

Van Mourik Broekmanweg 6
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T 015 276 30 00
F 015 276 30 16

TNO-rapport

97-CON-R1702

**Energie-geïntegreerd ontwerpen van
tuinbouwkassen**

Datum	16 juni 1998
Auteur(s)	Ir. H.D.M. Kool Ir. I.J.J. van Straalen Ing. H. 't Hart Ir. J. Oldengarm
Aantal pagina's	171
Aantal bijlagen	5
Opdrachtgever	NOVEM, Landbouwschap, STOREKA, Ministerie van Economische Zaken
Projectnaam	Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen
Projectnummer	07.21.4.1681

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksoopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 1998 TNO

VOORWOORD

Om het energieverbruik van en de lichttoetreding in een tuinbouwkas te kunnen beoordelen en daardoor de energie-efficiency te vergroten, is door TNO Bouw, Kernactiviteit Agro Structures (K.A.S.) in opdracht van het Landbouwschap, NOVEM en de stichting STOREKA, het project "Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen" uitgevoerd. De looptijd van dit project is november 1995 tot en met juni 1998.

In voorliggend rapport is een samenvatting van het project gegeven en zijn de rapportages over de vier onderzochte energie-indicatoren gebundeld.

INHOUDSOPGAVE

	VOORWOORD	2
	SAMENVATTING	4
DEEL I	LICHTDOORLATENDHEID, TNO Bouw rapport 96-CON-R1584/2	
DEEL II	VENTILATIECAPACITEIT, TNO Bouw rapport 97-CON-R1535/1	
DEEL III	PRODUCTIE-ENERGIE, TNO Bouw rapport 96-CON-R1585/2	
DEEL IV	ENERGIEDICHTHEID, TNO Bouw rapport 96-BBI-R1181 en 96-BBI-R1180	

SAMENVATTING

Probleem en doelstelling

Het probleem is dat de tuinders bij hun keuze voor kasttype, kasafmetingen, kasonderdelen en kasmaterialen (zoals dit in de praktijk gebeurt met CASTA/Kassenbouw) geen objectieve informatie ter beschikking hebben om de consequenties van hun keuzes voor het energie-verbruik van en lichttoetreding in hun tuinbouwkas te beoordelen.

De doelstelling van het project "Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen" is het ontwikkelen van objectieve energie-indicatoren ter ondersteuning van de tuinders bij hun keuzes en de implementatie van deze indicatoren in de ontwerpmethodiek CASTA/Kassenbouw van nieuwe tuinbouwkassen. Concreet gaat het hierbij om de energie-indicatoren lichtdoorlatendheid, ventilatiecapaciteit, productie-energie en energiedichtheid. De afgeleide doelstellingen liggen op het vlak van:

- energiebesparing, absoluut en relatief;
- vergroting van het energiebewustzijn bij het aanschaffen van een tuinbouwkas;
- stimulering van de ontwikkeling van energieuinige tuinbouwkassen;
- efficiëntere benutting van de grondstoffen;
- ontwikkeling van een objectieve standaardmethode voor de numerieke bepaling van de lichtdoorlatendheid, de energiedichtheid de ventilatiecapaciteit en de energie benodigd voor de productie van huidige en nieuwe kasdek- en gevelsystemen.

Voor elk van de vier energie-indicatoren zijn rekenregels opgesteld waarmee de energie-huishouding van een gegeven tuinbouwkas kwantitatief kan worden beoordeeld.

Lichtdoorlatendheid

De lichtdoorlatendheid van een tuinbouwkas is een belangrijke parameter, die een directe relatie heeft met de gewasopbrengst. Een vuistregel is dat bij een toename van de lichtdoorlatendheid van 1 % de opbrengst van het gewas met 1 % toeneemt. Een grotere lichtdoorlatendheid van een tuinbouwkas is gunstig voor de energie-huishouding, omdat de meer-opbrengst van het gewas wordt gerealiseerd zonder toename van het energie-verbruik.

In het project is de door DLV ontwikkelde methode voor het berekenen van de lichtdoorlatendheid van tuinbouwkassen verder verfijnd. De methode is zodanig aangepast, dat deze voor meerdere kasttypen toe te passen is. Tevens is het mogelijk om elk willekeurig constructiedeel (ingewikkelde profielvormen, beluchttingsmechaniek, schermingsmechaniek en verwarmingspijpen) mee te modelleren en een eventuele onderlinge schaduwwerking te verdisconteren. Verder zijn de methode en het Excell rekenprogramma op details verfijnd, hetgeen tot nauwkeuriger resultaten leidt. Voor een zevental nieuw gebouwde tuinbouwkassen is aangetoond dat de rekenmethode goed overeenkomt met op locatie gemeten waarden.

Ventilatiecapaciteit

De ventilatiecapaciteit van een tuinbouwkas heeft een directe relatie met de energie-huishouding. Voor de gewassen verbouwd in tuinbouwkassen is een bepaalde mate van ventilatie zondermeer noodzakelijk. Het is echter uitermate complex om deze ventilatie te karakteriseren. Toch is het gewenst om bij het optimaliseren van de energie-huishouding van een tuinbouwkas een eenduidige parameter voor de ventilatie-capaciteit te hanteren.

De methode die in het project wordt gehanteerd om de ventilatie-capaciteit van een tuinbouwkas te berekenen, is gebaseerd op de meest recente internationale ontwikkelingen. Ondanks de beperkingen van deze methode zal deze in combinatie met praktijkervaringen bijdragen aan het energie-bewust ontwerpen van tuinbouwkassen.

Productie-energie

De keuze voor een bepaald type tuinbouwkas heeft niet alleen invloed op het energieverbruik gedurende de gebruiksfase, maar ook op de hoeveelheid energie benodigd voor de productie van de in de tuinbouwkas verwerkte materialen. Om een beter inzicht te verkrijgen in het aandeel van deze productie-energie in de totale energie-huishouding van een tuinbouwkas, zal deze moeten worden gekwantificeerd.

In het project is een methode opgezet voor de berekening van de energie benodigd voor de productie van de materialen verwerkt in een tuinbouwkas. Met deze methode kunnen zowel Venlo-warenhuizen als breedkapkassen worden doorgerekend. Tevens wordt ingegaan op de aan te houden waarden voor de energie-inhoud van in tuinbouwkassen toegepaste materialen. Uit oriënterende berekeningen blijkt echter dat het aandeel van de productie-energie ten opzicht van het totale energieverbruik gedurende de gebruiksfase gering is.

Energiedichtheid

Een belangrijke parameter bij de bepaling van de energie-huishouding van een tuinbouwkas is de warmtedoorgangscoefficiënt van het kasdek. Deze parameter aangeduid als de U-waarde (voorheen k-waarde) van het kasdek, bepaalt de hoeveelheid energie die door het dek middels straling en convection naar buiten toe wordt afgegeven. Om tot een goede vergelijking van verschillende uitvoeringen van kasdekken te komen, is het noodzakelijk de energiedichtheid zo goed mogelijk te bepalen.

De in het project ontwikkelde methode tracht de effecten van straling en convection zo realistisch mogelijk in rekening te brengen. De methode is een uitbreiding en verbetering van NEN 2697 "Berekeningsmethode voor de warmtedoorgangscoefficiënt van enkel- en isolerend dubbelglas in de glastuinbouw". Naast de bepaling van de warmtedoorgangscoefficiënt van het glas, zijn ook rekenregels afgeleid voor willekeurige profielen. Daarbij is tevens de invloed van de oriëntatie van het profiel in het dek meegenomen. Uiteindelijk combineert de methode de resultaten voor het glas en de profielen om tot de U-waarde van het totale dek te komen.

Implementatie in CASTA/Kassenbouw en kennisoverdracht

Om de rekenmethoden voor het bepalen van de vier energie-indicatoren voor de praktijk toegankelijk te maken, zijn deze in het computerprogramma CASTA/Kassenbouw geïmplementeerd. Daartoe is een nieuwe data-structuur ontworpen, zijn diverse nieuwe routines ontwikkeld en is een aangepaste gebruikersvriendelijke schermbesturing opgezet. Het is nu mogelijk om met CASTA/Kassenbouw voor een gegeven tuinbouwkas de waarden voor de bijbehorende vier energie-indicatoren op eenvoudige wijze te berekenen.

De waarden van de lichtdoorlatendheid van verschillende op de markt zijnde deksystemen zijn in een databestand opgenomen. Tevens is het daarbij mogelijk de invloed van schermingsystemen mee te nemen. Voor de gekozen onderbouw wordt nog de lichtonderschepping op zich berekend. Uiteindelijk geeft CASTA/Kassenbouw de totale lichtdoorlatendheid van de tuinbouwkas.

Om de ventilatie-capaciteit van een tuinbouwkas te berekenen, moet de grootte en het aantal luchtingsramen worden opgegeven. Mede op basis van deze gegevens geeft CASTA/Kassenbouw de ventilatie-capaciteit van de tuinbouwkas.

Als resultaat van de toetsing van de constructie van een tuinbouwkas berekent CASTA/Kassenbouw de gewichten van alle toegepaste onderdelen van de onderbouw. De gewichten van de onderdelen van verschillende op de markt zijnde deksystemen zijn in een databestand opgenomen. Met de in een databestand opgenomen energie-inhouden van toegepaste materialen, wordt de totale productie-energie van de tuinbouwkas berekend.

De waarden van de energiedichtheid van verschillende op de markt zijnde deksystemen zijn in een databestand opgenomen. Deze zijn gebaseerd op de resultaten van analyses uitgevoerd met de in het project ontwikkelde MatchCad-applicatie. Op eenvoudige wijze kunnen de gegevens voor nieuwe deksystemen aan het databestand worden toegevoegd.

De output van CASTA/Kassenbouw is uitermate geschikt om de energie-huishouding van en lichttoetreding in een tuinbouwkas te beoordelen. Op grond van de berekende waarden voor de vier energie-indicatoren kunnen verschillende kassystemen onderling worden vergeleken. Tevens is het mogelijk om tot een in energie-technisch opzicht optimale indeling van de kasconstructie te komen. Daarnaast kunnen de waarden worden gebruikt als realistische invoerparameters van diverse andere rekenprogramma's die het gasgebruik van een tuinbouwkas op jaarbasis berekenen. Geconcludeerd kan worden dat CASTA/Kassenbouw nu objectieve informatie geeft waarmee de tuinders de consequenties van hun keuzes voor het energie-verbruik van en lichttoetreding in hun tuinbouwkas kunnen beoordelen.

De kennis die in het kader van het project is opgedaan, wordt met het verschijnen van CASTA/Kassenbouw 2.00 voor de markt toegankelijk. Om de gebruikers en overige marktpartijen van de mogelijkheden van de vier ontwikkelde energie-indicatoren op de hoogte te stellen zal er een brochure beschikbaar komen en wordt er een seminar georganiseerd. Deze kennisoverdracht zal tezamen met CASTA/Kassenbouw 2.00 een belangrijke bijdrage leveren aan het energiebewuster ontwerpen van nieuwe tuinbouwkassen.

DEEL I LICHTDOORLATENDHEID

TNO-rapport
96-CON-R1584/2

BESCHRIJVING VAN DE METHODE VOOR HET BEREKENEN VAN DE LICHTDOORLATENDHEID VAN KASSEN

TNO Bouw

Datum 16 juni 1998

Auteur(s) ing. H. 't Hart
ir. IJ.J. van Straalen

Lange Kleiweg 5, Rijswijk
Postbus 49
2600 AA Delft

Telefoon 015 284 20 00
Fax 015 284 39 90

Bijdragegevers:
NOVEM, Landbouwschap, STOREKA,
Ministerie van Economische Zaken

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onder-
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

Projectnaam: Energie-geïntegreerd
ontwerpen van tuinbouwkasse
Projectnr. : 06.21.4.7228 / 06.21.8.7242

Pagina's : 53
Tabellen : 1
Figuren : -
Bijlagen : 4

1998

Thema : Energie
WP-onderwerp : 221/569 Kernactiviteit Agro Structures (KAS)
Trefwoord(en): Kassenbouw, lichtdoorlatendheid

VOORWOORD

Tot op heden hebben tuinders bij hun keuze voor kastype, kasafmetingen, kasonderdelen en kasmaterialen (zoals dit in de praktijk gebeurt met CASTA/Kassenbouw) het probleem, dat zij geen objectieve informatie ter beschikking hebben om de consequenties van hun keuzes voor het energieverbruik van en lichttoetreding in hun kas te beoordelen. Om hierin verandering te brengen wordt door TNO Bouw, Kernactiviteit Agro Structures (K.A.S.) in opdracht van het Landbouwschap, de NOVEM en de stichting STOREKA, het project "Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen" uitgevoerd. De looptijd van dit project is november 1995 tot en met juni 1998.

De doelstelling van het project "Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen" is het ontwikkelen van objectieve energie-indicatoren ter ondersteuning van de tuinders bij hun keuzes en de implementatie van deze indicatoren in de ontwerpmethodiek CASTA/Kassenbouw van nieuwe kassen. Concreet gaat het hierbij om de energie-indicatoren lichtdoorlatendheid, ventilatiecapaciteit, productie-energie en energiedichtheid. De afgeleide doelstellingen liggen op het vlak van:

- energiebesparing, absoluut en relatief;
- vergroting van het energiebewustzijn bij het aanschaffen van een kas;
- stimulering van de ontwikkeling van energiezuinige kassen;
- efficiëntere benutting van de grondstoffen;
- ontwikkeling van een objectieve standaardmethode voor de numerieke bepaling van de lichtdoorlatendheid, de energiedichtheid, de ventilatiecapaciteit en energie benodigd voor de productie van huidige en nieuwe kasdek- en gevelsystemen.

In voorliggend rapport wordt een uiteenzetting gegeven van de methodiek voor het berekenen van de lichtdoorlatendheid van kassen. De door DLV opgestelde oorspronkelijke methodiek is in opdracht van en in nauwe samenwerking met TNO Bouw, door DLV veralgemeniseerd en verfijnd. Het nieuwe (Excell-)programma is geverifieerd aan lichtmetingen uit de praktijk en in voorliggend rapport zijn een aantal voorbeeldberekeningen ter illustratie toegevoegd.

INHOUDSOPGAVE

	VOORWOORD	2
	INHOUDSOPGAVE	3
1	INLEIDING	4
2	OVERZICHT BESTAANDE METHODEN TER BEPALING LICHTDOORLATENDHEID	5
2.1	In de literatuur beschreven methoden	5
2.2	Beoordeling	5
2.3	Oorspronkelijke DLV programma	6
3	BESCHRIJVING AANGEPASTE METHODE TER BEPALING VAN DE LICHT- DOORLATENDHEID	7
3.1	Uitbreiding van de methode	7
3.2	Verfijning van de rekentechniek	7
3.3	Overzicht rekenregels	7
3.4	Voorbeeld en gebruikershandleiding	8
4	VERGELIJKING VAN REKENMETHODE MET PRAKTIJKMETINGEN	9
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	10
	REFERENTIES	11
BIJLAGE A: Berekening lichttransmissie van kassen volgens de methode opgezet door DLV		
BIJLAGE B: Formule voor onder elkaar liggende profielen		
BIJLAGE C: Voorbeeldberekening Entex Venlo-warenhuis		
BIJLAGE D: Gebruikershandleiding		

1 INLEIDING

De lichtdoorlatendheid van een kas is een belangrijke parameter, die een directe relatie heeft met de gewasopbrengst. Een vuistregel die in de praktijk van de glastuinbouw nogal eens wordt gehanteerd is dat de bij een toename van de lichtdoorlatendheid van 1 % ook de opbrengst van het gewas met 1 % toeneemt. Het is dan ook niet zo vreemd dat er bij het optimaliseren van een kas dit één van de belangrijkste parameters is die in beschouwing wordt genomen.

Om kassen met verschillende opbouw of van een ander type, objectief met elkaar te kunnen vergelijken, is het wenselijk dat er een eenvoudige rekenmethode voorhanden is waarmee de lichtdoorlatendheid eenduidig kan worden berekend. Daartoe heeft DLV [1] in 1993 op basis van in de literatuur beschreven methoden, inclusief enige aanpassingen, een rekenprogramma opgesteld.

In nauwe samenwerking met TNO Bouw, Kernactiviteit Agro Structures (K.A.S.) is door DLV de methode veralgemeniseerd voor meerdere kastypen (bijvoorbeeld Venlowarenhuis en Breedkapkas) en verfijnd [2]. In dit rapport is een beschrijving van de resulterende rekenmethode gegeven.

In hoofdstuk 2 is een overzicht gegeven van methoden zoals deze in de literatuur zijn beschreven en het oorspronkelijk door DLV opgestelde rekenprogramma. Hoofdstuk 3 geeft aan op welke punten dit oorspronkelijke programma en achterliggende methode is aangepast. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 een eerste beoordeling van de aangepaste methode gegeven, door voor een aantal praktijksituaties de berekende waarde te vergelijken met metingen uitgevoerd op locatie. Tenslotte worden in hoofdstuk 5 de conclusies opgesomd en worden een aantal aanbevelingen gegeven.

2 OVERZICHT BESTAANDE METHODEN TER BEPALING LICHTDOORLATENDHEID

2.1 In de literatuur beschreven methoden

In de literatuur zijn een drietal methoden beschreven [3], [4] en [5,6], voor de bepaling van de lichtdoorlatendheid van een kas. Bot [3] bepaald de lichtdoorlatendheid voor direct licht. Bij deze methode wordt elk constructiedeel als trapezium gemodelleerd. De hoek van instraling wordt als parameter meegenomen en er wordt aangenomen dat verticale delen van het constructiedeel geen licht reflecteren. Het is mogelijk om ook voor diffuus licht de lichtdoorlatendheid te bepalen, door een integratie uit te voeren voor alle hoeken van instraling. De lichtdoorlatendheid van de totale kas wordt bepaald door de lichtdoorlatendheid van de nokken, de roeden, goten en eventuele andere profielen van het kasdek te reduceren met de lichtdoorlatendheid van het glas.

Critten [4] bepaald de lichtdoorlatendheid voor zowel direct als diffuus licht. Elk constructieonderdeel wordt als één of meerdere cilinders gemodelleerd. Ook bij deze methode wordt ervan uitgegaan dat verticale delen van het constructieonderdeel geen licht reflecteren.

Kieboom [5] en Stoffers [6] bepalen de lichtdoorlatendheid voor zowel direct als diffuus licht. Een constructieonderdeel wordt als trapezium, rechthoek of cirkel gemodelleerd. Bij deze methode wordt ervan uitgegaan dat de verticale delen van het constructieonderdeel licht kan reflecteren. De bepaling lichtdoorlatendheid van de totale kas vindt op overeenkomstige wijze plaats als beschreven door Bot [3].

2.2 Beoordeling

De methode beschreven door Bot [3] houdt geen rekening met reflecties op de constructieonderdelen en verwaarloost het aandeel van een aantal constructieonderdelen in de totale lichtdoorlatendheid. Uit een vergelijking met lichtmetingen van praktijksituaties [1] blijkt dat de methode niet erg nauwkeurig is.

Een zelfde conclusie kan worden getrokken voor de methode beschreven door Critten [4]. Dit wordt mede veroorzaakt door de keuze om elk constructiedeel te modelleren tot een cilinder.

Ook met betrekking tot de methode van Kieboom [5] wordt in [1] aangetoond dat deze methode onvolkomenheden heeft. Toch heeft DLV ervoor gekozen om deze methode als uitgangspunt van haar programma [1] te kiezen. Dit, omdat de methode voor de situatie met diffuus licht geschikt is en omdat er rekening wordt gehouden met het reflecterende vermogen van constructiedelen.

2.3 Oorspronkelijke DLV programma

Zoals in de voorgaande paragraaf is aangegeven gaat het DLV programma uit van de methode beschreven door Kieboom [5]. Er zijn echter wel een aantal aanpassingen aangebracht. Zo is er een zgn. lichtverdelingsfactor ingevoerd, die een maat is voor de verhouding tussen de hoeveelheid licht die op een verticaal vlak valt en de hoeveelheid licht die op een horizontaal vlak valt. Tevens is een zgn. vormfactor ingevoerd, die een maat is voor de reductie van het reflecterende vermogen van een "holte" in de doorsnede. Om de berekening nauwkeuriger te maken is ervoor gekozen om een constructiedeel (zo mogelijk) te modelleren als een gelaagde opbouw van meerdere trapeziums. Per constructiedeel is het mogelijk om de reflectiewaarden aan te geven. De gebruikte formules zijn in [1] gegeven.

3 BESCHRIJVING AANGEPASTE METHODE TER BEPALING VAN DE LICHT- DOORLATENDHEID

3.1 Uitbreiding van de methode

Op de volgende punten is de oorspronkelijke methode [1] uitgebreid:

- De methode is zodanig veralgemeniseerd, dat het nu ook mogelijk is om constructiedelen die verdraaid zijn ten opzicht van het horizontale vlak, in de analyse mee te nemen. Hierbij is bijvoorbeeld te denken aan dwarsdragers in het dek van een Breedkapkas.
- De methode is zodanig veralgemeniseerd, dat het nu ook mogelijk is om a-symmetrische profielen en profielen met afdekprofielen van een ander materiaal in de analyse mee te nemen.
- De berekening van de lichtdoorlatendheid van zogenaamde open profielen (C-, U- en Σ -profielen) is aan het rekenmodel toegevoegd.
- De methode is uitgebreid voor onder elkaar liggende profielen, waarbij de onderste door de bovenste wordt afgeschermd. Er wordt dus rekening gehouden hoeveel licht er op een profiel kan vallen.
- Tevens wordt rekening gehouden met de invloed van de dekhelling.
- Ter ondersteuning van het gebruikersgemak is een grafische weergave van het ingevoerde profiel toegevoegd.

3.2 Verfijning van de rekentechniek

Op verschillende punten is de rekentechniek zoals dit in het Excell programma is opgenomen ten opzichte van de oorspronkelijke versie [1], verfijnd:

- De oorspronkelijke opzet van het programma was volledig toegespitst op een Venlowarenhuis. Nu is de opzet van het Excell programma zodanig dat ook andere kastypen zoals de Breedkapkas, kunnen worden beschouwd en de gebruiker heeft de vrijheid om nog diverse constructiedelen toe te voegen. Hierbij is bijvoorbeeld te denken aan het mechaniek van de luchtinstallatie, de schermingsinstallatie en verwarmingspijpen.
- Het huidige Excell programma staat toe om een constructiedeel in een groter aantal trapeziums onder te verdelen dan in het oorspronkelijke programma mogelijk was. Hiermee is het mogelijk om de lichtdoorlatendheid nauwkeuriger te berekenen.

3.3 Overzicht rekenregels

In bijlage A is een overzicht gegeven van de gebruikte rekenregels. Voor een nadere toelichting wordt verwezen naar de DLV-rapporten [1] en [2].
Tevens is in bijlage B de formule voor onder elkaar liggende profielen vergeleken met meetwaarden.

