times 2 \times 13.059 \times 6)/1000 = 940,25$$

Tabel 12: Parameters en waarden voor de berekeningen in het ontwerp van het DSS

Parameter	Waarde	Bron
Dakoppervlakte per sproeizone DO_{Zone} (in m^2)	510	(Patterson Fan, 2023)
Te koelen dakoppervlak DO_{Koelen} (in m^2)	13.059	Som van de te koelen dakoppervlaktes van de fabriek, te vinden in Bijlage II. (Google, 2022)
Sproeitijd $T_{Sproeien}$ (in min./zone)	0,5	(Patterson Fan, 2023)
Te koelen minuten per dag $T_{Koelminuten}$ (in min./dag)	360	Afgeleid uit Figuur 2: Effect van evaporatieve koeling middels sproeien of bevoeien van water op het dak in vergelijking met een droog dak. , waarbij te zien is dat van 09:00-15:00 koeling benodigd is.
Te koelen uren per dag $T_{Koeluren}$ (in uren/dag)	6	Afgeleid uit Figuur 2: Effect van evaporatieve koeling middels sproeien of bevoeien van water op het dak in vergelijking met een droog dak. , waarbij te zien is dat van 09:00-15:00 koeling benodigd is.
Koelperiode per zomer T_{Zomer} (in dagen/jaar)	45	Meetgegevens van de fabriek, waarbij overcapaciteit is meegenomen voor de toekomstbestendigheid i.v.m. hetere zomers
Sproeiers per zone S_{Zone} (in aantal)	14	Afgelezen van situatieschetsen. (Patterson Fan, 2023)
Water debiet per sproeier $WD_{Sproeier}$ (in liter/ronde)	1,66	Debiet verkregen uit een factsheet van een soortgelijke vernevelingssproeier.
Zones Z (in aantal)	25	Berekening 4 : Aantal zones op het dakoppervlak van de fabriek
Sproeiers totale systeem $S_{Systeem}$ (in aantal)	350	Berekening 5: Aantal sproeiers op het dak van de fabriek
Sproeitijd T_{Rondje} (in min./ronde)	12,5	Berekening 6: Tijd per ronde sproeien met het zoneringssysteem
Rondes R (in aantal/dag)	29	Berekening 7: Aantal rondes sproeien per dag met het DSS
Waterverbruik zoneringssysteem V_{Dz} (in m^3 /koelperiode per zomer)	752,97	Berekening 8: Waterverbruik per jaar van het DSS
Buitentemperatuurverschil DSS $BT_{Verschil}$ (in graden Celsius)	6	Gemiddelde temperatuurverschil tussen een droog dak en een besproeit dak tussen 09:00 en 15:00 in Figuur 2: Effect van evaporatieve koeling middels sproeien of bevoeien van water op het dak in vergelijking met een droog dak.
Rc-waarde platte dak R_{Dak} in ($W/m^2/K$)	0,5	Gemiddelde Rc-waarde voor het platte dak van de fabriek uit Figuur 10.
Bespaarde koelenergie door het DSS W_{DSS} (in kWh)	940	Berekening 10: Bespaarde actieve koelenergie door het DSS per dag

Bijlage X Overzicht kosten verschillende componenten DSS

Tabel 13: Overzicht kosten verschillende componenten DSS

Kosten RWH systeem					
Type opslag	Kosten per stuk	Aantal	Capaciteit in m ³ /per stuk	Kosten totaal	Verkoper
AP50K Aqua Plast XXL	€ 13,420.00	30	50	€ 402,600.00	budgettank.nl
Galvanised Steel Water Storage Tank	£ 16,088.22	2	720	£ 32,176.44	thetankshop.co.uk
Galvanised Steel Water Storage Tank	£ 13,106.61	1	760	£ 13,106.61	thetankshop.co.uk
Galvanised Steel Water Storage Tank	£ 20,933.57	1	1100	£ 20,933.57	thetankshop.co.uk
SL 50000	€ 11,000.00	30	50000	€ 330,000.00	tankgigant.nl
Leidingen					
Leidingen	Kosten per meter	Totaal meters	Diameter in mm	Kosten totaal	Verkoper
PVC-Buis - UV bestendig	€ 6.95	3900	40	€ 27,105.00	techniekwebshop.nl
PVC-Buis - UV bestendig	€ 5.31	3900	32	€ 20,709.00	techniekwebshop.nl
Koppelstukken					
Koppelstukken	Kosten per stuk/meter	Totaal aantal	Grote in mm	Kosten totaal	
Bonfix Aftapplug	€ 3.25	350	6.35	€ 1,137.50	leidingshop.nl
Etesia Aftapplug	€ 10.78	350	-	€ 3,773.00	techniekwebshop.nl
Magneetventiel CM-DA	€ 30.47	25	6.35	€ 761.75	tameson.nl
Rain Bird magneetklep	€ 21.95	25	-	€ 548.75	leidingshop.nl
Sproeistuk DAN-8991 200ltr-bl	€ 6.70	280	14	€ 1,876.00	stmiddelkoop.nl
Filters					
Filters	Kosten	Opp. Filter in m2	Aantal	Kosten totaal	Verkoper
Rainwater Harvesting Kit C	£ 777.00	800	2	£ 1,554.00	thetankshop.co.uk
Controller, thermostaat en pomp					
Controller, thermostaat en pomp	Kosten	Totaal aantal		Kosten totaal	Verkoper
Protherm Pro water controller PRO.2	€ 358.00	1		€ 358.00	plieger.nl
Proportionele PWM controller	€ 271.37	1		€ 271.37	tameson.nl
H-Tronic HTS 1000 Temperatuurschakelaar	€ 57.99	1		€ 57.99	Conrad.nl
DAB Jet 300 M	€ 499.00	1		€ 499.00	Waterpompshop.nl