3.4 Voorbeeld en gebruikershandleiding

Als voorbeeld is in bijlage C een berekening gegeven voor een Entex Venlowarenhuis. Dit voorbeeld is gebruikt voor de in bijlage D opgenomen handleiding, die de gebruiker wegwijs maakt in het Excell programma.

4 VERGELIJKING VAN REKENMETHODE MET PRAKTIJKMETINGEN

In [1] zijn voor een zevental praktijksituaties de resultaten volgens berekeningen met het Excell programma vergeleken met metingen op locatie. In tabel 1 is een overzicht gegeven.

Tabel 1 - Overzicht vergelijking gemeten waarden lichtdoorlatendheid met gemeten waarden

	Tuinbouwbedrijf	gemeten	berekend
1.	Van Winden - Breedkapkas (lichtdoorlatendheid glas 90,5 %)	71 %	71,5 %
2.	Van Staalduinen - Breedkapkas (lichtdoorlatendheid glas 89,3 % - luchtramen waren 10 cm geopend)	73 %	72,9 %
3.	Van Schie - Breedkapkas (lichtdoorlatendheid glas 89,7 %)	72,4 %	72,9 %
4.	Van Dijk - Breedkapkas (lichtdoorlatendheid glas 90,3 %)	73,4 %	73,6 %
5.	Van Dijk - Breedkapkas (lichtdoorlatendheid glas 91,2 %) - na beglazen: - voor beglazen:	70,5 % 81,8 %	72,9 % 83,7 %
6.	De Koning - Venlowarenhuis (lichtdoorlatendheid glas 91,3 %)	80-81 %	78,2 %
7.	Hooijmans - Venlowarenhuis (lichtdoorlatendheid glas 91,2 % - op de grond wit folie: correctie meet- waarde met 10 %)	79,5 %	78,6 %

Uit tabel 1 blijkt dat voor de meeste praktijksituaties de berekende waarden dicht bij de gemeten waarden liggen. Uitzonderingen hierop vormen de bedrijven 5 en 6. In [2] wordt ervan uitgegaan dat voor bedrijf 5 de meting waarschijnlijk niet goed is. Verder wordt in [2] aangegeven dat bij bedrijf 6 er sprake was van een olie-film op het glas, welke blijkbaar was verwijderd bij het bepalen van de lichtdoorlatendheid van het glas op zich. Geconcludeerd wordt dat de berekeningsresultaten goed overeenkomen met praktijkwaarden.

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De algemene conclusie is dat de verbeterde methode voor de bepaling van de lichtdoorlatendheid van een kas voor een brede toepassing tot nauwkeurige resultaten leidt. De methode is momenteel beschikbaar als een Excell rekenprogramma en zal in CASTA/Kassenbouw worden geïmplementeerd.

Naar aanleiding van deze studie worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- De aan te houden reflectiewaarden van de verschillende materialen zijn momenteel onvoldoende vastgelegd. Mogelijk dat er in de toekomst nauwkeurigere metingen kunnen worden uitgevoerd.
- Ter onderbouwing van het programma is het wenselijk om voor meerdere verschillende situaties metingen in de praktijk uit te voeren.
- Om de mogelijkheden van de methode aan de tuinders, kassenbouwers en toeleveranciers onder ogen te brengen, zal een publicatie in een vakblad van groot nut zijn.

REFERENTIES

- [1] Dijk, ing. G.J. van, 'Berekening lichtdoorlatendheid van kassen', DLV, Naaldwijk, december 1994.
- [2] Dijk, ing. G.J. van, 'Berekening lichttransmissie van kassen', DLV, Naaldwijk, november 1996.
- [3] Bot, G.P.A., 'Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model', 1983.
- [4] Critten, D.L., 'A design guide for calculating light transmission losses in multispans greenhouses and plastic tunnels', Report 53, Bedford, 1987.
- [5] Kieboom, A. van den, 'Stralingseigenschappen van kasbedekkingsmaterialen en kasconstructies', Wageningen, 1984.
- [6] Stoffers, J.A., 'Lichtdoorlatendheid van warenhuizen', Publicatie 14, Wageningen.

BIJLAGE A - BEREKENING LICHTTRANSMISSIE VAN KASSEN VOLGENS
DE METHODE OPGEZET DOOR DLV

Berekening lichttransmissie van kassen volgens methode opgezet door DLV

1. BASIS-INVOWERGEGEVENS:

1.1 Projectomschrijving:

1.2 Definitie van standaard-eenheden:

- Basis eenheden	$\text{mm} \equiv \text{IL}$	$\text{kg} \equiv \text{IM}$	$\text{sec} \equiv \text{IT}$	$\text{rad} \equiv \text{I}$
- Afgeleide eenheden	$\text{N} \equiv \text{kg} \cdot 1000 \cdot \frac{\text{mm}}{\text{sec}^2}$	$\text{degree} \equiv \frac{\pi}{180} \cdot \text{rad}$	$\text{m} \equiv 1000 \cdot \text{mm}$	$\text{kN} \equiv 1000 \cdot \text{N}$ $\text{cm} \equiv 10 \cdot \text{mm}$

2. INVOWERGEGEVENS ALGEMEEN:

2.1 Geometrie van de kas: (Opmerking: Niet alle afmetingen worden gebruikt in berekening.)

- Kolomhoogte	
- Kapbreedte	$b_{\text{kap}} = 12.8 \cdot \text{m}$
- Tralielengte	
- Gootlengte	$l_{\text{goot}} = 4.00 \cdot \text{m}$
- Vakmaat	
- Roede afstand	
- Roede lengte	
- Luchtraamdiepte	
- Luchtraambreedte	
- Dekhelling (graden)	$\alpha = 26.0 \cdot \text{degree}$

2.2 Glas

- Transmissie loodrecht	
- Transmissie diffuus	$T_{\text{md}} = 86.5 \cdot \%$

2.3 Metalen

- Reflectie verzinkt staal (1)	$R_f(\text{metaal}) = \begin{cases} 20. \% & \text{if metaal} = 1 \\ 45. \% & \text{if metaal} = 2 \\ 75. \% & \text{if metaal} = 3 \end{cases}$
- Reflectie aluminium (2)	
- Reflectie witte coating (3)	

2.4 Lichtverdeling

- diffuus	$L_v = 50. \%$
-----------	----------------

3 INVOERGEGEVENS PROFIEL

3.1 Algemeen

- PROFIEL: vakwerkspanten
- Subtitel: onderprofiel
- Materiaal (1,2,3): metaal := 1
- Aantal profielen per kaseenheid: apro := 2.0
- Lengte profiel per kaseenheid: lpro := 7043·mm
- Hoek van het profiel: αpro := 26·degree

- Profiel onder een eerder profiel:

- breedte van het eerdere profiel: bepro := 50·mm
- afstand tot het eerdere profiel: aepro := 450·mm
- bovenbreedte van het profiel: bbpro := 50·mm

- extra schaduw op het profiel:

$$\text{vhepro}(be, bb) := \frac{bb}{be + 0.00001 \cdot \text{mm}}$$

$$\text{Intpol}(be, ae, bb) := \left[19 - \text{vhepro}(be, bb) \dots + \frac{82 - 6 \cdot (\text{vhepro}(be, bb))^3}{\left(1.1 - \frac{\text{vhepro}(be, bb)}{5}\right) \cdot \frac{ae}{be + 0.00001 \cdot \text{mm}}} \right] \cdot 0.01 - 0.01$$

$$\text{Intpol}(be, ae, bb) := \left[(19 - \text{vhepro}(be, bb)) + \frac{82 - 6 \cdot (\text{vhepro}(be, bb))^3}{\frac{ae}{be + 0.00001 \cdot \text{mm}} \cdot \frac{1.1 - \frac{\text{vhepro}(be, bb)}{5}}{e}} \right] \cdot 0.01 - 0.01$$

$$\text{espro}(be, ae, bb) := \text{if}((be + bb) = 0 \cdot \text{mm}, 0, \text{Intpol}(be, ae, bb))$$

- Licht op profiel boven het glas: bgpro := 100·%
- Licht op profiel onder het glas: ogpro := 75·%

3.2 Gegevens i-de trapezium

De doorsnede wordt opgesplitst in een linker- en rechterzijde. Beide zijden worden weer opgesplitst in trapezia.

Linkerzijde trapesium Lt := 1

Profiel Breedte: Hoogte: Vorm factor: Reflectie: Open profiel: Positie t.o.v. glas Relatieve lichtonder-schepping Licht op profiel Absolute lichtonder-schepping

n := 10

boven := 1

i := 1..n

onder := 2

C _{Lt,0} := 0-mm							WORDEN LATER BEPAALD
$\frac{i}{1}$	C _{Lt,i} :=	D _{Lt,i} :=	F _{Lt,i} :=	G _{Lt,i} :=	H _{Lt,i} :=	I _{Lt,i} :=	
1	25-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
2	25-mm	30-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
3	0-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
4	0-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
5	0-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
6	0-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
7	0-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
8	0-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
9	0-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
10	0-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	

hoogte: $\sum_{i=1}^n D_{Lt,i} = 30 \cdot \text{mm}$

Rechterzijde trapesium Rt := 2

C _{Rt,0} := 0-mm							WORDEN LATER BEPAALD
$\frac{i}{1}$	C _{Rt,i} :=	D _{Rt,i} :=	F _{Rt,i} :=	G _{Rt,i} :=	H _{Rt,i} :=	I _{Rt,i} :=	
1	25-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
2	25-mm	30-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
3	0-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
4	0-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
5	0-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
6	0-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
7	0-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
8	0-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
9	0-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	
10	0-mm	0-mm	100-%	Rf(metaal)	0-%	onder	

hoogte: $\sum_{i=1}^n D_{Rt,i} = 30 \cdot \text{mm}$

4 Overzicht berekeningen

4.1 Formules

Invloed hoek van profiel:

lengte zijde

$$W(C, C', D) := \sqrt{D^2 + \left(\frac{2 \cdot C - 2 \cdot C'}{2}\right)^2} + 0.0000000001 \cdot \text{mm}$$

hoek oud

$$X(C, C', D) := \arccos\left(\frac{\frac{2 \cdot C - 2 \cdot C'}{2}}{W(C, C', D)}\right)$$

hoek nieuw

$$AA(C, C', D) := X(C, C', D) + \frac{\alpha_{\text{pro}}}{\frac{\pi}{2}} \cdot \left(\frac{\pi}{2} - X(C, C', D)\right)$$

breedte

$$Y(C, C', D, Y') := \cos(AA(C, C', D)) \cdot W(C, C', D) + Y'$$

hoogte

$$Z(C, C', D) := \sin(AA(C, C', D)) \cdot W(C, C', D)$$

Lengte schuine zijde

$$Q(C, C', D, Y') := \sqrt{Z(C, C', D)^2 + \left(\frac{2 \cdot Y(C, C', D, Y') - 2 \cdot Y'}{2}\right)^2} + 0.0000000001 \cdot \text{mm}$$

(B)/(A)

$$S(C, C', D, Y', l_{\text{pro}}, b_{\text{kap}}, l_{\text{goot}}) := \frac{Q(C, C', D, Y') \cdot l_{\text{pro}}}{b_{\text{kap}} \cdot l_{\text{goot}}}$$

Hoek alfa

$$T(C, C', D, Y') := \arccos\left(\frac{\frac{2 \cdot Y(C, C', D, Y') - 2 \cdot Y'}{2}}{Q(C, C', D, Y')}\right)$$

COS(hoek)-COS(2*hoek) of COS(hoek)

$$\text{hulp}(C, C', D, Y') := \begin{cases} 1 & \text{if } T(C, C', D, Y') > \frac{\pi}{2} \\ -\cos(2 \cdot T(C, C', D, Y')) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U(C, C', D, Y') := \cos(T(C, C', D, Y')) + \text{hulp}(C, C', D, Y')$$

Lichtwinst door reflectie

$$R(C, C', D, Y', l_{\text{pro}}, b_{\text{kap}}, l_{\text{goot}}, G, F, L_v) := S(C, C', D, Y', l_{\text{pro}}, b_{\text{kap}}, l_{\text{goot}}) \cdot G \cdot F \cdot U(C, C', D, Y') \cdot L_v$$

(E+C)/(2*A)

$$O(C, C', D, Y', l_{\text{pro}}, b_{\text{kap}}, l_{\text{goot}}) := \frac{(2 \cdot Y' + 2 \cdot Y(C, C', D, Y')) \cdot l_{\text{pro}}}{2 \cdot b_{\text{kap}} \cdot l_{\text{goot}}}$$

B/A*(1-((1-L)*form.COS(ALFA)))

$$P(C, C', D, Y', l_{\text{pro}}, b_{\text{kap}}, l_{\text{goot}}, L_v) := \frac{Q(C, C', D, Y') \cdot l_{\text{pro}}}{b_{\text{kap}} \cdot l_{\text{goot}}} \cdot (1 - (1 - L_v) \cdot U(C, C', D, Y'))$$

Relatieve lichtonderschepping

$$J(C, C', D, Y', l_{\text{pro}}, b_{\text{kap}}, l_{\text{goot}}, G, F, L_v, H) := \left(\begin{aligned} &O(C, C', D, Y', l_{\text{pro}}, b_{\text{kap}}, l_{\text{goot}}) \dots \\ &+ P(C, C', D, Y', l_{\text{pro}}, b_{\text{kap}}, l_{\text{goot}}, L_v) \dots \\ &+ R(C, C', D, Y', l_{\text{pro}}, b_{\text{kap}}, l_{\text{goot}}, G, F, L_v) \dots \\ &+ \frac{2 \cdot Y' \cdot l_{\text{pro}}}{b_{\text{kap}} \cdot l_{\text{goot}}} \end{aligned} \right) \cdot (1 - H) \cdot \frac{1}{2}$$

Licht op profiel

$$K(C, C', bgpro, ogpro, espro) := \begin{cases} bgpro & \text{if } C = \text{boven} \\ \text{otherwise} & \\ (1 - espro(bepro, aepto, bbpro)) \cdot ogpro & \text{if } C > C' \\ ogpro & \text{otherwise} \end{cases}$$

Absolute lichtonderschepping

$$L(C, C', D, Y', lpro, bkap, lgoot, G, F, Lv, H, I) := J(C, C', D, Y', lpro, bkap, lgoot, G, F, Lv, H) \cdot K(C, C', bgpro, ogpro, espro)$$

4.2 Berekening

Linker- en rechterzijde trapesium

$$k := 1..2$$

Breedte profieldeel; tussenresultaat

$$Ysol_{k,0} := 0 \cdot \text{mm}$$

$$Ysol_{k,i} := Y(C_{k,i}, C_{k,i-1}, D_{k,i}, Ysol_{k,i-1})$$

Relatieve lichtonderschepping

$$Jsol_{k,i} := J(C_{k,i}, C_{k,i-1}, D_{k,i}, Ysol_{k,i-1}, lpro, bkap, lgoot, G_{k,i}, F_{k,i}, Lv, H_{k,i})$$

Licht op profiel

$$Ksol_{k,i} := K(C_{k,i}, C_{k,i-1}, bgpro, ogpro, espro)$$

Absolute lichtonderschepping

$$Lsol_{k,i} := L(C_{k,i}, C_{k,i-1}, D_{k,i}, Ysol_{k,i-1}, lpro, bkap, lgoot, G_{k,i}, F_{k,i}, Lv, H_{k,i}, I_{k,i})$$

Sommatie t.b.v. totale profiel

Totaal relatieve lichtonderschepping:

$$Trl := \sum_{i=1}^n Jsol_{Lt,i} + \sum_{i=1}^n Jsol_{Rt,i}$$

Totaal maal aantal profielen:

$$Trla := Trl \cdot apro$$

Totaal absolute lichtonderschepping:

$$Tal := \sum_{i=1}^n Lsol_{Lt,i} + \sum_{i=1}^n Lsol_{Rt,i}$$

Totaal maal aantal profielen:

$$Tala := Tal \cdot apro$$

5 Uitvoer

Linkerzijde trapesium

Profiel vlak:	Breedte:	Hoogte:	Vorm factor:	Reflectie:	Open profiel:	Positie t.o.v. glas 1 is boven 2 is onder	Relatieve lichtonder- schepping	Licht op profiel	Absolute lichtonder- schepping	
	i	$C_{Lt,i}$	$D_{Lt,i}$	$F_{Lt,i}$	$G_{Lt,i}$	$H_{Lt,i}$	$I_{Lt,i}$	$J_{sol,Lt,i}$	$K_{sol,Lt,i}$	$L_{sol,Lt,i}$
	l	mm	mm	%	%	%	l	%	%	%
bovenlinks	1	25	0	100	20	0	2	0.297	62.247	0.185
zijlinks1	2	25	30	100	20	0	2	0.083	75	0.062
zijlinks2	3	0	0	100	20	0	2	0.007	75	0.005
zijlinks3	4	0	0	100	20	0	2	0	75	0
zijlinks4	5	0	0	100	20	0	2	0	75	0
zijlinks5	6	0	0	100	20	0	2	0	75	0
zijlinks6	7	0	0	100	20	0	2	0	75	0
zijlinks7	8	0	0	100	20	0	2	0	75	0
zijlinks8	9	0	0	100	20	0	2	0	75	0
zijlinks9	10	0	0	100	20	0	2	0	75	0
zijlinks10										

Rechterzijde trapesium

Profiel vlak:	Breedte:	Hoogte:	Vorm factor:	Reflectie:	Open profiel:	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonder-schepping	Licht op profiel	Absolute lichtonder-schepping	
						1 is boven 2 is onder				
	i	$C_{Rt,i}$	$D_{Rt,i}$	$F_{Rt,i}$	$G_{Rt,i}$	$H_{Rt,i}$	$I_{Rt,i}$	$J_{sol,Rt,i}$	$K_{sol,Rt,i}$	$L_{sol,Rt,i}$
	l	mm	mm	%	%	%	l	%	%	%
bovenrechts	1	25	0	100	20	0	2	0.297	62.247	0.185
zijrechts1	2	25	30	100	20	0	2	0.083	75	0.062
zijrechts2	3	0	0	100	20	0	2	0.007	75	0.005
zijrechts3	4	0	0	100	20	0	2	0	75	0
zijrechts4	5	0	0	100	20	0	2	0	75	0
zijrechts5	6	0	0	100	20	0	2	0	75	0
zijrechts6	7	0	0	100	20	0	2	0	75	0
zijrechts7	8	0	0	100	20	0	2	0	75	0
zijrechts8	9	0	0	100	20	0	2	0	75	0
zijrechts9	10	0	0	100	20	0	2	0	75	0
zijrechts10										

Totaal: $Trl = 0.8\%$

$Tal = 0.5\%$

Aantal profielen: $apro = 2$

$apro = 2$

Totaal: $Trla = 1.5\%$

$Tala = 1\%$

BIJLAGE B - FORMULE VOOR ONDER ELKAAR LIGGENDE PROFIELEN

VERGELIJKING VAN FORMULE SCHADUWWERKING MET MEETWAARDEN

Gemeten waarden

i := 0..13

Verhouding afstand profielen en breedte eerdere profiel: 0.16 1.00 2.00
 Relatieve hoeveelheid schaduw bij verhouding tussen breedte bovenzijde profiel en en eerdere profiel van:

$M_{0,i} :=$ $M_{1,i} :=$ $M_{2,i} :=$ $M_{3,i} :=$

0.00	100	100	50
0.14	98	83	43
0.21	95	77	40
0.34	87	69	37
0.40	82	66	36
0.53	73	60	33
0.72	61	52	30
0.86	56	48	28
1.06	49	43	26
1.26	44	39	24
1.64	37	33	22
2.56	27	25	19
3.48	21	19	17
4.32	19	18	17

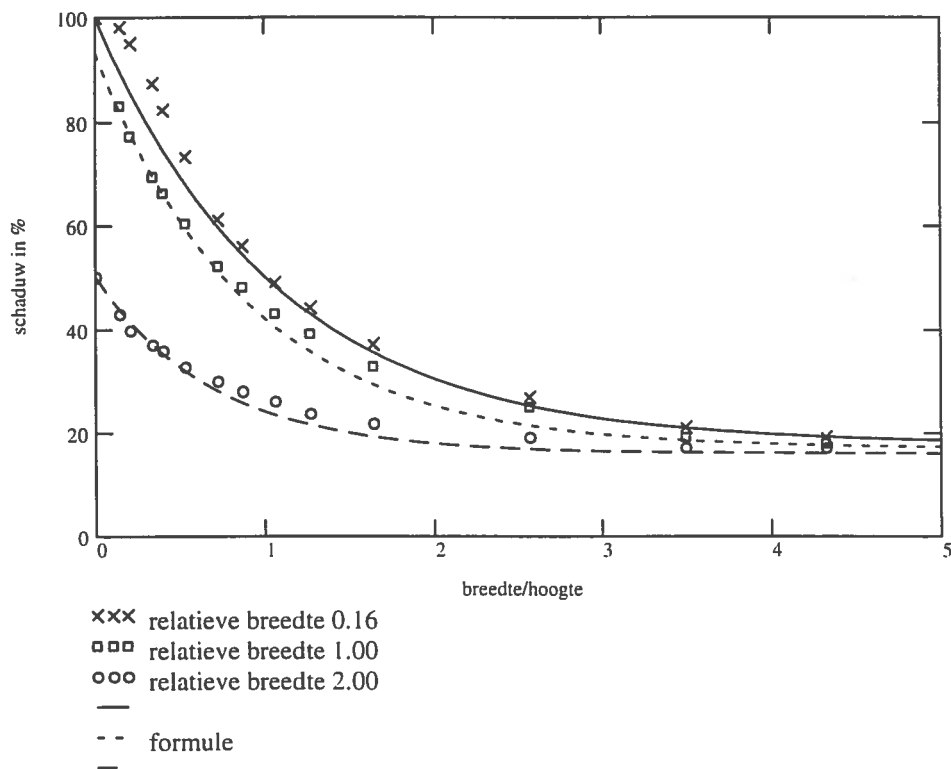
Formule

$$\text{vhepro}(be, bb) := \frac{bb}{be + 0.00001}$$

$$\text{Intpol}(be, ae, bb) := \left[\begin{array}{l} 19 - \text{vhepro}(be, bb) \dots \\ + \frac{82 - 6 \cdot (\text{vhepro}(be, bb)^3)}{\frac{ae}{be + 0.00001} \cdot \frac{1.1 - \frac{\text{vhepro}(be, bb)}{5}}{e}} \end{array} \right] \cdot 0.01 - 0.01$$

$$\text{espro}(be, ae, bb) := \text{if}((be + bb) = 0, 0, \text{Intpol}(be, ae, bb))$$

Vergelijking $h := 0, 0.1 \dots 5$



BIJLAGE C - VOORBEELDBEREKENING ENTEX VENLOWARENHUIS

TRANSMISSIE VENLO-KAS

Invoer

Projekt	:	Entex	
Kapbreedte	:	4000	mm
Tralielengte	:	8000	mm
Vakmaat	:	5000	mm
Roede afstand	:	1250	mm
" " lengte	:	2080	mm
Luchtraam diepte	:	1200	mm
" " breedte	:	2500	mm
Dakhelling	:	22.00	(0.384 rad)
Glas transmissie loodrecht	:	91.3	%
transmissie diffuus	:	86.78	%
Reflectie verzinkt staal	:	40.	% standaard 20%
Reflectie aluminium	:	65.	% standaard 45%
Reflectie witcoating	:	70.	% standaard 70%
Lichtverdeling	:	50.	% standaard 50%

Berekening

glas	:	12.58	%
nok; tussen de luchtramen	:	0.45	%
luchtraam; scharnier incl. nok	:	0.75	%
luchtraam; zijstijlen	:	0.28	%
luchtramen; tussenstijl	:	0.14	%
luchtraam; dorpel incl. kalf	:	0.61	%
roeden; excl. roeden onder het luchtraam	:	1.27	%
roeden; onder zijstijl en tussenstijl	:	0.12	%
roeden; onder het luchtraam uitsteekt	:	0.32	%
nokklem;	:	0.	%
goot; Entex SBG 100mm wit incl. condensgoot	:	2.96	%
luchtmechaniek; schommelstangen	:	0.	%
luchtmechaniek; opdrukpers	:	0.26	%
luchtmechaniek; trekduwstang	:	0.	%
tralie; bovenprofiel incl. trekduwstang	:	0.93	%
tralie; diagonalen	:	0.18	%
tralie; onderprofiel	:	0.75	%
staanders;	:	0.18	% +
lichtonderschepping	:	21.77	%

lichtdoorlaat kas : **78.2 %**

PROFIEL**nok**

Subtitel

tussen de lichtramen

Materiaal (1, 2, 3)

Aantal profielen per kaseenheid

Lengte profiel per kaseenheid

Hoek van het profiel

Profiel onder een eender profiel:

- breedte van het eerdere profiel

- afstand tot eerdere profiel

- bovenbreedte van het profiel

- extra schaduw op het profiel

Licht op profiel boven het glas

Licht op profiel onder het glas

2**1.0****2500****0°****0** mm**0** mm**0** mm**0%** schaduw**100%****87%**

R = 65% aluminium

stuk(s)/(4m x 5m)

stuk(s)/(4m x 5m)

horizontaal (0.00rad)

0.455%

Tekening profiel



Profielvlak	Breedte	Hoogte	Vorm-factor	Reflectie	"Open" profiel	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonderschepping	Licht op profiel	Absolute lichtonderschepping
Linkerzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	65%	0%	boven	0.1%	100%	0.1%
bovenlinks	5.00								
zijlinks1		4.00	50%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	5.00								
zijlinks2		23.00	0%	65%	0%	boven	0.1%	100%	0.1%
	15.00								
zijlinks3		9.00	20%	65%	0%	onder	0.0%	87%	0.0%
	15.20								
zijlinks4		1.60	80%	65%	0%	onder	0.0%	87%	0.0%
	6.75								
zijlinks5		0.00	0%	65%	0%	onder	0.0%	87%	0.0%
	0.00								
zijlinks6		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	87%	0.0%
	0.00								
zijlinks7		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	87%	0.0%
	0.00								
zijlinks8		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	87%	0.0%
	0.00								
zijlinks9		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	87%	0.0%
	0.00								
zijlinks10		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	87%	0.0%
	0.00								
		+							
	Hoogte	37.60							
Rechterzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	65%	0%	boven	0.1%	100%	0.1%
bovenrechts	5.00								
zijrechts1		4.00	50%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	5.00								
zijrechts2		23.00	0%	65%	0%	boven	0.1%	100%	0.1%
	15.00								
zijrechts3		9.00	20%	65%	0%	onder	0.0%	87%	0.0%
	15.20								
zijrechts4		1.60	80%	65%	0%	onder	0.0%	87%	0.0%
	6.75								
zijrechts5		0.00	0%	65%	0%	onder	0.0%	87%	0.0%
	0.00								
zijrechts6		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	87%	0.0%
	0.00								
zijrechts7		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	87%	0.0%
	0.00								
zijrechts8		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	87%	0.0%
	0.00								
zijrechts9		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	87%	0.0%
	0.00								
zijrechts10		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	87%	0.0%
	0.00								
		+							
	Hoogte	37.60							
	Breedte	30.40							
							+		
							Totaal:	0.5%	0.5%
							Aantal profielen:	1	1
							Totaal:	0.5%	0.455%

PROFIEL**luchtraam**

Subtitel

scharnier incl. nok

Materiaal (1, 2, 3)

Aantal profielen per kaseenheid

Lengte profiel per kaseenheid

Hoek van het profiel

Profiel onder een eerder profiel:

- breedte van het eerdere profiel

- afstand tot eerdere profiel

- bovenbreedte van het profiel

- extra schaduw op het profiel

Licht op profiel boven het glas

Licht op profiel onder het glas

2**1.0****2500****0°****0 mm****0 mm****0 mm****0% schaduw****100%****86%**

R = 65% aluminium

stuk(s)/(4m x 5m)

mm/(4m x 5m)

horizontaal (0.00rad)

0.747%

Tekening profiel



Profielvlak	Breedte	Hoogte	Vorm-factor	Reflectie	"Open" profiel	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonder-schepping	Licht op profiel	Absolute lichtonder-schepping
Linkerzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
bovenlinks	0.00								
zijlinks1		3.00	0%	65%	0%	boven	0.1%	100%	0.1%
	9.00								
zijlinks2		11.00	0%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	10.00								
zijlinks3		25.00	90%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijlinks4		10.00	10%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijlinks5		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijlinks6		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijlinks7		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijlinks8		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijlinks9		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijlinks10		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
		+							
	Hoogte	49.00							
Rechterzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
bovenrechts	0.00								
zijrechts1		14.00	0%	65%	0%	boven	0.4%	100%	0.4%
	35.00								
zijrechts2		25.00	10%	65%	0%	boven	0.1%	100%	0.1%
	42.00								
zijrechts3		10.00	40%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	42.00								
zijrechts4		0.00	10%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijrechts5		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijrechts6		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijrechts7		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijrechts8		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijrechts9		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijrechts10		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
		+							
	Hoogte	49.00							
	Breedte	52.00							
							+		
							Totaal:	0.8%	0.7%
							Aantal profielen:	1	1
							Totaal:	0.8%	0.75%

PROFIEL**luchtraam**

Subtitel

zijstijlen

Materiaal (1, 2, 3)

Aantal profielen per kaseenheid

Lengte profiel per kaseenheid

Hoek van het profiel

Profiel onder een eerdere profiel:

- breedte van het eerdere profiel

- afstand tot eerdere profiel

- bovenbreedte van het profiel

- extra schaduw op het profiel

Licht op profiel boven het glas

Licht op profiel onder het glas

2**2.0****1200****22°****0** mm**0** mm**0** mm

: 0% schaduw

: 100%

: 86%

R = 65% aluminium

stuk(s)/(4m x 5m)

mm/(4m x 5m)

schuin (0.38rad)

Tekening profiel

**0.276%**

Profielvlak	Breedte	Hoogte	Vorm-factor	Reflectie	"Open" profiel	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonder-schepping	Licht op profiel	Absolute lichtonder-schepping
Linkerzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
bovenlinks	5.00								
zijlinks1		6.10	20%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	7.50								
zijlinks2		19.40	80%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	7.50								
zijlinks3		1.10	100%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	11.40								
zijlinks4		4.40	100%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	14.50								
zijlinks5		0.00	80%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijlinks6		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijlinks7		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijlinks8		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijlinks9		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijlinks10		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
	Hoogte	31.00							
Rechterzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
bovenrechts	6.60								
zijrechts1		6.10	0%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	7.50								
zijrechts2		19.40	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	7.50								
zijrechts3		1.10	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	7.50								
zijrechts4		4.40	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	7.50								
zijrechts5		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijrechts6		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijrechts7		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijrechts8		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijrechts9		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijrechts10		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
	Hoogte	31.00							
	Breedte	22.00							
							Totaal:	0.1%	0.1%
							Aantal profielen:	2	2
							Totaal:	0.3%	0.3%

PROFIEL**luchtramen**

Subtitel

massenstijl

Materiaal (1, 2, 3)

Aantal profielen per kaseenheid

Lengte profiel per kaseenheid

Hoek van het profiel

Profiel onder een eerdere profiel:

- breedte van het eerdere profiel

- afstand tot eerdere profiel

- bovenbreedte van het profiel

- extra schaduw op het profiel

Licht op profiel boven het glas

Licht op profiel onder het glas

2**1.0****1200****22°**

0 mm

0 mm

0 mm

0% schaduw

100%

85%

R = 65% aluminium

stuk(s)/(4m x 5m)

mm/(4m x 5m)

schuin (0.38rad)

Tekening profiel

**0.138%**

Profielvlak	Breedte	Hoogte	Vorm-factor	Reflectie	"Open" profiel	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonderschepping	Licht op profiel	Absolute lichtonderschepping
Linkerzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
bovenlinks	0.00								
zijlinks1		2.00	0%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	4.30								
zijlinks2		4.00	0%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	10.30								
zijlinks3		6.20	20%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	9.50								
zijlinks4		25.55	90%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	9.50								
zijlinks5		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijlinks6		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijlinks7		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijlinks8		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijlinks9		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijlinks10		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
		+							
	Hoogte	37.75							
Rechterzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
bovenrechts	0.00								
zijrechts1		2.00	0%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	4.30								
zijrechts2		4.00	0%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	10.30								
zijrechts3		6.20	20%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	9.50								
zijrechts4		25.55	90%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	9.50								
zijrechts5		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijrechts6		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijrechts7		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijrechts8		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijrechts9		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijrechts10		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
		+							
	Hoogte	37.75							
	Breedte	20.60							
Totaal:							0.1%		0.1%
Aantal profielen:							1		1
Totaal:							0.1%		0.1%

PROFIEL**luchtraam**

Subtitel

dorpel incl. kalf

Materiaal (1, 2, 3)

Aantal profielen per kaseenheid

Lengte profiel per kaseenheid

Hoek van het profiel

Profiel onder een eerdere profiel:

- breedte van het eerdere profiel

- afstand tot eerdere profiel

- bovenbreedte van het profiel

- extra schaduw op het profiel

Licht op profiel boven het glas

Licht op profiel onder het glas

2**1.0****2500****0°**

R = 65% aluminium

stuk(s)/(4m x 5m)

mm/(4m x 5m)

horizontaal (0.00rad)

0 mm

0 mm

0 mm

0% schaduw

100%

85%

0.608%

Tekening profiel



Profielvlak	Breedte	Hoogte	Vorm-factor	Reflectie	"Open" profiel	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonder-schepping	Licht op profiel	Absolute lichtonder-schepping
Linkerzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
bovenlinks	0.00								
zijlinks1		4.50	0%	65%	0%	boven	0.1%	100%	0.1%
	10.00								
zijlinks2		11.50	100%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	10.00								
zijlinks3		24.00	70%	65%	0%	boven	0.1%	100%	0.1%
	18.50								
zijlinks4		20.50	50%	65%	0%	onder	0.1%	85%	0.1%
	28.00								
zijlinks5		10.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	27.00								
zijlinks6		9.50	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	26.00								
zijlinks7		3.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	20.80								
zijlinks8		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	20.80								
zijlinks9		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	20.80								
zijlinks10		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	20.80								
		+							
	Hoogte	83.00							
Rechterzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
bovenrechts	0.00								
zijrechts1		4.50	0%	65%	0%	onder	0.1%	85%	0.1%
	10.50								
zijrechts2		11.50	0%	65%	0%	onder	0.1%	85%	0.1%
	22.00								
zijrechts3		24.00	80%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	12.00								
zijrechts4		20.50	20%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijrechts5		10.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	-5.00								
zijrechts6		9.50	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	-20.80								
zijrechts7		3.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	-20.80								
zijrechts8		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	-20.80								
zijrechts9		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	-20.80								
zijrechts10		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	-20.80								
		+							
	Hoogte	83.00							
	Breedte	50.00							
Totaal:							0.7%		0.6%
Aantal profielen:							1		1
Totaal:							0.7%		0.6%

PROFIEL**roeden**

Subtitel

excl. roeden onder het luchtraam

Materiaal (1, 2, 3)

Aantal profielen per kaseenheid

Lengte profiel per kaseenheid

Hoek van het profiel

Profiel onder een eerder profiel:

- breedte van het eerdere profiel

- afstand tot eerdere profiel

- bovenbreedte van het profiel

- extra schaduw op het profiel

Licht op profiel boven het glas

Licht op profiel onder het glas

2**5.0****2080****22°**

R = 65% aluminium

stuk(s)/(4m x 5m)

mm/(4m x 5m)

schuin (0.38rad)

0 mm

0 mm

0 mm

0% schaduw

100%

85%

1.267%

Tekening profiel



Profielvlak	Breedte	Hoogte	Vorm-factor	Reflectie	"Open" profiel	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonder-schepping	Licht op profiel	Absolute lichtonder-schepping
Linkerzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	65%	0%	boven	0.1%	100%	0.1%
bovenlinks	6.00								
zijlinks1		3.50	100%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	6.00								
zijlinks2		3.50	0%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	9.50								
zijlinks3		7.20	10%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	10.00								
zijlinks4		8.80	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	10.00								
zijlinks5		27.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	4.00								
zijlinks6		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijlinks7		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijlinks8		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijlinks9		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijlinks10		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
		+							
	Hoogte	50.00							
Rechterzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	65%	0%	boven	0.1%	100%	0.1%
bovenrechts	6.00								
zijrechts1		3.50	100%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	6.00								
zijrechts2		3.50	0%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	9.50								
zijrechts3		7.20	10%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	10.00								
zijrechts4		8.80	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	10.00								
zijrechts5		27.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	4.00								
zijrechts6		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijrechts7		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijrechts8		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijrechts9		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
zijrechts10		0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	85%	0.0%
	0.00								
		+							
	Hoogte	50.00							
	Breedte	20.00							
							Totaal:	0.3%	0.3%
							Aantal profielen:	5	5
							Totaal:	1.3%	1.3%

PROFIEL**roeden**

Subtitel

onder zijstijl en tussenstijl

Materiaal (1, 2, 3)

2

R = 65% aluminium

Aantal profielen per kaseenheid

3.0

stuk(s)/(4m x 5m)

Lengte profiel per kaseenheid

1200

mm/(4m x 5m)

Hoek van het profiel

22°

schuin (0.38rad)

Profiel onder een eerdere profiel:

- breedte van het eerdere profiel

20 mm

- afstand tot eerdere profiel

0 mm

- bovenbreedte van het profiel

22 mm

- extra schaduw op het profiel

91% schaduw

Licht op profiel boven het glas

100%

Licht op profiel onder het glas

84%

0.121%

Tekening profiel



Profielvlak	Breedte	Hoogte	Vorm-factor	Reflectie	"Open" profiel	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonderschepping	Licht op profiel	Absolute lichtonderschepping
Linkerzijde trapezium									
	0.00								
bovenlinks	6.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	8%	0.0%
zijlinks1	6.00	3.50	100%	65%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
zijlinks2	9.50	3.50	0%	65%	0%	onder	0.0%	8%	0.0%
zijlinks3	10.00	7.20	10%	65%	0%	onder	0.0%	8%	0.0%
zijlinks4	10.00	8.80	100%	65%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
zijlinks5	4.00	27.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
zijlinks6	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
zijlinks7	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
zijlinks8	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
zijlinks9	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
zijlinks10	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00	+							
	Hoogte	50.00							
Rechterzijde trapezium									
	0.00								
bovenrechts	6.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	8%	0.0%
zijrechts1	6.00	3.50	100%	65%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
zijrechts2	9.50	3.50	0%	65%	0%	onder	0.0%	8%	0.0%
zijrechts3	10.00	7.20	10%	65%	0%	onder	0.0%	8%	0.0%
zijrechts4	10.00	8.80	100%	65%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
zijrechts5	4.00	27.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
zijrechts6	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
zijrechts7	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
zijrechts8	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
zijrechts9	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
zijrechts10	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00	+							
	Hoogte	50.00							
	Breedte	20.00							
							Totaal:	0.2%	0.0%
							Aantal profielen:	3	3
							Totaal:	0.5%	0.1%

PROFIEL**roeden**

Subtitel

onder het luchtraam uitsteekt

Materiaal (1, 2, 3)

Aantal profielen per kaseenheid

Lengte profiel per kaseenheid

Hoek van het profiel

Profiel onder een eerder profiel:

- breedte van het eerdere profiel

- afstand tot eerdere profiel

- bovenbreedte van het profiel

- extra schaduw op het profiel

Licht op profiel boven het glas

Licht op profiel onder het glas

2**3.0****880****22°****0** mm**0** mm**0** mm**0%** schaduw**100%****83%**

R = 65% aluminium

stuk(s)/(4m x 5m)

mm(s)/(4m x 5m)

schuin (0.38rad)

Tekening profiel

**0.320%**

Profielvlak	Breedte	Hoogte	Vorm-factor	Reflectie	"Open" profiel	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonder-schepping	Licht op profiel	Absolute lichtonder-schepping
Linkerzijde trapezium									
	0.00								
bovenlinks	6.00	0.00	100%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
zijlinks1	6.00	3.50	100%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
zijlinks2	9.50	3.50	0%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
zijlinks3	10.00	7.20	10%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
zijlinks4	10.00	8.80	100%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
zijlinks5	4.00	27.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
zijlinks6	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
zijlinks7	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
zijlinks8	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
zijlinks9	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
zijlinks10	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
	0.00	+							
	Hoogte	50.00							
Rechterzijde trapezium									
	0.00								
bovenrechts	6.00	0.00	100%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
zijrechts1	6.00	3.50	100%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
zijrechts2	9.50	3.50	0%	65%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
zijrechts3	10.00	7.20	10%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
zijrechts4	10.00	8.80	100%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
zijrechts5	4.00	27.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
zijrechts6	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
zijrechts7	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
zijrechts8	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
zijrechts9	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
zijrechts10	0.00	0.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
	0.00	+							
	Hoogte	50.00							
	Breedte	20.00							
							+		
Totaal:							0.1%		0.1%
Aantal profielen:							3		3
Totaal:							0.3%		0.3%

PROFIEL**goot**

Subtitel

Entex SBG 100mm wit incl. condensgoot

Materiaal (1, 2, 3)

Aantal profielen per kaseenheid

Lengte profiel per kaseenheid

Hoek van het profiel

Profiel onder een eerdere profiel:

- breedte van het eerdere profiel

- afstand tot eerdere profiel

- bovenbreedte van het profiel

- extra schaduw op het profiel

Licht op profiel boven het glas

Licht op profiel onder het glas

3**1.0****5000****0°**

R = 70% witte coating

stuk(s)/(4m x 5m)

mm(s)/(4m x 5m)

horizontaal (0.00rad)

0 mm

0 mm

0 mm

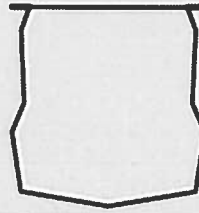
0% schaduw

100%

83%

2.960%

Tekening profiel



Profielvlak	Breedte	Hoogte	Vorm-factor	Reflectie	"Open" profiel	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonder-schepping	Licht op profiel	Absolute lichtonder-schepping
Linkerzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	70%	0%	boven	1.1%	100%	1.1%
bovenlinks	45.00								
zijlinks1		14.00	0%	70%	0%	onder	0.1%	83%	0.1%
	50.00								
zijlinks2		45.00	100%	70%	0%	onder	0.1%	83%	0.1%
	48.00								
zijlinks3		18.00	100%	70%	0%	onder	0.1%	83%	0.1%
	55.00								
zijlinks4		36.50	80%	65%	0%	onder	0.1%	83%	0.1%
	50.00								
zijlinks5		9.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
	0.00								
zijlinks6		0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
	0.00								
zijlinks7		0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
	0.00								
zijlinks8		0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
	0.00								
zijlinks9		0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
	0.00								
zijlinks10		0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
	0.00								
		Hoogte 122.50							
Rechterzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	70%	0%	boven	1.1%	100%	1.1%
bovenrechts	45.00								
zijrechts1		14.00	0%	70%	0%	onder	0.1%	83%	0.1%
	50.00								
zijrechts2		45.00	100%	70%	0%	onder	0.1%	83%	0.1%
	48.00								
zijrechts3		18.00	100%	70%	0%	onder	0.1%	83%	0.1%
	55.00								
zijrechts4		36.50	80%	65%	0%	onder	0.1%	83%	0.1%
	50.00								
zijrechts5		9.00	100%	65%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
	0.00								
zijrechts6		0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
	0.00								
zijrechts7		0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
	0.00								
zijrechts8		0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
	0.00								
zijrechts9		0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
	0.00								
zijrechts10		0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	83%	0.0%
	0.00								
		Hoogte 122.50							
		Breedte 110.00							
							+		
							Totaal:	3.1%	3.0%
							Aantal profielen:	1	1
							Totaal:	3.1%	3.0%

PROFIEL**luchtmechaniek**

Subtitel

opdrukpers

Materiaal (1, 2, 3)

Aantal profielen per kaseenheid

Lengte profiel per kaseenheid

Hoek van het profiel

Profiel onder een eerder profiel:

- breedte van het eerdere profiel

- afstand tot eerdere profiel

- bovenbreedte van het profiel

- extra schaduw op het profiel

Licht op profiel boven het glas

Licht op profiel onder het glas

3**3.0****1900****20°**

R = 70% witte coating

stuk(s)/(4m x 5m)

mm/(4m x 5m)

schuin (0.35rad)

0 mm

0 mm

0 mm

0% schaduw

100%

81%

0.264%

Tekening profiel



Profielvlak	Breedte	Hoogte	Vorm-factor	Reflectie	"Open" profiel	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonder-schepping	Licht op profiel	Absolute lichtonder-schepping
Linkerzijde trapezium									
	0.00								
bovenlinks	2.00	0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijlinks1	7.00	4.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijlinks2	8.00	4.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijlinks3	7.00	4.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijlinks4	2.00	4.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijlinks5	0.00	0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijlinks6	0.00	0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijlinks7	0.00	0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijlinks8	0.00	0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijlinks9	0.00	0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijlinks10	0.00	0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
	0.00								
	Hoogte	16.00							
Rechterzijde trapezium									
	0.00								
bovenrechts	2.00	0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijrechts1	7.00	4.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijrechts2	8.00	4.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijrechts3	7.00	4.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijrechts4	2.00	4.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijrechts5	0.00	0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijrechts6	0.00	0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijrechts7	0.00	0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijrechts8	0.00	0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijrechts9	0.00	0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
zijrechts10	0.00	0.00	100%	70%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
	0.00								
	Hoogte	16.00							
	Breedte	16.00							
Totaal:							0.1%		0.1%
Aantal profielen:							3		3
Totaal:							0.3%		0.3%

PROFIEL**tralie**

Subtitel

bovenprofiel incl. trekdwangstang

Materiaal (1, 2, 3)

Aantal profielen per kaseenheid

Lengte profiel per kaseenheid

Hoek van het profiel

Profiel onder een eerdere profiel:

- breedte van het eerdere profiel

- afstand tot eerdere profiel

- bovenbreedte van het profiel

- extra schaduw op het profiel

Licht op profiel boven het glas

Licht op profiel onder het glas

1

R = 40% verzinkt staal

1.0

stuk(s)/(4m x 5m)

4000

mm/(4m x 5m)

0°

horizontaal (0.00rad)

0 mm**0** mm**0** mm**0%** schaduw**100%****80%****0.931%**

Tekening profiel



Profielvlak	Breedte	Hoogte	Vorm-factor	Reflectie	"Open" profiel	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonder-schepping	Licht op profiel	Absolute lichtonder-schepping
Linkerzijde trapezium									
	0.00								
bovenlinks	4.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.1%	80%	0.1%
zijlinks1	25.00	10.00	10%	40%	0%	onder	0.4%	80%	0.3%
zijlinks2	25.00	30.00	100%	40%	0%	onder	0.1%	80%	0.1%
zijlinks3	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	80%	0.0%
zijlinks4	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	80%	0.0%
zijlinks5	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	80%	0.0%
zijlinks6	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	80%	0.0%
zijlinks7	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	80%	0.0%
zijlinks8	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	80%	0.0%
zijlinks9	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	80%	0.0%
zijlinks10	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	80%	0.0%
	0.00	+							
	Hoogte	40.00							
Rechterzijde trapezium									
	0.00								
bovenrechts	4.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.1%	80%	0.1%
zijrechts1	25.00	10.00	10%	40%	0%	onder	0.4%	80%	0.3%
zijrechts2	25.00	30.00	100%	40%	0%	onder	0.1%	80%	0.1%
zijrechts3	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	80%	0.0%
zijrechts4	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	80%	0.0%
zijrechts5	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	80%	0.0%
zijrechts6	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	80%	0.0%
zijrechts7	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	80%	0.0%
zijrechts8	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	80%	0.0%
zijrechts9	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	80%	0.0%
zijrechts10	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	80%	0.0%
	0.00	+							
	Hoogte	40.00							
	Breedte	50.00							
Totaal:							1.2%		0.9%
Aantal profielen:							1		1
Totaal:							1.2%		0.9%

PROFIEL**tralie**

Subtitel

diagonalen

Materiaal (1, 2, 3)

Aantal profielen per kaseenheid

Lengte profiel per kaseenheid

Hoek van het profiel

Profiel onder een eerdere profiel:

- breedte van het eerdere profiel

- afstand tot eerdere profiel

- bovenbreedte van het profiel

- extra schaduw op het profiel

Licht op profiel boven het glas

Licht op profiel onder het glas

1**10.0****566****45°****50****200****14**

19% schaduw

100%

79%

R = 40% verzinkt staal

stuks/(4m x 5m)

mm/(4m x 5m)

schuin (0.79rad)

0.175%

Tekening profiel



Profielvlak	Breedte	Hoogte	Vorm-factor	Reflectie	"Open" profiel	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonder-schepping	Licht op profiel	Absolute lichtonder-schepping
Linkerzijde trapezium									
	0.00								
bovenlinks	1.50	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	64%	0.0%
zijlinks1		3.50	100%	40%	0%	onder	0.0%	64%	0.0%
	6.00								
zijlinks2		3.50	100%	40%	0%	onder	0.0%	64%	0.0%
	7.00								
zijlinks3		3.50	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	6.00								
zijlinks4		3.50	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	1.50								
zijlinks5		0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	0.00								
zijlinks6		0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	0.00								
zijlinks7		0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	0.00								
zijlinks8		0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	0.00								
zijlinks9		0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	0.00								
zijlinks10		0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	0.00								
		+							
	Hoogte	14.00							
Rechterzijde trapezium									
	0.00								
bovenrechts	1.50	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	64%	0.0%
zijrechts1		3.50	100%	40%	0%	onder	0.0%	64%	0.0%
	6.00								
zijrechts2		3.50	100%	40%	0%	onder	0.0%	64%	0.0%
	7.00								
zijrechts3		3.50	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	6.00								
zijrechts4		3.50	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	1.50								
zijrechts5		0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	0.00								
zijrechts6		0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	0.00								
zijrechts7		0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	0.00								
zijrechts8		0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	0.00								
zijrechts9		0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	0.00								
zijrechts10		0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	0.00								
		+							
	Hoogte	14.00							
	Breedte	14.00							
							+		
							Totaal:	0.0%	0.0%
							Aantal profielen:	10	10
							Totaal:	0.26%	0.18%

PROFIEL**tralie**

Subtitel

: onderprofiel

Materiaal (1, 2, 3)

Aantal profielen per kaseneheid

Lengte profiel per kaseneheid

Hoek van het profiel

Profiel onder een eerdere profiel:

- breedte van het eerdere profiel

- afstand tot eerdere profiel

- bovenbreedte van het profiel

- extra schaduw op het profiel

Licht op profiel boven het glas

Licht op profiel onder het glas

1

R = 40% verzinkt staal

1.0

stuk(s)/(4m x 5m)

4000

mm/(4m x 5m)

0°

horizontaal (0.00rad)

50

mm

400

mm

50

mm

: 17% schaduw

: 100%

: 79%

0.752%

Tekening profiel



Profielvlak	Breedte	Hoogte	Vorm-factor	Reflectie	"Open" profiel	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonder-schepping	Licht op profiel	Absolute lichtonder-schepping
Linkerzijde trapezium									
	0.00								
bovenlinks	25.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.5%	66%	0.3%
zijlinks1	25.00	20.00	100%	40%	0%	onder	0.1%	79%	0.0%
zijlinks2	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
zijlinks3	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
zijlinks4	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
zijlinks5	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
zijlinks6	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
zijlinks7	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
zijlinks8	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
zijlinks9	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
zijlinks10	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	0.00	+							
	Hoogte	20.00							
Rechterzijde trapezium									
	0.00								
bovenrechts	25.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.5%	66%	0.3%
zijrechts1	25.00	20.00	100%	40%	0%	onder	0.1%	79%	0.0%
zijrechts2	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
zijrechts3	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
zijrechts4	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
zijrechts5	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
zijrechts6	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
zijrechts7	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
zijrechts8	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
zijrechts9	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
zijrechts10	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	79%	0.0%
	0.00	+							
	Hoogte	20.00							
	Breedte	50.00							
Totaal:							1.1%		0.8%
Aantal profielen:							1		1
Totaal:							1.1%		0.8%

PROFIEL**staanders**

Subtitel

Materiaal (1, 2, 3)

Aantal profielen per kaseenheid

Lengte profiel per kaseenheid

Hoek van het profiel

Profiel onder een eerdere profiel:

- breedte van het eerdere profiel

- afstand tot eerdere profiel

- bovenbreedte van het profiel

- extra schaduw op het profiel

Licht op profiel boven het glas

Licht op profiel onder het glas

1**0.5****2000****90°**

R = 40% verzinkt staal

stuk(s)/(4m x 5m)

mm/(4m x 5m)

vertikaal (1.57rad)

0 mm

0 mm

0 mm

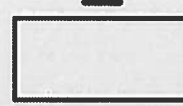
0% schaduw

100%

78%

0.176%

Tekening profiel



Profielvlak	Breedte	Hoogte	Vorm-factor	Reflectie	"Open" profiel	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonder-schepping	Licht op profiel	Absolute lichtonder-schepping
Linkerzijde trapezium									
	0.00								
bovenlinks	50.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.1%	78%	0.1%
zijlinks1	50.00	50.00	100%	40%	0%	onder	0.1%	78%	0.1%
zijlinks2	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.1%	78%	0.1%
zijlinks3	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	78%	0.0%
zijlinks4	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	78%	0.0%
zijlinks5	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	78%	0.0%
zijlinks6	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	78%	0.0%
zijlinks7	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	78%	0.0%
zijlinks8	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	78%	0.0%
zijlinks9	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	78%	0.0%
zijlinks10	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	78%	0.0%
	0.00	+							
	Hoogte	50.00							
Rechterzijde trapezium									
	0.00								
bovenrechts	50.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.1%	78%	0.1%
zijrechts1	50.00	50.00	100%	40%	0%	onder	0.1%	78%	0.1%
zijrechts2	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.1%	78%	0.1%
zijrechts3	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	78%	0.0%
zijrechts4	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	78%	0.0%
zijrechts5	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	78%	0.0%
zijrechts6	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	78%	0.0%
zijrechts7	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	78%	0.0%
zijrechts8	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	78%	0.0%
zijrechts9	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	78%	0.0%
zijrechts10	0.00	0.00	100%	40%	0%	onder	0.0%	78%	0.0%
	0.00	+							
	Hoogte	50.00							
	Breedte	100.00							
Totaal:							0.4%		0.4%
Aantal profielen:							1		1
Totaal:							0.2%		0.2%

Resultaat lichtberekening

Profiel	Blad	Licht op het profiel boven het glas	lichtonder- schepping door het glas	Licht op het profiel onder het glas	Absolute lichtonder- schepping door profiel boven het glas	Absolute lichtonder- schepping door profiel onder het glas	Absolute lichtonder- schepping totaal
glas		100.0%	13.2%				12.58%
nok; tussen de luchtramen							
	1	100.0%	13.2%	86.8%	0.41%	0.04%	0.45%
luchtraam; schanier incl. nok							
	2	100.0%	13.2%	86.4%	0.65%	0.10%	0.75%
luchtraam; zijstijlen							
	3	100.0%	13.1%	85.7%	0.25%	0.02%	0.28%
luchtramen; tussenstijl							
	4	100.0%	13.0%	85.5%	0.10%	0.04%	0.14%
luchtraam; dorpel incl. kalf							
	5	100.0%	13.0%	85.3%	0.22%	0.39%	0.61%
roeden; excl. roeden onder het luchtraam							
	6	100.0%	13.0%	84.8%	0.86%	0.41%	1.27%
roeden; onder zijstijl en tussenstijl							
	7	100.0%	12.9%	83.6%	0.00%	0.12%	0.12%
roeden; onder het luchtraam uitsteekt							
	8	100.0%	12.9%	83.5%	0.22%	0.10%	0.32%
nokklem;							
	9	100.0%	12.9%	83.2%	0.00%	0.00%	0.00%
goot; Entex SBG 100mm wit incl. condensgoot							
	10	100.0%	12.9%	83.2%	2.25%	0.71%	2.96%
luchtmechaniek; schommelstangen							
	11	100.0%	12.6%	80.5%	0.00%	0.00%	0.00%
luchtmechaniek; opdrukpers							
	12	100.0%	12.6%	80.5%	0.00%	0.26%	0.26%
luchtmechaniek; trekduwstang							
	13	100.0%	12.6%	80.3%	0.00%	0.00%	0.00%
tralie; bovenprofiel incl. trekduwstang							
	14	100.0%	12.6%	80.3%	0.00%	0.93%	0.93%
tralie; diagonalen							
	15	100.0%	12.6%	79.3%	0.00%	0.18%	0.18%
tralie; onderprofiel							
	16	100.0%	12.6%	79.2%	0.00%	0.75%	0.75%
staanders;							
	17	100.0%	12.6%	78.4%	0.00%	0.18%	0.18%
;							
	18	100.0%	12.6%	78.2%	0.00%	0.00%	0.00%
;							
	19	100.0%	12.6%	78.2%	0.00%	0.00%	0.00%
;							
	20	100.0%	12.6%	78.2%	0.00%	0.00%	0.00%

Lichtonderschepping: + 21.77%

Transmissie: **78.23%**

BIJLAGE D - GEBRUIKERSHANDLEIDING

1. Inleiding

Dit rapport dient als handleiding voor het bepalen van de benodigde profieleigenschappen voor het uitvoeren van lichtberekeningen volgens de lichtberekeningsmethode van IMAG-DLV-TNO. Deze lichtberekeningsmethode van IMAG-DLV-TNO is gebaseerd op de “verbeterde 1/2-omtrekmethode” (zie voor een omschrijving van deze methode TNO-rapport 96-CON-R1584). De resultaten van deze lichtberekeningsmethode sluiten goed aan bij resultaten van praktijklichtmetingen van Venlo-warenhuizen en Breedkapkassen bij diffuus daglicht.

Het lichtberekeningsprogramma van IMAG-DLV-TNO vereist een goede en consequente methode voor het bepalen van de profieleigenschappen. Vooral bij vergelijkingen van het effect op de absolute lichtdoorlatendheid van kassen met profielen met (minimale) verschillen is het van groot belang dat de profieleigenschappen volgens dezelfde methode bepaald zijn en dat de berekende lichtonderschepping van de profielen een juiste weergave is van de lichtonderschepping in de praktijk. Met name voor profielen met ingewikkelde profielvormen, zoals bijvoorbeeld vaak het geval is bij aluminium extrusie-profielen, is nauwkeurige bepaling van profieleigenschappen vereist.

Dit rapport geeft inzicht in de uit te voeren werkzaamheden voor het bepalen van de juiste profieleigenschappen. Van een drietal redelijk eenvoudige en symmetrische profielen, te weten een glasroede, een nok en een (stalen) goot, zijn de profieleigenschappen uitgewerkt en ingevoerd in het lichtberekeningsprogramma van IMAG-DLV-TNO.

2. Het bepalen van de profieleigenschappen

2.1 Het modelleren van het profiel

De berekening van de lichtdoorlatendheid volgens de IMAG-DLV-TNO-methode is geprogrammeerd in een spreadsheet met het programma Excel van Microsoft. Alle lichtonderscheppende profielen van zowel Breedkapkassen als Venlo-warenhuizen kunnen in de lichtberekening worden opgegeven. Elk profiel wordt in het programma op dezelfde wijze behandeld. Zo kan een profielvorm in maximaal 10 horizontale “schijven”, ook wel trapezia genoemd, opgedeeld zijn. Per trapezium kunnen eigenschappen zoals, afmetingen, reflectie, vormfactor, positie ten opzichte van het glas en het percentage openingen opgegeven worden. Daarnaast wordt van ieder profiel informatie gevraagd over de hellingshoek van het profiel in gemonteerde toestand en de positie van het profiel ten opzichte van andere profielen. De lichtdoorlatendheid van de kas wordt berekend door de lichtonderschepping van de individuele profielen te combineren met de gegevens van de kas. Deze combinatie is in het programma volgens de IMAG-DLV-TNO-methode verregaand geautomatiseerd voor de twee meest gangbare kastypen: Venlo-warenhuizen en Breedkapkassen. De berekeningsmethode is ook geschikt voor het uitvoeren van berekeningen van andere en/of afwijkende kastypen, maar dan zal van elk individueel profiel de samenhang in de kas opnieuw bepaald moeten worden.

Voor het bepalen van profieleigenschappen moeten de volgende werkzaamheden op tekening en/of met een tekenprogramma worden uitgevoerd:

- Het maken een profieltekening

Van het betreffende profiel moet een goede technische tekening beschikbaar zijn. Daarbij moet worden opgelet dat alle aan het profiel vastzittende onderdelen in de tekening zijn opgenomen. Dit geldt bijvoorbeeld voor het deel van de nok met een luchtraamscharnier, een onderdorpel van het luchtraam op een steunregel (het lichtberekeningsprogramma van IMAG-DLV-TNO gaat uit van gesloten luchtraamen) met eventueel een glashaak, of een afsluitrubber op een dekroede van een Breedkapkas. Een uitzondering geldt voor de **luchtraamprofielen** direct boven de dekroeden (zijstijlen en tussenstijlen) van Venlo-warenhuizen. Deze luchtraamprofielen worden in het lichtberekeningsprogramma automatisch ‘op elkaar’ gelegd.

Indien er op of in een profiel glas wordt opgelegd moet het glas ook op tekening staan. Over het algemeen is het aan te bevelen in dit stadium extra aandacht te schenken aan de kwaliteit van de tekening en er bijvoorbeeld voor te zorgen dat de

tekening in een gemakkelijke schaal getekend is en dat alle (hoofd)maten in de tekening zijn opgenomen.

- Het positioneren van het profiel op tekening

De doorsnede van de profielvorm(en) moeten tot de juiste hoek geroteerd worden, precies zoals ze in de praktijk gemonteerd zit(ten). Een geroteerde positie van de doorsnede komt bijvoorbeeld voor bij de onderdorpel en de steunregel van het luchtraam en bij een gording van een Breedkapkas. Let wel, dit geldt niet voor bijvoorbeeld de dekroede of een kolom. De hellingshoeken van deze profielen van respectievelijk ca. 22° en 90° zijn evenwijdig aan het profiel en worden ingevoerd bij de gegevens van de profielen in het lichtberekeningsprogramma van IMAG-DLV-TNO.

- Het opdelen van het profiel in een linker en een rechter zijde

Het profiel, symmetrisch of asymmetrisch gevormd, wordt opgedeeld in een linker zijde en een rechter zijde. Met een loodlijn ten opzichte van het horizontale kasgrondoppervlak vanaf het hoogste punt van de profielvorm wordt het profiel in tweeën gesplitst. Bij symmetrische profielen, met de doorsnede horizontaal gepositioneerd, is dit tevens de verticale hartlijn van het profiel. De linker en rechter helft van het profiel zijn dan elkaars spiegelbeeld.

- Het opdelen van het profielvorm in gestapelde trapezia

Ten behoeve van een nauwkeurige bepaling van de profieleigenschappen moet het profiel in voldoende 'schijven' of trapezia worden opgedeeld. In het lichtberekeningsprogramma van IMAG-DLV-TNO kan het profiel in maximaal 10 trapezia worden opgedeeld. Eerst moet een hulplijn van de omtrek van het profiel getekend worden. Deze hulplijn, de zogenaamde omtreklijn, volgt de weg van een strak gespannen koord om het profiel heen. Het is goed mogelijk dat deze lijn de contouren van profielvorm slechts ten dele volgt, maar dat is voor de bepaling van de lichtonderschepping niet van invloed. De horizontale lijnen van de trapezia worden getekend door vanuit alle hoekpunten van de omtreklijn (links of rechts van de loodlijn) een horizontale lijn te tekenen. Vanuit het snijpunt tussen de hartlijn van het eventueel aanwezige glas en de omtreklijn wordt eveneens horizontale lijn getekend. Met behulp van deze (extra) trapezia kan precies worden aangegeven welk deel van het profiel boven en welk deel van het profiel onder het glas zit. In het lichtberekeningsprogramma kunnen de breedte van de trapezia van de linker en de rechter profieldelen separaat worden ingevoerd. Het aantal trapezia en de hoogte van de trapezia zijn voor zowel het linker als het rechter deel van het profiel altijd gelijk, ook bij asymmetrische profielvormen. Bij sommige asymmetrische profielvormen kan het laagste punt van het profiel naast de loodlijn liggen. In dat geval wordt de breedte van de betreffende trapezia en alle daaropvolgende trapezia de (negatieve cq. positieve) afstand tussen de loodlijn en de omtreklijn. Op zich lijkt dat een vreemde wijze van modelleren, maar rekentechnisch geeft dit wel de goede uitkomsten. De profielvormen kunnen in het lichtberekeningsprogramma steeds numeriek en grafisch gecontroleerd worden.

- Het bepalen van de vormfactoren

Met behulp van vormfactoren kan worden aangegeven in hoeverre het licht dat op het profiel 'valt' in de kas wordt gereflecteerd. Bij een vormfactor van 100% wordt al het licht dat op het profiel valt in de kas gereflecteerd en bij een vormfactor van 0% wordt er geen licht in de kas gereflecteerd. Gereflecteerde licht dat in de kas 'valt' heeft een kleinere hellingshoek dan 0° (gemeten ten opzichte van de horizon). Bij de berekening van de lichtdoorlatendheid wordt uitgegaan van diffuus licht, dat wil zeggen dat de profielen beschenen worden door een egale lichtkoepel van 180° . Voor het bepalen van de vormfactoren van een profiel mag worden uitgegaan van lichtbundels met een (gemiddelde) stralingshoek van $+45^\circ$ (rechterzijde) en $+45^\circ$ (linkerzijde) ten opzichte van de loodlijn van het profiel. Eventueel kan de bepaling van de vormfactoren nauwkeuriger worden uitgevoerd door de reflectie van meerdere lichtbundels onder andere stralingshoeken te onderzoeken. In de meeste gevallen zijn de berekeningsresultaten bij lichtbundels met een stralingshoek van $\pm 45^\circ$ voldoende nauwkeurigheid.

De vormfactor van een trapezium wordt berekend door het percentage te bepalen van de breedte van de lichtbundel dat in de kas wordt gereflecteerd ten opzichte van de breedte van de lichtbundel waarmee de trapezium beschenen is. Van alle trapezia van het profiel moet afzonderlijk worden nagegaan hoeveel procent van de oorspronkelijke lichtbundel in de kas gereflecteerd wordt.

Indien een trapezium niet door lichtbundels onder een hoek van $\pm 45^\circ$ beschenen wordt, wordt de vormfactor standaard 0%. Dit komt met name voor bij de onderste trapezia van profielen die aan de onderzijde smaller worden.

2.2 Het invoeren van profielgegevens in het lichtberekeningsprogramma van IMAG-DLV-TNO.

In het lichtberekeningsprogramma van IMAG-DLV-TNO worden de benodigde gegevens van de trapezia van een profielvorm in een tabel opgevraagd. Hierna worden de invoergegevens per trapezium in dezelfde volgorde als in de tabel van het lichtberekeningsprogramma behandeld.

- Trapezium (in het lichtberekeningsprogramma “Profielvlakken” genoemd)

Deze kolom uit de tabel van het lichtberekeningsprogramma wordt gebruikt om aan te geven van welke trapezia de invoergegevens in de volgende kolommen gevraagd worden. De trapezia zijn genummerd voor de linkerzijde ‘zijlinks’ 1 t/m 10 en vervolgens voor de rechterzijde ‘zijrechts’ van 1 t/m 10. De gegevens van de bovenste trapezium van het profiel worden als eerste ingevoerd.

- Breedte van een trapezium

In deze “kolom” van de tabel van het lichtberekeningsprogramma wordt de breedte van alle trapezia van het profiel gevraagd. Bij symmetrische profielen is de breedte van de linkerzijde gelijk aan de breedte van de rechterzijde. Bij asymmetrische profielen is dit niet het geval. Indien de loodlijn van het profiel niet het laagste punt van het profiel raakt, moet de horizontale afstand van het laagste punt tot de loodlijn als breedte van zowel de linker- als de rechtertrapezia van alle daarop volgende trapezia worden opgegeven. De eerste waarde in de kolom ‘Breedte’ van de tabel is de startwaarde van het rekenmodel en is altijd gelijk aan ‘0’. Onderaan de invoergegevens kan de maximale breedte van het profiel gecontroleerd worden.

- Hoogte van een trapezium

De hoogte van de trapezia voor de linker- en rechterzijde van het profiel zijn altijd aan elkaar gelijk. In het lichtberekeningsprogramma heeft dan ook slechts de hoogte van de trapezia van de linkerzijde te worden opgegeven. De eerste waarde in de kolom ‘Hoogte’ van de tabel is de startwaarde van het rekenmodel en is normaal altijd gelijk aan ‘0’. Alleen bij profielen die aan de bovenzijde een puntvorm hebben kan de startwaarde groter zijn dan ‘0’. Onderaan de invoergegevens kan de totale hoogte van het profiel gecontroleerd worden.

- Vormfactor van een trapezium

De volgens hoofdstuk 2.1 bepaalde vormfactoren kunnen per trapezium worden ingevoerd. De eerst gegeven waarde in de kolom ‘Vormfactor’ uit de tabel is de startwaarde van het rekenmodel en is altijd gelijk aan ‘100%’. Bij symmetrische profielen zijn de vormfactoren voor de linker- en rechterzijde aan elkaar gelijk.

Voor de vormfactoren van trapezia waar geen lichtbundel onder hoek van $\pm 45^\circ$ op valt wordt standaard '0%' ingevoerd.

- Reflectiewaarden van het materiaal

In principe wordt de waarde van de reflectie voor de trapezia overgenomen uit de algemene gegevens van het profiel. Daar wordt gevraagd het basismateriaal van het profiel op te geven. Indien het profiel uit meerdere materialen is opgebouwd kan per trapezium de reflectiewaarde worden aangepast. Uitgangspunten voor de waarde van de reflectie in de lichtberekening zijn:

- 15% = reflectiewaarde voor staal
- 45% = reflectiewaarde voor aluminium
- 70% = reflectiewaarde voor witcoating

- Profielen met openingen.

In het geval dat er van een profiel regelmatig materiaal uit de doorsnede is weggenomen kan de invloed op de lichtonderschepping per trapezium met de variabele "Open profiel" worden opgegeven. Met een waarde van 0% wordt aangegeven dat de betreffende trapezium van het profiel geheel gesloten is. Bij "open" profielen wordt het percentage van het "open" oppervlak bepaald, bijvoorbeeld een waarde van 50% . Dit percentage moet vervolgens vermenigvuldigd worden met een nieuw te bepalen vormfactor die behoort bij de reflectie en/of ongehinderde doorgang van lichtbundels onder een hoek van $\pm 45^\circ$ in de kas.

- Positie van een trapezium ten opzichte van het glas

De positie van het profiel ten opzichte van het glas heeft invloed op de lichtonderschepping van het profiel. Dit heeft te maken met de hoeveelheid licht die op de zijvlakken van de trapezia van het profiel valt. Bij definitie van de trapezia van de profielen is rekening gehouden met een extra trapezium ter plaatse van het glas. Zo doende is voldoende nauwkeurig op te geven welk deel van het profiel "boven" het glas uitsteekt en welk deel "onder" het glas uitsteekt. Dit wordt met de tekst "onder" of "boven" in het lichtberekeningsprogramma opgegeven.

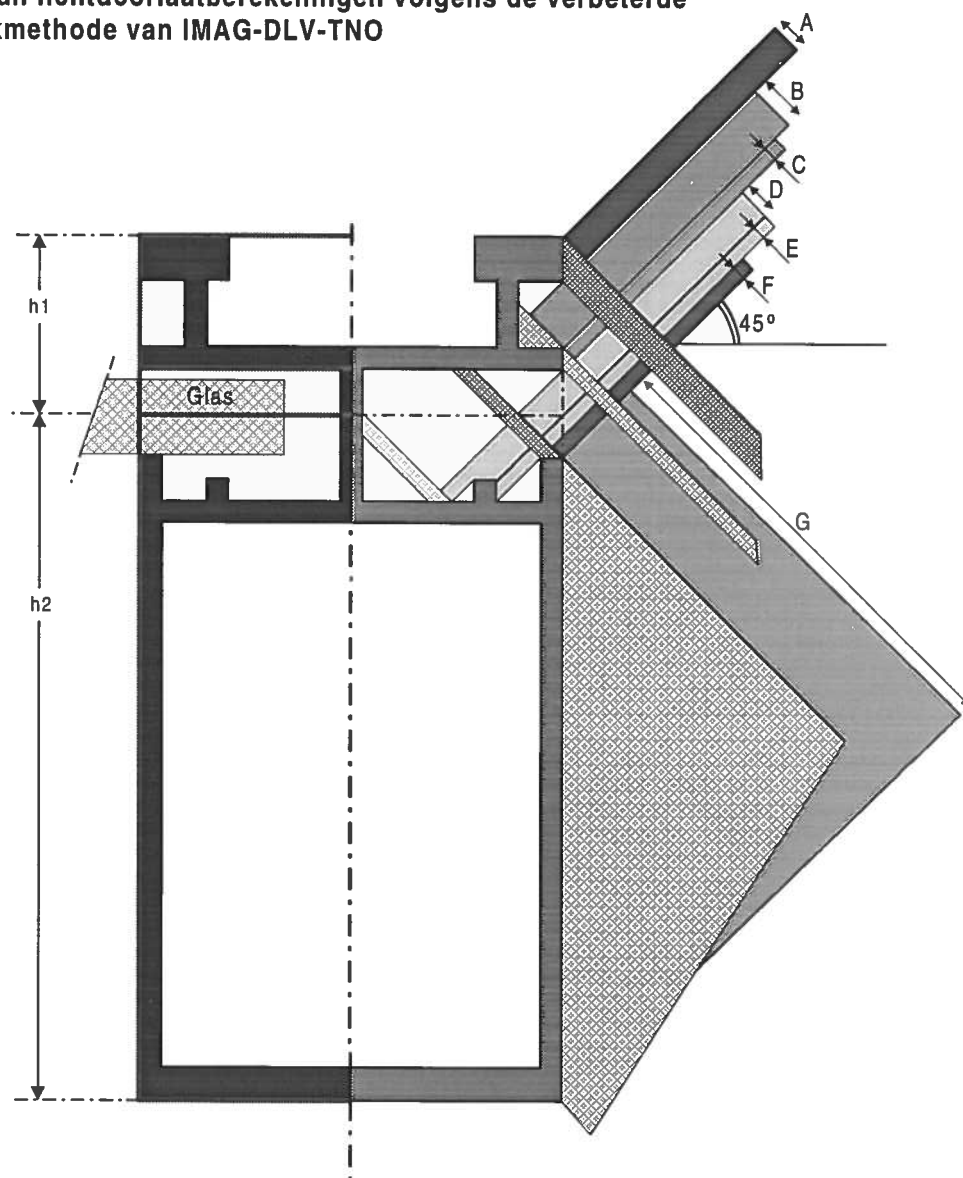
3. Uitgewerkte voorbeelden

3.1 Dekroede van een Venlo-warenhuis

Figuur 1: Een traditionele dekroede voor een Venlo-warenhuis met een kapmaat van 4,0 m

Figuur 1: Dekroede

Voorbeeld van het bepalen van profieleigenschappen ten behoeve van lichtdoorlaatberekeningen volgens de verbeterde 1/2-omtrekmethode van IMAG-DLV-TNO



	Hoogte	Vormfactor	Positie t.o.v. glas
Trapezium 1	h_1	$v_1 = (A+C)/(A+B+C+D)$	boven
Trapezium 2	h_2	$v_2 = G/(E+F+G)$	onder

PROFIEL

Subtitel

roeden

: excl. roeden onder het luchtraam

Materiaal (1, 2, 3)

Aantal profielen per kaseenheid

Lengte profiel per kaseenheid

Hoek van het profiel

Profiel onder een eerder profiel:

- breedte van het eerdere profiel

- afstand tot eerdere profiel

- bovenbreedte van het profiel

- extra schaduw op het profiel

Licht op profiel boven het glas

Licht op profiel onder het glas

2**5.0****2080****23°**

R = 45% aluminium

stuk(s)/(4m x 4.5m)

mm/(4m x 4.5m)

schuin (0.39rad)

0 mm

0 mm

0 mm

0% schaduw

100%

84%

1.678%

Tekening profiel



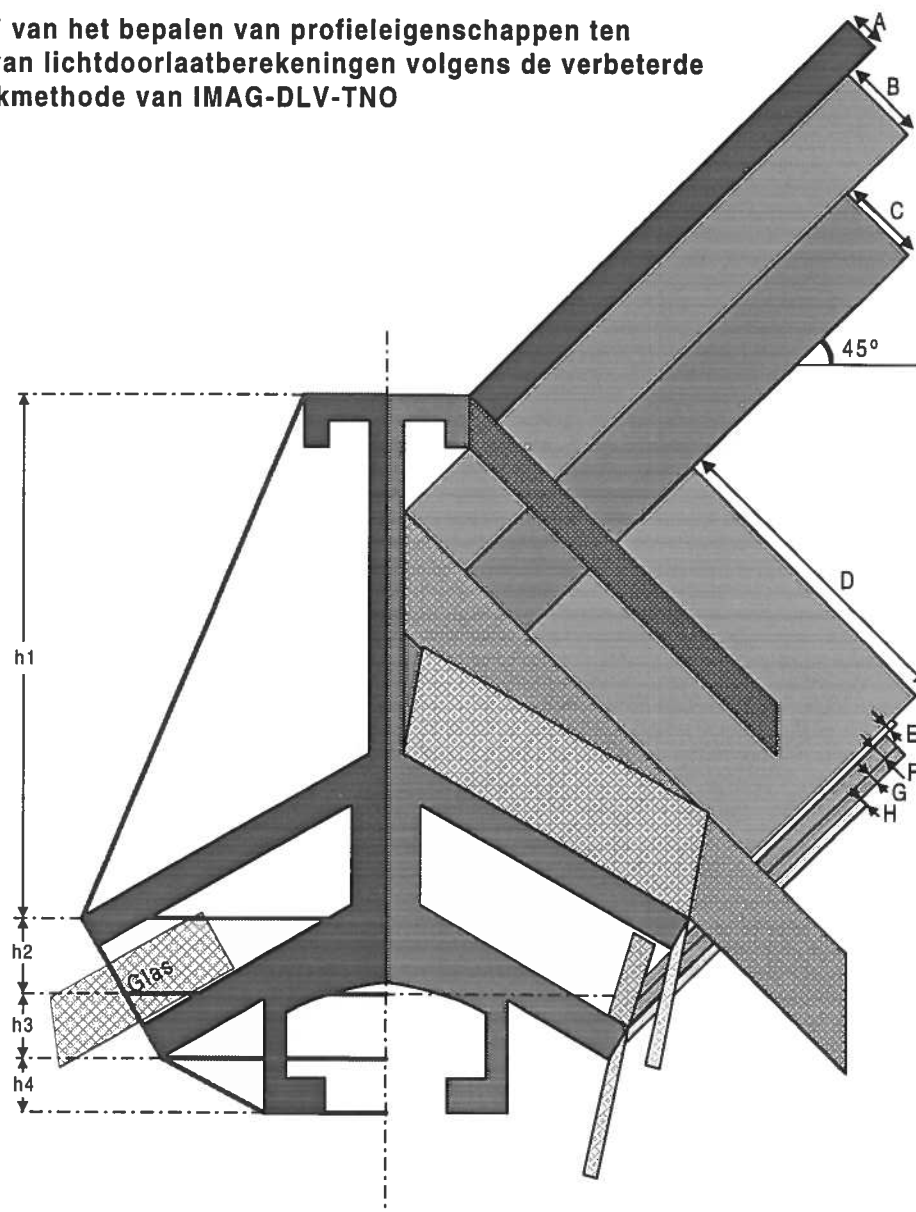
Profielvlak	Breedte	Hoogte	Vorm-factor	Reflectie	"Open" profiel	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonder-schepping	Licht op profiel	Absolute lichtonder-schepping
Linkerzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	45%	0%	boven	0.1%	100%	0.1%
bovenlinks	10.00								
zijlinks1		8.25	36%	45%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	10.00								
zijlinks2		31.75	95%	45%	0%	onder	0.1%	84%	0.0%
	10.00								
zijlinks3		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00								
zijlinks4		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00								
zijlinks5		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00								
zijlinks6		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00								
zijlinks7		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00								
zijlinks8		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00								
zijlinks9		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00								
zijlinks10		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00								
		0.00	+						
	Hoogte	40.00							
Rechterzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	45%	0%	boven	0.1%	100%	0.1%
bovenrechts	10.00								
zijrechts1		8.25	36%	45%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	10.00								
zijrechts2		31.75	95%	45%	0%	onder	0.1%	84%	0.0%
	10.00								
zijrechts3		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00								
zijrechts4		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00								
zijrechts5		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00								
zijrechts6		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00								
zijrechts7		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00								
zijrechts8		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00								
zijrechts9		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00								
zijrechts10		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	84%	0.0%
	0.00								
		0.00	+						

3.2 Voorbeeld van een nok

Figuur 2: Een traditionele “hoge” nok voor een Venlo-warenhuis met een kapmaat van 4,0 m.

Figuur 2: Nok

Voorbeeld van het bepalen van profieleigenschappen ten behoeve van lichtdoorlaatberekeningen volgens de verbeterde 1/2-omtrekmethode van IMAG-DLV-TNO



	Hoogte	Vormfactor	Positie t.o.v. glas
Trapezium 1	h_1	$v_1 = (A+B)/(A+B+C+D)$	boven
Trapezium 2	h_2	$v_2 = E/(E+F)$	boven
Trapezium 3	h_3	$v_3 = H/(G+H)$	onder
Trapezium 4	h_4	$v_4 = 0$	onder

PROFIEL**nok**

Subtitel

tussen de luchtramen

Materiaal (1, 2, 3)

2

R = 45% aluminium

Aantal profielen per kaseenheid

1.0

stuk(s)/(4m x 4.5m)

Lengte profiel per kaseenheid

2250

mm/(4m x 4.5m)

Hoek van het profiel

0°

horizontaal (0.00rad)

Profiel onder een eerder profiel:

- breedte van het eerdere profiel

0 mm

- afstand tot eerdere profiel

0 mm

- bovenbreedte van het profiel

0 mm

- extra schaduw op het profiel

0% schaduw

Licht op profiel boven het glas

100%

Licht op profiel onder het glas

86%**0.360%**

Tekening profiel



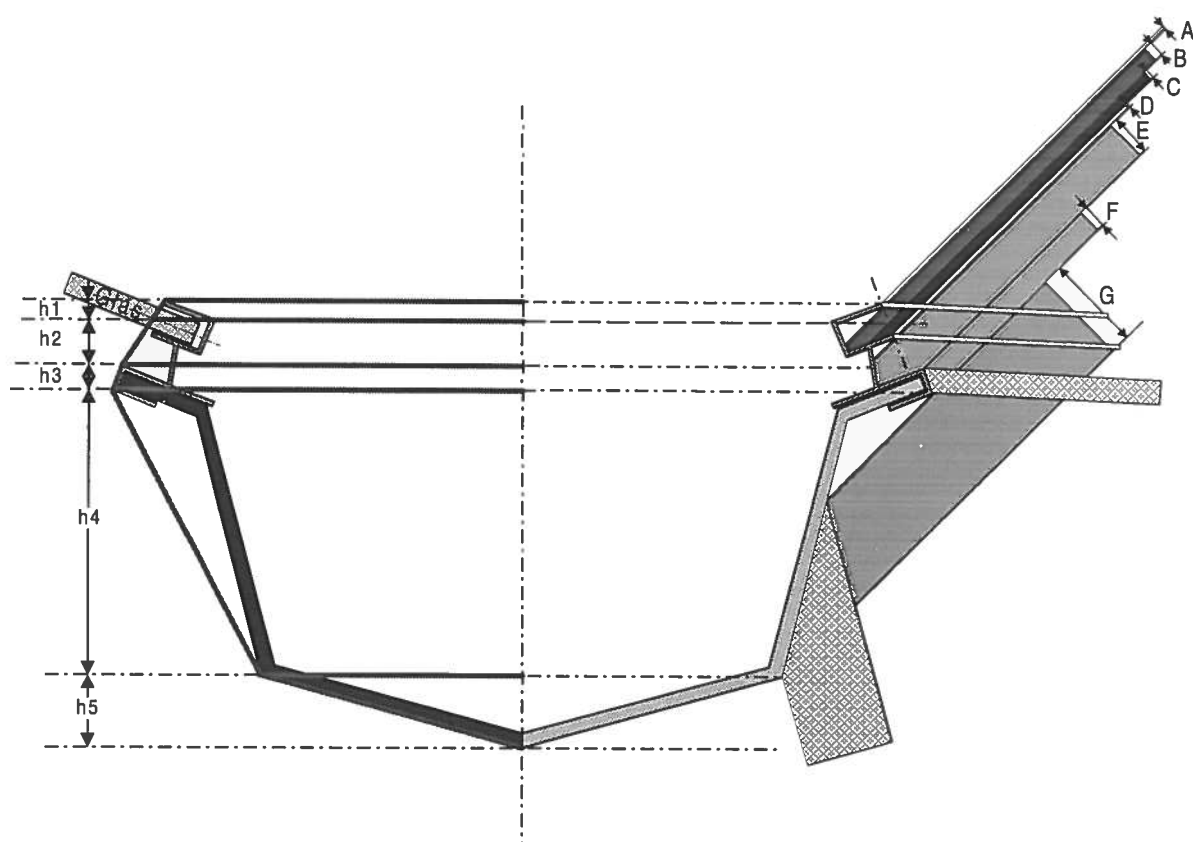
Profielvlak	Breedte	Hoogte	Vorm-factor	Reflectie	"Open" profiel	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonder-schepping	Licht op profiel	Absolute lichtonder-schepping
Linkerzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	45%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
bovenlinks	3.43								
zijlinks1		23.67	33%	45%	0%	boven	0.1%	100%	0.1%
	13.72								
zijlinks2		3.43	11%	45%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	11.66								
zijlinks3		2.74	21%	45%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	10.29								
zijlinks4		2.40	0%	45%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	5.49								
zijlinks5		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijlinks6		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijlinks7		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijlinks8		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijlinks9		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijlinks10		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
	Hoogte	32.25							
Rechterzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	100%	45%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
bovenrechts	3.43								
zijrechts1		23.67	33%	45%	0%	boven	0.1%	100%	0.1%
	13.72								
zijrechts2		3.43	11%	45%	0%	boven	0.0%	100%	0.0%
	11.66								
zijrechts3		2.74	21%	45%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	10.29								
zijrechts4		2.40	0%	45%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	5.49								
zijrechts5		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijrechts6		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijrechts7		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijrechts8		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijrechts9		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
zijrechts10		0.00	0%	45%	0%	onder	0.0%	86%	0.0%
	0.00								
	Hoogte	32.25							
	Breedte	27.45							
Totaal:							0.4%		0.4%
Aantal profielen:							1.00		1.00

3.3 Voorbeeld van een goot

Figuur 3: Een traditionele stalen goot voor een Venlo-warenhuis met een kapmaat van 4,0 m en een overspanning van 4,5 m.

Figuur 3: Gootprofiel

Voorbeeld van het bepalen van profieieigenschappen ten behoeve van lichtdoorlaatberekeningen volgens de verbeterde 1/2-omtrekmethode van IMAG-DLV-TNO



	Hoogte	Vormfactor	Positie t.o.v. glas
Trapezium 1	h_1	$v_1 = A / (A+B)$	boven
Trapezium 2	h_2	$v_2 = D / (C+D+E)$	onder
Trapezium 3	h_3	$v_3 = F / F=1$	onder
Trapezium 4	h_4	$v_4 = G / G=1$	onder
Trapezium 5	h_5	$v_5 = 0$	onder

PROFIEL

Subtitel

goot

: APD-goot

Materiaal (1, 2, 3)

1

R = 20% verzinkt staal

Aantal profielen per kaseenheid

1.0

stuk(s)/(4m x 4.5m)

Lengte profiel per kaseenheid

4500

mm/(4m x 4.5m)

Hoek van het profiel

0°

horizontaal (0.00rad)

Profiel onder een eerdere profiel:

- breedte van het eerdere profiel

0 mm

- afstand tot eerdere profiel

0 mm

- bovenbreedte van het profiel

0 mm

- extra schaduw op het profiel

: 0% schaduw

Licht op profiel boven het glas

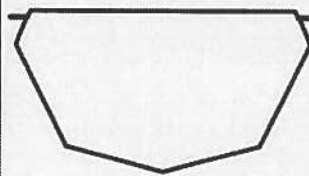
: 100%

Licht op profiel onder het glas

: 81%

4.739%

Tekening profiel



Profielvlak	Breedte	Hoogte	Vorm-factor	Reflectie	"Open" profiel	Positie t.o.v. glas	Relatieve lichtonder-schepping	Licht op profiel	Absolute lichtonder-schepping
Linkerzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	0%	20%	0%	boven	2.0%	100%	2.0%
bovenlinks	80.66								
zijlinks1		4.25	28%	45%	0%	boven	0.1%	100%	0.1%
	83.21								
zijlinks2		11.89	10%	45%	0%	onder	0.1%	81%	0.1%
	88.30								
zijlinks3		5.43	100%	20%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
	90.00								
zijlinks4		63.68	100%	20%	0%	onder	0.2%	81%	0.2%
	59.40								
zijlinks5		16.13	0%	20%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
	0.00								
zijlinks6		0.00	0%	20%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
	0.00								
zijlinks7		0.00	0%	20%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
	0.00								
zijlinks8		0.00	0%	20%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
	0.00								
zijlinks9		0.00	0%	20%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
	0.00								
zijlinks10		0.00	0%	20%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
	0.00								
		Height	101.38						
Rechterzijde trapezium									
	0.00								
		0.00	0%	20%	0%	boven	2.0%	100%	2.0%
bovenrechts	80.66								
zijrechts1		4.25	28%	45%	0%	boven	0.1%	100%	0.1%
	83.21								
zijrechts2		11.89	10%	45%	0%	onder	0.1%	81%	0.1%
	88.30								
zijrechts3		5.43	100%	20%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
	90.00								
zijrechts4		63.68	100%	45%	0%	onder	0.1%	81%	0.1%
	59.40								
zijrechts5		16.13	0%	20%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
	0.00								
zijrechts6		0.00	0%	20%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
	0.00								
zijrechts7		0.00	0%	20%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
	0.00								
zijrechts8		0.00	0%	20%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
	0.00								
zijrechts9		0.00	0%	20%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
	0.00								
zijrechts10		0.00	0%	20%	0%	onder	0.0%	81%	0.0%
	0.00								
		Height	101.38						
		Breedte	180.00						
Totaal:							4.9%		4.7%
Aantal profielen:							1.00		1.00

DEEL II VENTILATIECAPACITEIT

TNO-rapport
97-CON-R1535/1

REKENMETHODE VOOR DE BEPALING VAN DE
VENTILATIECAPACITEIT VAN EEN TUINBOUWKAS

TNO Bouw

Datum 16 juni 1998

Auteur(s) ir. IJ.J. van Straalen
ir. H.D.M. Kool

Lange Kleiweg 5, Rijswijk
Postbus 49
2600 AA Delft

Telefoon 015 284 20 00
Fax 015 284 39 90

Bijdragegevers:
NOVEM, Landbouwschap, STOREKA,
Ministerie van Economische Zaken

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onder-
zoeksovereenkomsten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

Projectnaam: Energie-geïntegreerd
ontwerpen van tuinbouwkassen

Projectnr. : 07.21.4.1681

Pagina's : 14
Tabellen : -
Figuren : 1
Bijlagen : 2

© 1998
TNO

Thema : Energie
WP-onderwerp : 221/569 Kernactiviteit Agro Structures (KAS)
Trefwoord(en): Kassenbouw, constructie, ventilatiegraad

VOORWOORD

Tot op heden hebben tuinders bij hun keuze voor kasttype, kasafmetingen, kasonderdelen en kasmaterialen (zoals dit in de praktijk gebeurt met CASTA/Kassenbouw) het probleem, dat zij geen objectieve informatie ter beschikking hebben om de consequenties van hun keuzes voor het energieverbruik van en lichttoetreding in hun kas te beoordelen. Om hierin verandering te brengen wordt door TNO Bouw, Kernactiviteit Agro Structures (K.A.S.) in opdracht van het Landbouwschap, NOVEM en de stichting STOREKA, het project "Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen" uitgevoerd. De looptijd van dit project is november 1995 tot en met juni 1998.

De doelstelling van het project "Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen" is het ontwikkelen van objectieve energie-indicatoren ter ondersteuning van de tuinders bij hun keuzes en de implementatie van deze indicatoren in de ontwerpmethodiek CASTA/Kassenbouw van nieuwe tuinbouwkassen. Concreet gaat het hierbij om de energie-indicatoren lichtdoorlatendheid, ventilatiecapaciteit, productie-energie en energiedichtheid. De afgeleide doelstellingen liggen op het vlak van:

- energiebesparing, absoluut en relatief;
- vergroting van het energiebewustzijn bij het aanschaffen van een tuinbouwkas;
- stimulering van de ontwikkeling van energieuze tuinbouwkassen;
- efficiëntere benutting van de grondstoffen;
- ontwikkeling van een objectieve standaardmethode voor de numerieke bepaling van de lichtdoorlatendheid, de energiedichtheid de ventilatiecapaciteit en de energie benodigd voor de productie van huidige en nieuwe kasdek- en gevelsystemen.

In voorliggend rapport is een analyse uitgevoerd naar de ventilatiecapaciteit van een tuinbouwkas. Alvorens de methodiek gebaseerd op de meest recente internationale ontwikkelingen uiteen te zetten, wordt in het algemeen ingegaan op de complexiteit van de karakterisering van de ventilatie in een tuinbouwkas. De gepresenteerde rekenmethodiek wordt aan de hand van een tweetal voorbeeldberekeningen geïllustreerd. Tenslotte worden mogelijke toekomstige ontwikkelingen aangegeven.

INHOUDSOPGAVE

	VOORWOORD	2
	INHOUDSOPGAVE	3
1	INLEIDING	4
2	KARAKTERISERING VENTILATIE	5
2.1	Overzicht invloedsfactoren	5
2.2	Huidige methoden	5
3	BESCHRIJVING REKENMETHODE	6
3.1	Toepassingsgebied	6
3.2	Uitwerking	6
4	VOORBEELDBEREKENINGEN VAN VEEL VOORKOMENDE TUINBOUWKASSEN	8
4.1	Venlo-warenhuis	8
4.2	Breedkap-kas	8
5	TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN	9
	REFERENTIES	10
BIJLAGE A: Voorbeeldberekening ventilatiecapaciteit Venlo-warenhuis		
BIJLAGE B: Voorbeeldberekening ventilatiecapaciteit Breedkap-kas		

1 INLEIDING

De ventilatiecapaciteit van een tuinbouwkas is een belangrijke parameter, die een directe relatie heeft met de energie-huishouding van een tuinbouwkas. Voor een energie-zuinige tuinbouwkas is het wenselijk dat het aantal en de grootte van de luchtramen beperkt blijft. Voor het gewas is het echter noodzakelijk dat er een bepaalde mate van ventilatie aanwezig is.

De belangrijkste reden waarom er voor het gewas dient te worden geventileerd is om overtollige warmte en vocht kwijt te kunnen raken. Overtollige warmte en vocht ontstaan met name door de opwarming van de kas door de zon, respectievelijk door de verdamping van water door het gewas. Of er sprake is van overtollige warmte en vocht in een kas hangt samen met het type gewas. Voor bepaalde gewassen mag de temperatuur niet te hoog oplopen, terwijl voor andere gewassen een hoge temperatuur juist wenselijk is. Hierbij is ventilatie alleen bedoeld voor de afvoer van overtollig vocht. Ook is het vaak zo dat een kas in de winterperiode maanden niet wordt gelucht. De mate van ventilatie van een kas hangt dus samen met het type gewas.

Om de energie-huishouding van een tuinbouwkas te optimaliseren zal de grootte en het aantal luchtramen moeten worden geminimaliseerd, gegeven de ventilatiebehoefte van het type gewas waarvoor de tuinbouwkas is bedoeld. Daarbij dient rekening te worden gehouden met het feit dat de plaatsing van de luchtramen gelijkmatig over de kas is verdeeld. Behalve dat de lekverliezen zullen worden geminimaliseerd, zal de kasconstructie bij toepassing van kleinere luchtramen goedkoper zijn.

Om de kosten van een kasconstructie te reduceren en de energie-huishouding te optimaliseren is het noodzakelijk dat er voor de ventilatie van de kas een eenduidige parameter wordt gehanteerd. In hoofdstuk 2 wordt daartoe een kwalitatieve uiteenzetting gegeven van welke invloedsfactoren de ventilatie afhankelijk is. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 voor de mate van ventilatie van een tuinbouwkas de parameter ventilatiecapaciteit toegelicht. De kwantitatieve bepaling van deze parameter is gebaseerd op de rekenmethodiek die het resultaat is van de meest recente internationale ontwikkelingen. Ter illustratie wordt in hoofdstuk 4 voor een tweetal kastypen de waarde van de ventilatiecapaciteit berekend. Tenslotte wordt in hoofdstuk 5 een nabeschouwing gegeven over mogelijk toekomstige ontwikkelingen die zouden kunnen bijdragen aan een verdere optimalisatie van de ventilatie en dus de energie-huishouding van een tuinbouwkas.

2 KARAKTERISERING VENTILATIE

2.1 Overzicht invloedsfactoren

De mate van ventilatie van een tuinbouwkas wordt bepaald door een groot aantal invloedsfactoren. Als belangrijkste kunnen worden beschouwd:

- a) de grootte van de luchtramen;
- b) het aantal luchtramen;
- c) de vorm van de luchtramen;
- d) de positie van de luchtramen in het dek en de gevel;
- e) het volume van de kas;
- f) de aanwezigheid van diverse mechanieken en verwarmingsbuizen;
- g) de windsnelheid en -richting;
- h) de temperatuur en vochtigheid, zowel in als buiten de kas;
- i) de aanwezigheid van eventuele mechanische ventilatiesystemen.

2.2 Huidige methoden

Op basis van het grote aantal invloedsfactoren die in de voorgaande paragraaf zijn opgesomd en de mogelijk onderlinge afhankelijkheid van deze factoren, kan worden gesteld dat de karakterisering van de ventilatie in een kas uitermate complex is. Vandaar dat de huidige methoden eigenlijk alleen op basis van de invloedsfactoren a) b) en c) een kwantitatief kengetal geven. De overige invloedsfactoren (uitgezonderd de laatst genoemde) zijn feitelijk verdisconteerd in de noodzakelijke ventilatiecapaciteit voor een bepaald gewas. Er bestaat daarmee echter geen inzicht in de rol van elk van de invloedsfactoren op zich en van eventuele onderlinge beïnvloeding.

3 BESCHRIJVING REKENMETHODE

3.1 Toepassingsgebied

Van de huidige rekenmethoden ter bepaling van de ventilatiecapaciteit van een tuinbouwkas, kan de methode gegeven in de Europese norm voor de kassenbouw [1] worden gezien als de meest recente. Deze methode kan worden toegepast voor diverse typen kassen, zoals het Venlo-warenhuis, de breedkap-kas en de folie-kas. Er dient echter wel rekening te worden gehouden met het feit dat de waarde voor ventilatiecapaciteit in samenhang met het kastype en de in 2.1 genoemde invloedsfactoren d) tot en met i) dient te worden geïnterpreteerd.

3.2 Uitwerking

De ventilatiecapaciteit van een tuinbouwkas is gedefinieerd als de volgende verhouding:

$$R_{ap} = \frac{\sum A_{ap}}{A_{gr}} \quad (1)$$

waarin:

R_{ap} is de ventilatiecapaciteit (de Engelse term is aperture ratio);

$\sum A_{ap}$ is totale opening van de kas, zoals hierna is gedefinieerd;

A_{gr} is het grondoppervlakte van de kas.

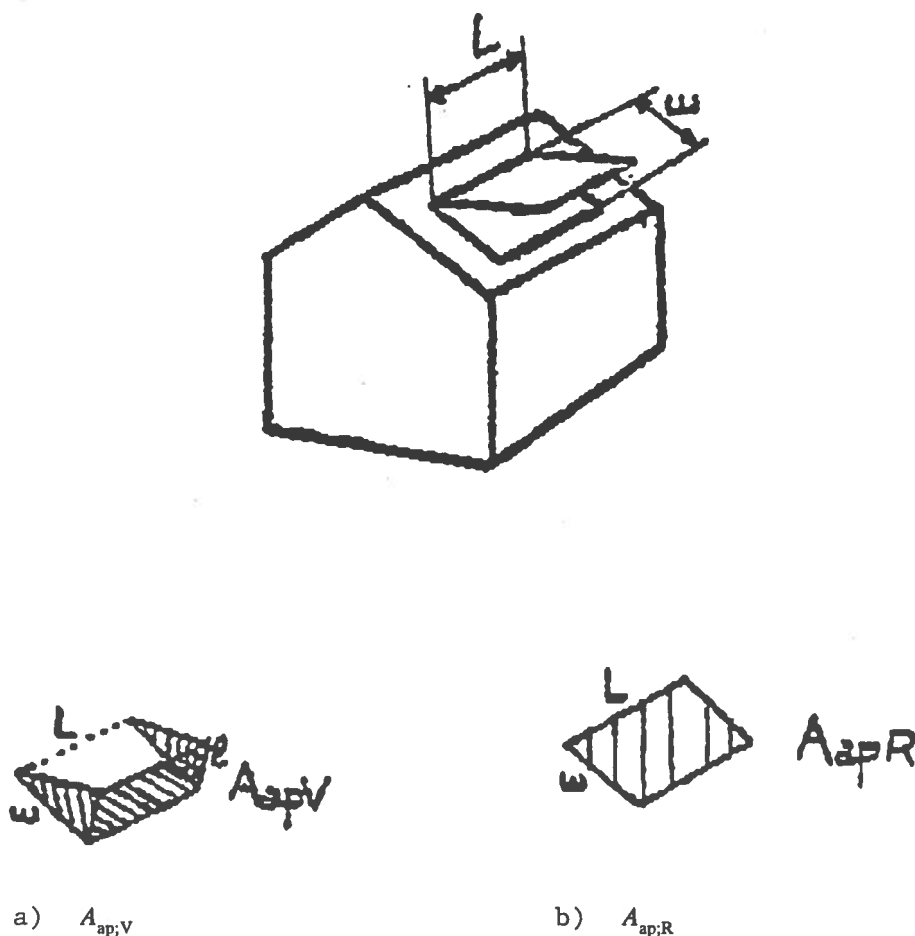
De totale opening van de kas is gelijk aan de sommatie van de openingen van alle in de kas aanwezige luchtramen. De opening van een luchtraam is gedefinieerd als:

$$A_{ap} = \min(A_{ap;V}, A_{ap;R}) \quad (2)$$

waarin:

$A_{ap;V}$ is de oppervlakte van de omsluitende opening van het luchtraam volgens figuur 1a;

$A_{ap;R}$ is de oppervlakte van het luchtraam in het vlak van het dek volgens figuur 1b.



Figuur 1 - Definitie van de oppervlakten te hanteren bij de bepaling van de opening van een luchtraam

Indien het luchtraam met een insectengaas is afgesloten, zal de opening bepaald volgens formule 2 moeten worden gereduceerd. Voor de aan te houden reductiefactor zijn echter geen algemene regels te geven en zullen in voorkomende gevallen op ervaring moeten worden vastgesteld.

De gepresenteerde rekenmethodiek wordt aan de hand van een aantal veel voorkomende kasconstructies in het volgende hoofdstuk geïllustreerd.

4 VOORBEELDBEREKENINGEN VAN VEEL VOORKOMENDE TUINBOUWKASSEN

4.1 Venlo-warenhuis

In bijlage A is een berekening gegeven voor een veel voorkomende Venlo-warenhuis met een kapbreedte van 4 meter en een vakmaat van 4,5 meter. Normaal gesproken is er één luchtraam van 2,25 meter breed per kap/vak aangebracht met een diepte van 1,2 meter. Uit de berekening volgt een ventilatiecapaciteit van 15 %.

4.2 Breedkap-kas

In bijlage B is een berekening gegeven voor een veel voorkomende Breedkap-kas met een kapbreedte van 12,8 meter en een vakmaat van 4,5 meter. Normaal gesproken is er één luchtraam over het gehele vak per kap/vak aangebracht met een diepte van 1,6 meter. Uit de berekening volgt een ventilatiecapaciteit van 25 %.

5 TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN

Om een beter inzicht te verkrijgen in de energie-indicator ventilatiecapaciteit zou een uitgebreidere studie noodzakelijk zijn. Daarbij zou met name gebruik dienen te worden gemaakt van gecompliceerde programmatuur om de warmtestroom in ruimten te berekenen. Daarmee is het mogelijk om de invloeden van de verschillende invloedsfactoren, zoals deze in paragraaf 2.1 zijn opgesomd, nader te analyseren. De onderlinge afhankelijkheden van deze factoren kunnen daarbij worden vastgesteld. Bij een dergelijke studie is het tevens noodzakelijk om de berekeningen te vergelijken met praktijkmetingen. Wat bij dergelijke berekeningen echter niet mag worden onderschat is het vaststellen van de noodzakelijke invoer gegevens. Tevens dient er op basis van de resultaten een nieuwe parameter te worden gedefinieerd die een betere beschrijving geeft dan de in hoofdstuk 3 gedefinieerde parameter ventilatiecapaciteit. Kortom het uitvoeren van een uitgebreidere studie vergt een grote inspanning.

De daarvoor noodzakelijke werkzaamheden vallen echter buiten het kader van het project "Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen". Ondanks de beperkingen van de parameter ventilatiecapaciteit, zoals deze in hoofdstuk 3 is gedefinieerd, kan deze in combinatie met praktijkervaring bijdragen aan het energie-bewust ontwerpen van een tuinbouwkas.

REFERENTIES

- [1] CEN, 'Greenhouses: Design and Construction - Part 1: Commercial production greenhouses', Final Draft, CEN TC 284, June 1996.

BIJLAGE A: VOORBEELDBEREKENING VENTILATIECAPACITEIT VENLO-WARENHUIS

Berekening ventilatiecapaciteit van kassen volgens methode Eurocode Kassenbouw

1. BASIS-INVOLGERGEVEENS:

1.1 Projectomschrijving:

Voorbeeldberekening Venlo-warenhuis

1.2 Definitie van standaard-eenheden:

- Basis eenheden	mm $\equiv$ 1L	kg $\equiv$ 1M	sec $\equiv$ 1T	rad $\equiv$ 1		
- Afgeleide eenheden	N $\equiv$ kg $\cdot$ 1000 $\cdot \frac{\text{mm}}{\text{sec}^2}$	degree $\equiv \frac{\pi}{180} \cdot \text{rad}$	m $\equiv$ 1000 $\cdot$ mm	kN $\equiv$ 1000 $\cdot$ N	cm $\equiv$ 10 $\cdot$ mm	

2. INVOLGERGEVEENS ALGEMEEN:

2.1 Type en afmetingen van de kas

- Kastype:	Venlo		
- Totale breedte kas:	$b_{kas} := 120 \cdot m$		
- Totale lengte kas:	$l_{kas} := 139.5 \cdot m$		
- Kapbreedte:	$b_{kap} := 4.00 \cdot m$		
	aantal kappen:	$n_{kap} := \frac{b_{kas}}{b_{kap}}$	$n_{kap} = 30$
- Vakmaat	$l_{vak} := 4.50 \cdot m$		
	aantal vakken:	$n_{vak} := \frac{l_{kas}}{l_{vak}}$	$n_{vak} = 31$
- Kolomhoogte	$h_p := 4.00 \cdot m$		
- Dekhelling (graden)	$\alpha := 21.5 \cdot degree$		
- Aantal ruiten per rij	$n_{ruit} := 4$		

2.2 Gegevens luchtraam dek

- Type luchtraam:	Opdruk		
- Aantal luchtramen per kap en vak:	$n_{\text{raam}} := 1$		
- Luchtraamdiepte	$d_{\text{lucht}} := 1.20 \cdot \text{m}$		
- Aantal ruiten per luchtraam	$n_{\text{lucht}} := 2$		
	$\text{Luchtraambreedte} \quad b_{\text{lucht}} := n_{\text{lucht}} \cdot \frac{l_{\text{vak}}}{n_{\text{ruit}}}$		$b_{\text{lucht}} = 2.25 \cdot \text{m}$
- Maximum hoek opening:	$\theta_{\text{lucht}} := 2 \cdot \alpha$		

3. BEREKENING

3.1 Luchtraam

- omsluitende opening:	$A_{\text{apV}} := 2 \cdot dlucht \cdot \sin\left(\frac{1}{2} \cdot \theta_{\text{lucht}}\right) \cdot dlucht \cdot \cos\left(\frac{1}{2} \cdot \theta_{\text{lucht}}\right) + 2 \cdot dlucht \cdot \sin\left(\frac{1}{2} \cdot \theta_{\text{lucht}}\right) \cdot blucht$	$A_{\text{apV}} = 2.961 \cdot \text{m}^2$
- opening in vlak dek:	$A_{\text{apR}} := dlucht \cdot blucht$	$A_{\text{apR}} = 2.7 \cdot \text{m}^2$
- minimum waarde:	$A_{\text{ap}} := \text{if}(A_{\text{apV}} < A_{\text{apR}}, A_{\text{apV}}, A_{\text{apR}})$	$A_{\text{ap}} = 2.7 \cdot \text{m}^2$

3.2 Totale opening

- totale opening kas:	$A_{\text{apT}} := n_{\text{kap}} \cdot n_{\text{vak}} \cdot n_{\text{raam}} \cdot A_{\text{ap}}$	$A_{\text{apT}} = 2.511 \cdot 10^3 \cdot \text{m}^2$
- grondoppervlakte kas:	$A_{\text{gr}} := \text{bkas} \cdot \text{lkas}$	$A_{\text{gr}} = 1.674 \cdot 10^4 \cdot \text{m}^2$

3.3 Ventilatiecapaciteit

- berekende ventilatiecapaciteit:	$R_{\text{ap}} := \frac{A_{\text{apT}}}{A_{\text{gr}}}$	$R_{\text{ap}} = 15 \cdot \%$
-----------------------------------	---	-------------------------------

BIJLAGE B: VOORBEELDBEREKENING VENTILATIECAPACITEIT BREEDKAP-KAS

Berekening ventilatiecapaciteit van kassen volgens methode Eurocode Kassenbouw

1. BASIS-INVOLGERGEVEENS:

1.1 Projectomschrijving:

Voorbeeldberekening Breedkap-kas

1.2 Definitie van standaard-eenheden:

- Basis eenheden	mm $\equiv$ 1L	kg $\equiv$ 1M	sec $\equiv$ 1T	rad $\equiv$ 1		
- Afgeleide eenheden	N $\equiv$ kg $\cdot$ 1000 $\cdot \frac{\text{mm}}{\text{sec}^2}$	degree $\equiv \frac{\pi}{180} \cdot \text{rad}$	m $\equiv$ 1000 $\cdot$ mm	kN $\equiv$ 1000 $\cdot$ N	cm $\equiv$ 10 $\cdot$ mm	

2. INVOLGERGEVEENS ALGEMEEN:

2.1 Type en afmetingen van de kas

- Kastype:	Breedkap-kas		
- Totale breedte kas:	bkas $\hat{=}$ 128 $\cdot$ m		
- Totale lengte kas:	lkas $\hat{=}$ 139,5 $\cdot$ m		
- Kapbreedte:	bkap $\hat{=}$ 12,80 $\cdot$ m		
	aantal kappen:	nkap $\hat{=}$ $\frac{\text{bkas}}{\text{bkap}}$	nkap = 10
- Vakmaat	lvak $\hat{=}$ 4,50 $\cdot$ m		
	aantal vakken:	nvak $\hat{=}$ $\frac{\text{lkas}}{\text{lvak}}$	nvak = 31
- Kolomhoogte	hp $\hat{=}$ 4,00 $\cdot$ m		
- Dekhelling (graden)	α $\hat{=}$ 26,0 $\cdot$ degree		
- Aantal ruiten per rij	nruit $\hat{=}$ 4		

2.2 Gegevens luchtraam dek

- Type luchtraam:	Opdruk		
- Aantal luchtramen per kap en vak:	nraam $\hat{=}$ 2		
- Luchtraamdiepte	dlucht $\hat{=}$ 1,60 $\cdot$ m		
- Aantal ruiten per luchtraam	nlucht $\hat{=}$ 4		
	Luchtraambreedte	blucht $\hat{=}$ nlucht $\cdot \frac{\text{lvak}}{\text{nruit}}$	blucht = 4,5 $\cdot$ m
- Maximum hoek opening:	θ_{lucht} $\hat{=}$ 2 $\cdot \alpha$		

3. BEREKENING

3.1 Luchtraam

- omsluitende opening:	$A_{\text{apV}} \hat{=}$ $2 \cdot \text{dlucht} \cdot \sin\left(\frac{1}{2} \cdot \theta_{\text{lucht}}\right) \cdot \text{dlucht} \cdot \cos\left(\frac{1}{2} \cdot \theta_{\text{lucht}}\right) \dots$ $+ 2 \cdot \text{dlucht} \cdot \sin\left(\frac{1}{2} \cdot \theta_{\text{lucht}}\right) \cdot \text{blucht}$	$A_{\text{apV}} = 8,33 \cdot \text{m}^2$
- opening in vlak dek:	$A_{\text{apR}} \hat{=}$ dlucht $\cdot$ blucht	$A_{\text{apR}} = 7,2 \cdot \text{m}^2$
- minimum waarde:	$A_{\text{ap}} \hat{=}$ if ($A_{\text{apV}} < A_{\text{apR}}$, A_{apV} , A_{apR})	$A_{\text{ap}} = 7,2 \cdot \text{m}^2$

3.2 Totale opening

- totale opening kas:	$A_{\text{apT}} \hat{=}$ nkap $\cdot$ nvak $\cdot$ nraam $\cdot A_{\text{ap}}$	$A_{\text{apT}} = 4,464 \cdot 10^3 \cdot \text{m}^2$
- grondoppervlakte kas:	$A_{\text{gr}} \hat{=}$ bkas $\cdot$ lkas	$A_{\text{gr}} = 1,786 \cdot 10^4 \cdot \text{m}^2$

3.3 Ventilatiecapaciteit

- berekende ventilatiecapaciteit:	$R_{\text{ap}} \hat{=}$ $\frac{A_{\text{apT}}}{A_{\text{gr}}}$	$R_{\text{ap}} = 25 \cdot \%$
-----------------------------------	--	-------------------------------

DEEL III PRODUCTIE-ENERGIE

TNO-rapport

96-CON-R1585/2

REKENMETHODE VOOR DE BEPALING VAN DE ENERGIE
BENODIGD VOOR DE PRODUCTIE VAN DE MATERIALEN
VAN EEN KASCONSTRUCTIE

TNO Bouw

Datum

16 juni 1998

Auteur(s)

ir. IJ.J. van Straalen
ir. H.D.M. Kool

Lange Kleiweg 5, Rijswijk
Postbus 49
2600 AA Delft

Telefoon 015 284 20 00
Fax 015 284 39 90

Bijdragegevers:
NOVEM, Landbouwschap, STOREKA,
Ministerie van Economische Zaken

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onder-
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

Projectnaam: Energie-geïntegreerd
ontwerpen van tuinbouwkassen
Projectnr. : 06.21.4.7228 / 06.21.8.7242

Pagina's : 15
Tabellen : -
Figuren : 1
Bijlagen : 2

© 1998
TNO

Thema : Energie
WP-onderwerp : 221/569 Kernactiviteit Agro Structures (KAS)
Trefwoord(en): Kassenbouw, constructie, productie-energie

VOORWOORD

Tot op heden hebben tuinders bij hun keuze voor kastype, kasafmetingen, kasonderdelen en kasmaterialen (zoals dit in de praktijk gebeurt met CASTA/Kassenbouw) het probleem, dat zij geen objectieve informatie ter beschikking hebben om de consequenties van hun keuzes voor het energie-verbruik van en lichttoetreding in hun kas te beoordelen. Om hierin verandering te brengen wordt door TNO Bouw, Kernactiviteit Agro Structures (K.A.S.) in opdracht van het Landbouwschap, de NOVEM en de stichting STOREKA, het project "Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen" uitgevoerd. De looptijd van dit project is november 1995 tot en met juni 1998.

De doelstelling van het project "Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen" is het ontwikkelen van objectieve energie-indicatoren ter ondersteuning van de tuinders bij hun keuzes en de implementatie van deze indicatoren in de ontwerpmethodiek CASTA/Kassenbouw van nieuwe kassen. Concreet gaat het hierbij om de energie-indicatoren lichtdoorlatendheid, ventilatiecapaciteit, productie-energie en energiedichtheid. De afgeleide doelstellingen liggen op het vlak van:

- energiebesparing, absoluut en relatief;
- vergroting van het energiebewustzijn bij het aanschaffen van een kas;
- stimulering van de ontwikkeling van energiezuinige kassen;
- efficiëntere benutting van de grondstoffen;
- ontwikkeling van een objectieve standaardmethode voor de numerieke bepaling van de lichtdoorlatendheid, de energiedichtheid, de ventilatie-capaciteit en de energie benodigd voor de productie van huidige en nieuwe kasdek- en gevelsystemen.

In voorliggend rapport is een analyse uitgevoerd naar de hoeveelheid energie die benodigd is voor de productie van een kasconstructie. Daarbij is een rekenmethodiek uiteengezet, waarmee de productie-energie per vierkante meter kan worden berekend. Tevens wordt ingegaan op de aan te houden waarden voor de energie-inhoud van toegepaste materialen in kasconstructies. Aan de hand van een tweetal voorbeeldberekeningen wordt een nabeschuwing gegeven.

	INHOUDSOPGAVE	
	VOORWOORD	2
	INHOUDSOPGAVE	3
1	INLEIDING	4
2	BESCHRIJVING REKENMETHODE	5
2.1	Toepassingsgebied	5
2.2	Uitwerking	5
3	ENERGIE-INHOUD VAN MATERIALEN TOEGEPAST IN KASCONSTRUCTIE . .	6
3.1	Bronnen	6
3.2	Voorstel voor aan te houden waarden	6
4	VOORBEELDBEREKENINGEN VAN VEEL VOORKOMENDE KASCONSTRUCTIES .	7
4.1	Kassenbestand in Nederland	7
4.2	Venlo-warenhuis	7
4.3	Breedkap-kas	8
5.	GEVOELIGHEIDSANALYSE	9
6.	NABESCHOUWING	10
	REFERENTIES	11
	BIJLAGE A: Energie-inhoud van de meestgebruikte bouwmaterialen	
	BIJLAGE B: Berekening materiaal per vierkante meter as voor een standaard Venlo-warenhuis	

1. INLEIDING

Eén van de deelaspecten bij de analyse van het energieverbruik tijdens de levenscyclus van een kasconstructie is de bepaling van de hoeveelheid energie benodigd voor de productie van de toegepaste materialen. In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van een rekenmethode om deze hoeveelheid energie voor een gegeven kasconstructie te bepalen. In hoofdstuk 3 wordt vervolgens een indicatie gegeven voor de aan te houden waarden voor de energieinhoud van de diverse toegepaste materialen. Vervolgens worden in hoofdstuk 4 voorbeeldberekeningen gegeven voor een tweetal veel voorkomende kastypen en wordt in hoofdstuk 5 een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Tenslotte wordt in hoofdstuk 6 een nabeschuiving gegeven.

2. BESCHRIJVING REKENMETHODE

2.1 Toepassingsgebied

De in dit rapport beschreven rekenmethode voor de bepaling van de energie voor de productie van materialen van kasconstructies is van toepassing voor Venlo-warenhuizen en Breedkap-kassen. De methode beperkt zich tot de constructie van de kas. In de kas geplaatste installaties en energie benodigd voor de bouw vallen buiten de beschouwing van dit rapport. De methodiek is in principe uit te breiden voor andere kastypen zoals folie-kassen.

2.2 Uitwerking

Bij de rekenmethode voor de bepaling van de energie voor de productie van materialen van kasconstructies zijn de volgende stappen te onderscheiden:

Stap 1: Berekening van de hoeveelheid materialen.

Een kasconstructie is uit verschillende materialen opgebouwd. In de voorliggende rekenmethode worden de volgende materialen onderscheiden:

- glas. Het glas is in het dek en de gevels verwerkt.
- aluminium. De constructie van het dek is veelal in aluminium uitgevoerd en in toenemende mate is ook de goot van aluminium.
- staal. Meestal zijn de kolommen en tralieliggers van staal. Opgemerkt wordt dat dit staal in vrijwel alle gevallen is verzinkt.
- beton. Voor de fundering wordt beton toegepast.

Voor een gegeven kasconstructie, met een gegeven oppervlakte en uitvoering, dient voor elk beschouwd materiaal de massa per vierkante meter te worden vastgesteld.

Stap 2: Vaststellen energie-inhoud van toegepaste materialen.

Voor elk van de toegepaste materialen dient de energieinhoud te worden vastgesteld. In het algemeen zal worden uitgegaan van in de literatuur vermelde waarden. In hoofdstuk 3 wordt hierop nader ingegaan.

Stap 3: Berekenen van de productie-energie per vierkante meter.

De energie voor de productie van de toegepaste materialen is als volgt te berekenen:

$$E_{\text{totaal}} = \sum_i e_i m_i$$

waarin:

E_{totaal} is de totale hoeveelheid productie-energie per m² oppervlakte;

e_i is energieinhoud van materiaal i in MJ/kg;

m_i is de massa van materiaal i per m² oppervlakte.

3. ENERGIE-INHOUD VAN MATERIALEN TOEGEPAST IN KASCONSTRUCTIE

3.1 Bronnen

Door verschillende deskundigen zijn onderzoeken uitgevoerd met als doel de energie-inhoud van diverse bouwmaterialen te bepalen. Door de afdeling Beleidsstudies, Kwaliteitszorg en Regelgeving van TNO Bouw is een overzicht van waarden voor de kassenbouw relevante materialen op basis van literatuurgegevens samengesteld. In bijlage A is dit overzicht van de energie-inhoud van de meest gebruikte bouwmaterialen gegeven.

3.2 Voorstel voor aan te houden waarden

Bij nadere bestudering van het overzicht gegeven in bijlage A blijkt dat voor een aantal materialen de deskundigen nogal uiteenlopende waarden geven. Dit wordt mede veroorzaakt door het feit dat de waarden sterk afhankelijk zijn van de gebruikte productiemethode. Zo zullen materialen die met behulp van een moderne installatie zijn vervaardigd een lagere energie-inhoud hebben dan dezelfde materialen die met behulp van verouderde installaties zijn vervaardigd. Tevens zijn de gegeven waarden afhankelijk van de keuzes van de deskundige welke activiteiten ten behoeve van de productie wel en niet worden verdisconteerd.

Op basis van de in bijlage A gegeven waarden voor de energie-inhoud zijn de gemiddelde waarden berekend. Daarbij weegt elk getal dat is gegeven even zwaar mee. Voor de volledigheid zijn tevens de bijbehorende standaardafwijking gegeven. Deze laatsten zijn van nut bij de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse, die in hoofdstuk 5 aan de orde komt.

Voor de vier materialen die bij kasconstructies worden onderscheiden worden in voorliggende studie de volgende waarden aangehouden:

- Glas: 21 MJ per kg.
- Aluminium: 201 MJ per kg. Hierbij wordt uitgegaan van primair geproduceerd aluminium. Er is vandaag de dag een steeds sterkere tendens te zien om uit te gaan van secundair geproduceerd (ge-recycled) aluminium met een veel langere waarde van 17 MJ per kg.
- Staal: 32 MJ per kg.
- Beton: 2 MJ per kg.

Opgemerkt wordt dat de hierboven voorgestelde waarden voor de energie-inhoud voor glas, aluminium, staal en beton slechts indicatief zijn.

4. VOORBEELDBEREKENINGEN VAN VEEL VOORKOMENDE KASCONSTRUCTIES

4.1 Kassenbestand in Nederland

Om een indruk te krijgen van het kassenbestand in Nederland, is getracht de gemiddelde grootte van één tuinbouwbedrijf en de verdeling over de te onderscheiden type kassen te maken. In verband met de beschikbaarheid van gegevens [2] en [3], is 1991 als peiljaar gekozen.

In 1991 was 9988 ha aan kassen (onder glas) aanwezig, verdeeld over 14263 tuinbouwbedrijven. Dit betekent dat de gemiddelde kas, uitgaande van één kas per tuinbouwbedrijf, 0,7 ha groot is. Van het totale assortiment was 81% van het type Venlo-warenhuis, 15% van het type breedkap-kas en 4% overig (schuren, rolkassen en oudere typen).

4.2 Venlo-warenhuis

Het meest toegepast type kas is het Venlo-warenhuis. Weliswaar zijn er in de loop der jaren nogal wat verschillende uitvoeren gebouwd, maar aangenomen kan worden dat de hoeveelheid toegepaste materialen niet noemenswaardig is veranderd. Overeenkomstig de rekenmethode beschreven in hoofdstuk 2 wordt hier voor een Venlo-warenhuis de productie-energie berekend:

Stap 1: Berekening van de hoeveelheid materialen.

In bijlage B is voor een standaard Venlo-warenhuis, zoals deze is opgesteld voor het computerprogramma CASTA/Kassenbouw 1.53 van TNO Bouw, de hoeveelheid materiaal per vierkante meter kas berekend. Daarbij is uitgegaan van een oppervlakte van ca. 0,8 ha. Voor aluminium zijn echter geen waarden gegeven in bijlage B. Bij navraag bij verschillende leveranciers van kasdeksystemen is naar voren gekomen dat een waarde van ca. 1,3 kg/m² een goede richtwaarde is om aan te houden.

Op basis van deze berekening in combinatie met het feit dat een gemiddelde kas van 0,7 ha uit iets meer materiaal is opgebouwd en globale informatie van kassenbouwers, worden de volgende waarden gegeven:

- glas: 13 kg/m²;
- aluminium: 1,3 kg/m²;
- staal: 5,5 kg/m²;
- beton: 30 kg/m².

Stap 2: Vaststellen energiehoud van toegepaste materialen.

De in paragraaf 3.2 voorgestelde waarden van de energie-inhoud zijn:

- glas: 21 MJ/kg;
- aluminium: 201 MJ/kg (ge-recycled 17 MJ/kg);
- staal: 32 MJ/kg;
- beton: 2 MJ/kg.

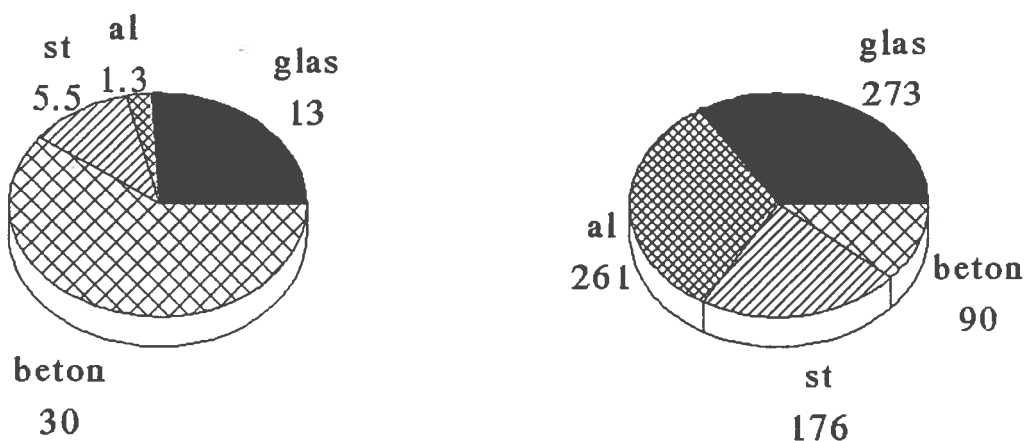
Stap 3: Berekenen van de productie-energie per vierkante meter.

De totale productie-energie is nu gelijk aan:

$$E_{\text{totaal}} = e_{\text{gl}}m_{\text{gl}} + e_{\text{al}}m_{\text{al}} + e_{\text{st}}m_{\text{st}} + e_{\text{b}}m_{\text{b}} =$$

$$21 \cdot 13 + 201 \cdot 1,3 + 32 \cdot 5,5 + 2 \cdot 30 = 273 + 261 + 176 + 60 = 770 \text{ MJ/m}^2$$

In figuur 1 is een overzicht gegeven van de hoeveelheid materiaal per vierkante meter en de bijbehorende productie-energie per vierkante meter.



Materiaalverbruik kg/m²

Productie-energie MJ/m²

Figuur 1 - Overzicht hoeveelheid materiaal en productie-energie per vierkante meter

Wordt er echter gebruik gemaakt van ge-recycled aluminium, dan is de totale productie-energie gelijk aan:

$$E_{\text{totaal}} = e_{\text{gl}}m_{\text{gl}} + e_{\text{al}}m_{\text{al}} + e_{\text{st}}m_{\text{st}} + e_{\text{b}}m_{\text{b}} =$$

$$21 \cdot 13 + 17 \cdot 1,3 + 32 \cdot 5,5 + 2 \cdot 30 = 273 + 22 + 176 + 60 = 531 \text{ MJ/m}^2$$

Het aandeel van aluminium neemt daarmee van 261 tot 22 MJ/m² af, hetgeen een aanzienlijke besparing oplevert.

4.3 Breedkap-kas

In [4] is een vergelijking gemaakt tussen het materiaalverbruik bij een Breedkap-kas en een Venlo-warenhuis. Daarbij zijn alleen de materialen aluminium en staal verwerkt in de draagconstructie en het dek in beschouwing genomen. De hoeveelheid staal en aluminium toegepast in een standaard breedkap-kas (met kolomafstand 12,8 m en kolomhoogte 4 m) zijn gelijk aan respectievelijk 5,4 en 1,0 kg/m².

Deze waarden liggen redelijk in lijn met die voor het Venlo-warenhuis.

5. GEVOELIGHEIDSANALYSE

Op basis van de inventarisatie van energie-inhouden van diverse bouwmaterialen, zoals deze in bijlage A is gepresenteerd, kan worden geconstateerd dat de waarden gegeven in de diverse referenties nogal verschillen. Om een beeld te krijgen van de invloed van deze variaties kan gebruik worden gemaakt van een statistische techniek.

In stap 3 van de rekenmethode (paragraaf 2.2) wordt de gemiddelde waarde van de productie-energie bepaald. Indien voor elk materiaal naast de gemiddelde waarde ook de standaardafwijking (op basis van de verschillende waarden gegeven in de literatuur) van de energie-inhoud bekend is, kan de standaardafwijking van de totale productie-energie van de beschouwde kas worden berekend met:

$$s_{\text{totaal}} = \sqrt{e_{\text{gl}}^2 s_{\text{gl}}^2 + e_{\text{al}}^2 s_{\text{al}}^2 + e_{\text{st}}^2 s_{\text{st}}^2 + e_{\text{b}}^2 s_{\text{b}}^2}$$

Deze formule is geldig indien de waarden voor de diverse materialen onafhankelijk van elkaar zijn, hetgeen ook het geval is.

Op basis van de gegevens van bijlage A worden de volgende waarden voor de standaardafwijking aangehouden:

- glas: $s_{\text{gl}} = 3 \text{ MJ/kg}$;
- aluminium: $s_{\text{al}} = 51 \text{ MJ/kg}$;
- staal: $s_{\text{st}} = 8 \text{ MJ/kg}$;
- beton: $s_{\text{b}} = 1 \text{ MJ/kg}$.

Voor het voorbeeld van hoofdstuk 4 is de standaardafwijking gelijk aan:

$$s_{\text{totaal}} = \sqrt{3^2 \cdot 13^2 + 51^2 \cdot 1,3^2 + 8^2 \cdot 5,5^2 + 1^2 \cdot 30^2} = 94 \text{ MJ/m}^2$$

Uitgaande van een 5 % onder- en overschrijdingskans zijn de uiterste waarden voor de totale productie-energie per vierkante meter kas gelijk aan:

- laagste waarde: $E_{\text{totaal,min}} = E_{\text{totaal}} - 1,64 \cdot s_{\text{totaal}} = 770 - 1,64 \cdot 94 = 616 \text{ MJ/m}^2$
- hoogste waarde: $E_{\text{totaal,max}} = E_{\text{totaal}} + 1,64 \cdot s_{\text{totaal}} = 770 + 1,64 \cdot 94 = 924 \text{ MJ/m}^2$

Deze waarden wijken $\pm 20 \%$ af van het gemiddelde.

6. NABESCHOUWING

In dit rapport is een rekenmethode gegeven voor de bepaling van de energie benodigd voor de productie van materialen van een kasconstructie. De belangrijkste bevindingen zijn als volgt samen te vatten:

- De rekenmethode is opgebouwd uit de volgende drie stappen:
 1. Berekening van de hoeveelheden materialen van een kas.
 2. Vaststellen energie-inhoud van toegepaste materialen.
 3. Berekenen van de productie-energie per vierkante meter.
- Van de kasconstructie worden de volgende materialen in beschouwing genomen:
 - glas;
 - aluminium;
 - staal;
 - beton.
- Het vaststellen van de energie-inhoud van toegepaste materialen is niet eenvoudig, daar de deskundigen nogal afwijkende waarden voor de energie-inhoud van diverse materialen geven. Dit wordt waarschijnlijk mede veroorzaakt door de verschillen in gebruikte productieprocessen.
- Voor de kastypen Venlo-warenhuis en Breedkap-kas is de hoeveelheid materiaal per vierkante meter en de productie-energie per vierkante meter bepaald. In het algemeen is met betrekking tot dit onderwerp geen al te groot onderscheid te maken tussen beide kastypen.
- Op basis van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse kan worden geconcludeerd dat de nauwkeurigheid van de berekende waarde $\pm 20\%$ is, uitgaande van de waarden voor energie-inhoud die in dit rapport zijn aangehouden.
- Het is interessant om na te gaan hoe de in de voorbeeldberekeningen bepaalde waarden voor de productie-energie per vierkante meter zich verhouden tot het energieverbruik die gedurende de levensduur van de kas wordt gemaakt. In het in dit rapport aangehouden peiljaar 1991 is volgens [3] $132,3 \cdot 10^6$ GJ aan aardgas en elektriciteit in de totale glastuinbouw verbruikt. Per vierkante meter, rekening houdend met een totaal van 9988 ha aan kassen, is dit per jaar gelijk aan:

$$\frac{E_{\text{totaal}}}{A_{\text{totaal}}} = \frac{132,3 \cdot 10^6 \text{ GJ}}{9988 \cdot 10^4 \text{ m}^2} = 1300 \text{ MJ/m}^2$$

Indien wordt uitgegaan van een levensduur van 15 jaar bedraagt de in de voorbeelden bepaalde productie-energie van 770 MJ/m^2 slechts ca. 4 % van het totale energieverbruik voor de verwarming van de kas.

- Aanbevolen wordt om bij het in energietechnisch opzicht verbeteren van kasconstructies slecht geringe aandacht te schenken aan de energie-indicator productie-energie. Dit hangt enerzijds samen met het geringe aandeel van de productie-energie in het totale energieverbruik van de kas en anderzijds met de grote spreiding bij de aan te houden energie-inhoud van de toegepaste materialen.

REFERENTIES

- [1] Zabeltitz, C. von, Stubber, D., Bischoff, H., 'Stoff- und Energiebilanz für Gewächshauskonstruktionen', Deutscher Gartenbau 38, 1992.
- [2] CBS, 'De landbouwtelling 1994', Misset, 1994.
- [3] Velden, N.J.A. van der, Sluis, B.J. van der, 'Energie in de glastuinbouw van Nederland in 1991 - Ontwikkeling in de sektor en op de bedrijven', Landbouw-Economisch Instituut (LEI-DLO), 1993.
- [4] Kool, ir. H.D.M., 'De breedkap-kas: Ongekende mogelijkheden', TNO Bouw rapport 94-CON-R1781, 1995.

BIJLAGE A Energie-inhoud van de meest gebruikte bouwmaterialen

In deze bijlage zijn de energieinhouden opgenomen van diverse materialen die gebruikt worden voor de kassenbouw.

[illegible]

- 1 Haas, M. (mei 1987), 'Duurzame bouwproducten'. Amsterdam: WEKA
- 2 Knol, M.E. e.a. (januari 1994) Milieukosten van primaire en secundaire materialen'. Delft: CE
- 3a ISSO 1987, in: Fraanje (1990), 'minimalisering van de milieubelasting in de woningbouw'. Amsterd.: UVA, Eindhoven: TUE
- 3b Boorsma 1980 . In: Fraanje (1990), 'minimalisering van de milieubelasting in de woningbouw'. Amsterdam: UVA, Eindhoven: TUE
- 3c van Dijk en van Galen 1974, in: Fraanje (1990), 'minimalisering van de milieubelasting in de woningbouw'. Amsterd.: UVA, Eindhoven: TUE
- 3d Brown en Stellan 1974, in: Fraanje (1990), 'minimalisering van de milieubelasting in de woningbouw'. Amsterd.: UVA, Eindhoven: TUE
- 3e Kreiger 1975, in: Fraanje (1990), 'minimalisering van de milieubelasting in de woningbouw'. Amsterd.: UVA, Eindhoven: TUE
- 3f Barnes en Rankin 1975, in: Fraanje (1990), 'minimalisering van de milieubelasting in de woningbouw'. Amsterd.: UVA, Eindhoven: TUE
- 3g Over 1976, in: Fraanje (1990), 'minimalisering van de milieubelasting in de woningbouw'. Amsterd.: UVA, Eindhoven: TUE
- 3h Krusche 1982, in: Fraanje (1990), 'minimalisering van de milieubelasting in de woningbouw'. Amsterd.: UVA, Eindhoven: TUE
- 3i Albrecht 1984, in: Fraanje (1990), 'minimalisering van de milieubelasting in de woningbouw'. Amsterd.: UVA, Eindhoven: TUE
- 4a Finland: concrete products, in: TemaNord (1995). 'Environmental data for building materials in the Nordic countries; Principles and guidelines for collection of data: Environmental data for cement, concrete and timber'. Copenhagen: Nordic Council of Norway: ready-mixed concrete.
- 4b Norway: ready-mixed concrete, in: TemaNord (1995). 'Environmental data for building materials in the Nordic countries; Principles and guidelines for collection of data: Environmental data for cement, concrete and timber'. Copenhagen: Nordic Council of Denmark: ready-mixed concrete, in: TemaNord (1995).
- 4c Denemark: ready-mixed concrete, in: TemaNord (1995). 'Environmental data for building materials in the Nordic countries; Principles and guidelines for collection of data: Environmental data for cement, concrete and timber'. Copenhagen: Nordic Council of Denmark: ready-mixed concrete, in: TemaNord (1995).
- 5 Hordijk (1994), 'Duurzaam ontwerpen bij RWS, doellifancieringsverslag 1994', Rijswijk: TNO Bouw, 95-CON-R0477
- 6 de Jong (1991), 'Indicatieve lijst milie-effecten van bouwmaterialen'. Zoetermeer: Buro MESO
- 7 database gebaseerd op bewerkte gegevens uit sympro. in: Nijland en Dukenond (1987). 'Naar een methode voor milieuaardering in de GWW, in voorbereiding, Rijswijk: TNO Bouw
- 8 Heijningen, R. van, J. de Castro en Worrell, E (1993). 'Energiekosten in relatie tot preventie en hergebruik van afvalstoffen, Van Heijningen Energie- en Milieuadvies, Castro Consulting Engineer en Valgroep Natuurwetenschap & Samenleving RUU

BIJLAGE B Berekening materiaal per vierkante meter kas voor een standaard
Venlo-warenhuis

Berekening van materiaalverbruik per vierkante meter kas van Staal, glas en beton

Verlo-warenhuis:

(Gebaseerd op de standaard invoer van CASTA/Kassenbouw 1.53)

Gewicht.xls

Vakmaat	4500 mm
Spantmaat	8000 mm
Spantverlaging	150 mm
Aantal spanten	10 st
Aantal vakken	22 st
Dekhelling	22 graden
Breedte dekglas	1125 mm
Breedte zijgevelglas	800 mm
Breedte kopgevelglas	800 mm
Sg staal	7850 kg/m ³
Sg beton	2400 kg/m ³
Kolomlengte	4000 mm
Kolomafmeting	100 50 3 mm
Aantal kruisschoren	3 st
Kolomafmeting	100 50 3 mm
Bovenbalk	50 50 2 mm
Onderbalk	80 50 3 mm
Schoor rond	10 mm
Windverband	10 mm
Draadgording	12 mm
Gewasdraden	3.2 mm
Kopgevelkolom	120 80 4 mm
Aantal gordingen	2
Kopgevelgording	80 40 3 mm
Zijgevelspantkolom	100 50 3 mm
Zijgeveltussenkolom	100 50 2 mm
Zijgevelgording	80 40 2 mm
Opp. doorsnede goot:	838 mm ² (APD-3,0 mm)
Gootbreedte	175 mm
Kopgevelfundering	400 220 mm
Zijgevelfundering	400 200 mm

Staal	Aantal	Gewicht per stuk	Totaal in de kas
Binnenkolom	135	28.26 kg/st	3815 kg
Tralieligger	210	46.00 kg/st	9660 kg
Opzetkolom	210	1.06 kg/st	223 kg
Kruisschoren kolommen	54	28.26 kg/st	1526 kg
Bovenbalken	54	14.13 kg/st	763 kg
Onderbalken	54	27.55 kg/st	1488 kg
Kruisschoren	108	3.51 kg/st	380 kg
Windverband	40	5.66 kg/st	226 kg
Kopgevelkolommen	42	50.24 kg/st	2110 kg
Kopgevelkruisschoren	8	2.16 kg/st	17 kg
Draadgording	40	3.55 kg/st	142 kg
Gewasdraden	11115	0.06 kg/m	702 kg
Gordingen	320	2.83 kg/m	904 kg
Zijgevelspantkolommen	42	28.26 kg/st	1187 kg
Zijgevelkruisschoren	12	3.51 kg/st	42 kg
Zijgeveltussenkolommen	44	18.84 kg/st	829 kg
Zijgevelgordingen	396	1.88 kg/m	746 kg
Goten	2090	6.58 kg/m	13745 kg
			+
Totaal			38505 kg
Oppervlak:			4.86 kg/m ²

Glas	Lengte [mm]	Aantal	Gewicht per stuk	Totaal in de kas
Dekglas	2063	3520	23.21 kg/st	81683 kg
Zijgevelglas	4000	247.5	32.00 kg/st	7920 kg
Kopgevelglas	4808	200	38.46 kg/st	7693 kg
				+
Totaal				97296 kg
Oppervlak:				12.28 kg/m ²

Beton, fundering kas	Aantal	Liters per onderdeel	Totaal in de kas
Binnenpoer	135	109 liter/st	14715 liter
Binnenpaal	135	14 liter/st	1890 liter
Kruisschoorpoer	54	166 liter/st	8964 liter
Kruisschoorpaal	54	14 liter/st	756 liter
Randfundering kopgevel	160	88 liter/m	14080 liter
Boorpalen	82	198 liter/st	16236 liter
Randfundering zijgevel	198	80 liter/m	15840 liter
Boorpalen	86	198 liter/st	17028 liter
			+
Totaal			214822 kg
Oppervlak:			27.12 kg/m ²

DEEL IV ENERGIEDICHTHEID

TNO-rapport
96-BBI-R1181

BEREKENINGSMETHODE VOOR U-WAARDEN VAN KAS- DEKKEN IN DE GLASTUINBOUW: uitgangspunten

TNO Bouw

Lange Kleiweg 5, Rijswijk
Postbus 49
2600 AA Delft

Telefoon 015 284 20 00
Fax 015 284 39 90
Telex 38270

Datum 11 februari 1998

Auteur(s)

Opdrachtgever : Kernactiviteit Agro-Structures (KAS)
Afdeling Constructies
TNO-Bouw

Projectnummer : 6.21.8.7419

Projectleider : Ir. J. Oldengarm
m.m.v. ing. H.P. Oversloot

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onder-
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

Aantal pagina's : 48
Aantal bijlagen : 5

© TNO

VOORWOORD

Tot op heden hebben tuinders bij hun keuze voor kastype, kasafmetingen, kasonderdelen en kasmaterialen (zoals dit in de praktijk gebeurt met CASTA/Kassenbouw) het probleem dat zij geen objectieve informatie ter beschikking hebben om de consequenties van hun keuzes voor het energie-verbruik van en lichttoetreding in hun kas te beoordelen. Om hierin verandering te brengen wordt door TNO Bouw, Kernactiviteit Agro Structures (K.A.S.) in opdracht van het Landbouwschap, de NOVEM en de stichting STOREKA, het project "Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen" uitgevoerd. De looptijd van dit project is november 1995 tot en met december 1997.

De doelstelling van dit project is het ontwikkelen van objectieve energie-indicatoren ter ondersteuning van de tuinders bij hun keuzes en de implementatie van deze indicatoren in de ontwerpmethodiek CASTA/Kassenbouw van nieuwe kassen. Concreet gaat het hierbij om de energie-indicatoren licht-doorlatendheid, ventilatieverliezen, productie-energie en de transmissieverliezen (U-waarde). De afgeleide doelstellingen liggen op het vlak van:

- energiebesparing, absoluut en relatief;
- vergroting van het energiebewustzijn bij het aanschaffen van een kas;
- stimulering van de ontwikkeling van energiezuinige kassen;
- efficiëntere benutting van de grondstoffen;
- ontwikkeling van een objectieve standaardmethode voor de numerieke bepaling van de U-waarde van huidige en nieuwe kasdek- en gevelsystemen.

In voorliggend rapport wordt een verbeterde rekenmethodiek ter bepaling van de warmtedoorgangscoefficient (U-waarde, voorheen k-waarde) van kassen gepresenteerd. Deze methodiek is door de afdeling Bouwfysica, Binnenmilieu en Installaties (BBI) van TNO Bouw ontwikkeld met als doel om op eenvoudige en effectieve wijze een kasdeksysteem te beoordelen. De opzet is zodanig dat straling en convectie voor tuinbouwkassen op realistische wijze in rekening wordt gebracht. De volgens deze methodiek berekende U-waarde van de kas zal gebruikt gaan worden als invoerparameter van diverse andere programma's die het gasverbruik van individuele tuinders op jaarbasis berekenen (IMAG-DLO en KASSA van AHS Den Bosch). De in dit rapport beschreven methode kan worden beschouwd als uitbreiding en verbetering van de NEN 2697 "Berekeningsmethode voor de warmtedoorgangscoefficient van enkel- en isolerend dubbelglas in de glastuinbouw".

SAMENVATTING

Dit rapport beschrijft een berekeningsmethode voor de bepaling van de warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde) van een kasdek, zoals toegepast in de glastuinbouw. Het betreft een methode waarbij de U-waarde wordt bepaald door relatief eenvoudige formules voor de warmteoverdracht door convector, straling en geleiding. Er is zoveel mogelijk aansluiting gezocht bij de NEN 2697 "Berekeningsmethode voor de warmtedoorgangscoefficiënt van enkel- en isolerend dubbelglas in de glastuinbouw". Naast het berekenen van de U-waarde voor de glasruit worden ook de U-waarden voor de verschillende profielsystemen in het kasdek meegenomen en wordt uiteindelijk de gemiddelde U-waarde voor het kasdek als geheel bepaald. De berekeningsmethode is beschikbaar als een MatchCad applicatie waarvan een beschrijving is te vinden in het TNO-rapport 96-BBI-R1180.

INHOUD**pagina**

VOORWOORD	2
SAMENVATTING	3
SYMBOLENLIJST	6
1. INLEIDING	8
1.0 Toepassingsgebied	8
1.1 Bepaling van U-waarden	8
1.2 Normatieve verwijzingen	9
2 PRINCIPE EN ALGEMENE UITGANGSPUNTEN	10
3. DE BEREKENINGSMETHODE ALS MATHCAD APPLICATIE	13
3.1 Elementen	13
3.2 Standaard condities	13
3.3 Benodigde invoergegevens	13
3.3.1 Invoergegevens glasruit	13
3.3.2 Invoergegevens profielen	14
3.4 Berekening U-waarde glasruit	16
3.4.1 Opzet	16
3.4.2 De warmtebalans vergelijking voor de glasruit	17
3.4.2.1 Bepaling van de warmteoverdracht door convectie aan de binnenzijde voor de glasruit	17
3.4.2.2 Bepaling van de warmteoverdracht door straling aan de binnenzijde voor de glasruit	17
3.4.2.3 Bepaling van de warmteoverdracht door geleiding voor de glasruit ..	18
3.4.2.4 Bepaling van de warmteoverdracht door convectie aan de buitenzijde voor de glasruit	19
3.4.2.5 Bepaling van de warmteoverdracht door straling aan de buitenzijde	

	voor de glasruit	19
3.5	Bepaling U-waarde profielen	20
3.5.1	Opzet	20
3.5.2	De warmtebalans vergelijking voor de profielen	21
3.5.2.2	Bepaling van de warmteoverdracht door convectie aan de binnenzijde voor de profielen	22
3.5.2.3	Bepaling van de warmteoverdracht door straling aan de binnenzijde voor de profielen	22
3.5.2.4	Bepaling van de warmteoverdracht door geleiding voor de profielen	24
3.5.2.5	Bepaling van de warmteoverdracht door convectie aan de buitenzijde voor de profielen	25
3.5.2.6	Bepaling van de warmteoverdracht door straling aan de buitenzijde voor de profielen	25
3.6	Bepaling U-waarde kasdek	26
4.	CONCLUSIES	27
5.	LITERATUUR	28
Bijlage A	Warmteoverdracht door convectie bij profielen	29
Bijlage B	Formules voor stralingsoverdracht	34
Bijlage C	Berekening van de warmteoverdracht door condensatie.	44
Bijlage D	Gevoeligheidsberekening ϵ Mathcad	47
Bijlage E	Profielen van de voorbeeldberekening in Mathcad	48

SYMBOLENLIJST

A_{ic}	<i>oppervlakte per strekkende meter voor warmteoverdracht door convectie aan de binnenzijde</i>
A_{ec}	<i>oppervlakte per strekkende meter voor warmteoverdracht door convectie aan de buitenzijde</i>
A_{ir}	<i>oppervlakte per strekkende meter voor warmteoverdracht door straling aan de binnenzijde</i>
A_{er}	<i>oppervlakte per strekkende meter voor warmteoverdracht door straling aan de buitenzijde</i>
A_g	<i>oppervlakte per strekkende meter voor warmteoverdracht door geleiding</i>
α_p	<i>warmteovergangscoefficiënt voor het oppervlak aan de buitenzijde (straling + convectie)</i>
α_{ec}	<i>warmteovergangscoefficiënt voor het oppervlak aan de buitenzijde (alleen convectie)</i>
α_i	<i>warmteovergangscoefficiënt voor het oppervlak aan de binnenzijde (straling + convectie)</i>
C_{ic}	<i>convectiefactor binnenzijde (zie 3.4.2.1)</i>
C_{ec}	<i>convectiefactor buitenzijde (zie 3.4.2.4)</i>
C_{icp}	<i>convectiefactor binnenzijde voor profielen (zie 3.5.2.2)</i>
C_{ecp}	<i>convectiefactor buitenzijde voor profielen (zie 3.5.2.4)</i>
d :	<i>de dikte van de glasruit of equivalente dikte van het profiel</i>
Fi :	<i>facto voor berekening stralingsuitwisseling binnenzijde</i>
Fe :	<i>facto voor berekening stralingsuitwisseling buitenzijde</i>
H :	<i>de hellingshoek van het kasdek</i>
L_g :	<i>afmeting van dwarsdoorsnede van het profiel ter plaatse van de glasvlakken</i>
L_{io} :	<i>afmeting van het (geprojecteerde) onderaanzicht van het profiel aan de binnenzijde</i>
L_{iz} :	<i>afmeting van het (geprojecteerde) zijaanzicht van het profiel aan de binnenzijde</i>
L_{eb} :	<i>afmeting van het (geprojecteerde) bovenaanzicht van het profiel aan de buitenzijde</i>
L_{ez} :	<i>afmeting van het (geprojecteerde) zijaanzicht van het profiel aan de buitenzijde</i>
L_{ioo}	<i>omtrek van de omhullende van het deel van het profiel dat aan binnenlucht is blootgesteld</i>
L_{iom} :	<i>werkelijke omtrek van het profiel dat aan de binnenlucht wordt blootgesteld</i>
L_{eom}	<i>werkelijke omtrek van het profiel dat aan de buitenlucht wordt blootgesteld</i>
Q_{ic} :	<i>warmteoverdracht door convectie aan het binnenoppervlak van het kasdek [W]</i>

<i>qic:</i>	<i>idem in W/m²</i>
<i>Qir :</i>	<i>warmteoverdracht door stralingsuitwisseling tussen het binnenoppervlak van kasdek en het gewas en/of bodem in de kas [W]</i>
<i>qir:</i>	<i>idem in W/m²</i>
<i>Qico:</i>	<i>warmteoverdracht door condensatie aan het binnenoppervlak van het kasdek [W]</i>
<i>Qg:</i>	<i>warmteoverdracht door warmtegeleiding van het binnenoppervlak naar het buitenoppervlak [W]</i>
<i>qg:</i>	<i>idem in W/m²</i>
<i>Qec:</i>	<i>warmteoverdracht door convectie aan het buitenoppervlak[W]</i>
<i>qec:</i>	<i>idem in W/m²</i>
<i>Qer:</i>	<i>warmteoverdracht door stralingsuitwisseling tussen het buitenoppervlak van het kasdek en de hemelkoepel [W]</i>
<i>qer:</i>	<i>idem in W/m²</i>
<i>R:</i>	<i>warmteweerstand (zie 3.4.2.3)</i>
<i>Te:</i>	<i>de buitenluchttemperatuur</i>
<i>Ti:</i>	<i>de binnenluchttemperatuur</i>
<i>Tg:</i>	<i>de temperatuur van gewas en/of bodem</i>
<i>Th:</i>	<i>de temperatuur van de hemelkoepel</i>
<i>Tio:</i>	<i>de oppervlaktetemperatuur van het binnenoppervlak van het kasdek</i>
<i>Teo:</i>	<i>de oppervlaktetemperatuur van het buitenoppervlak van het kasdek</i>
<i>Tk:</i>	<i>= 273.15, voor omrekening van °C naar K</i>
<i>U:</i>	<i>warmtedoorgangscoefficiënt [W/m².K] (zie 3.5.1)</i>
<i>U':</i>	<i>warmtedoorgangscoefficiënt per strekkende meter profiel [W/m.K] (zie 3.5.1)</i>
<i>v:</i>	<i>de windsnelheid</i>
<i>ZF:</i>	<i>zichtfactor (zie bijlage B)</i>
<i>εi:</i>	<i>rekenwaarde voor de emissiecoëfficiënt aan de binnenzijde</i>
<i>εe:</i>	<i>rekenwaarde voor de emissiecoëfficiënt aan de buitenzijde</i>
<i>εg:</i>	<i>rekenwaarde voor de emissiecoëfficiënt van de bodem</i>
<i>λ:</i>	<i>rekenwaarde voor de warmtegeleidingscoëfficiënt</i>

1. INLEIDING

1.0 Toepassingsgebied

In dit document wordt een berekeningsmethode gegeven voor de bepaling van de warmtedoorgangscoëfficiënt (U-waarde) van een kasdek zoals toegepast in tuinbouwkassen. De U-waarde van de glasruit en die van de verschillende profieltypen worden afzonderlijk berekend. Waar mogelijk is aansluiting gezocht met de NEN 2697.

Bij de profielen is een zeer eenvoudige rekenregel voor warmtegeleiding toegepast. Dit betekent dat de invloed van detailleringen in het profiel (zoals afdekstrippen) verwaarloosd wordt. De invloed op de warmtedoorgang van dergelijke details is over het algemeen klein ten op zichte van de totale warmtedoorgang. De invloed van de detaillering wordt pas van belang als beglazingssystemen met een lage U-waarde (bijvoorbeeld dubbelglas) wordt toegepast. Voor het in rekening brengen van dergelijke details zijn dan meer complexe rekenmodellen beschikbaar, zoals twee- of driedimensionale eindige elementen methodes. In verband met de lichtdoorlating wordt tot dusver in kasdekken vrijwel uitsluitend enkelglas toegepast.

Uit de berekening van de U-waarden van de verschillende elementen kan de totale U-waarde van een kas worden afgeleid. In de NEN 2697 wordt ook een condensatieberekening gevraagd. In dit rapport wordt daar kritisch commentaar op geleverd. In de MathCad applicatie wordt de condensatieberekening buiten beschouwing gelaten. Als gevolg van mogelijk IR doorstraling is deze berekeningsmethode niet zonder meer geldig voor folies en kunststof kasdekken.

1.1 Bepaling van U-waarden

Voor bouwconstructies is het gebruikelijk de U-waarde te bepalen volgens de formule

$$U = \frac{1}{R + \frac{1}{\alpha_e} + \frac{1}{\alpha_i}}$$

waarbij vaste rekenwaarden worden genomen voor de warmteovergangscoefficienten aan de buitenzijde ($\alpha_e = 24 \text{ W/m}^2\text{K}$) en de binnenzijde ($\alpha_i = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$). Deze waarden zijn relatief van weinig invloed op de U-waarde bij geïsoleerde constructies omdat de warmteweerstand R over de constructie de overheersende factor is. Bijvoorbeeld: voor een bouw constructie met een gangbare R-waarde van $2.5 \text{ m}^2\text{K/W}$ wordt $U = 0.375 \text{ W/m}^2\text{K}$. De bijdrage van de α 's daarin is ongeveer 6 %.

Bij slecht geïsoleerde constructies ligt de situatie anders. Voor enkelglas, met een R-waarde van ongeveer 0.004 wordt de U-waarde volgens de bovenstaande formule $5.8 \text{ W/m}^2\text{K}$. De U-waarde wordt in dit geval voor 97 % bepaald door de ingevoerde rekenwaarden voor de α 's. De keuze van de rekenwaarden voor de α 's is van dus van grote invloed op de berekening van de U-waarde. Een eerste verfijning die men kan maken is de α 's te splitsen in twee warteoverdrachtscomponenten: een convectief aandeel en een stralingsaandeel. Dit principe is ook toegepast in de NEN 2697, waarbij een U-waarde berekening wordt gegeven die geheel is toegesneden op de condities die kasdekken in de glastuinbouw gelden. Bij de rekenmethode die in dit rapport wordt gepresenteerd is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van deze norm. Op enkele punten is van de norm afgeweken omdat in de norm enkele fouten blijken voor te komen. Daarnaast worden in dit rapport de warmtedoorgang door profielen bij de bepaling van de U-waarde betrokken.

1.2 Normatieve verwijzingen

NEN 2697:1995 "Berekeningsmethode voor de warmtedoorgangscoefficiënt van enkel- en isolerend dubbelglas in de glastuinbouw"

NEN-EN 673:Final Draft July 1995 "Glass in building - Determination of thermal transmittance (U value) - Calculation method"

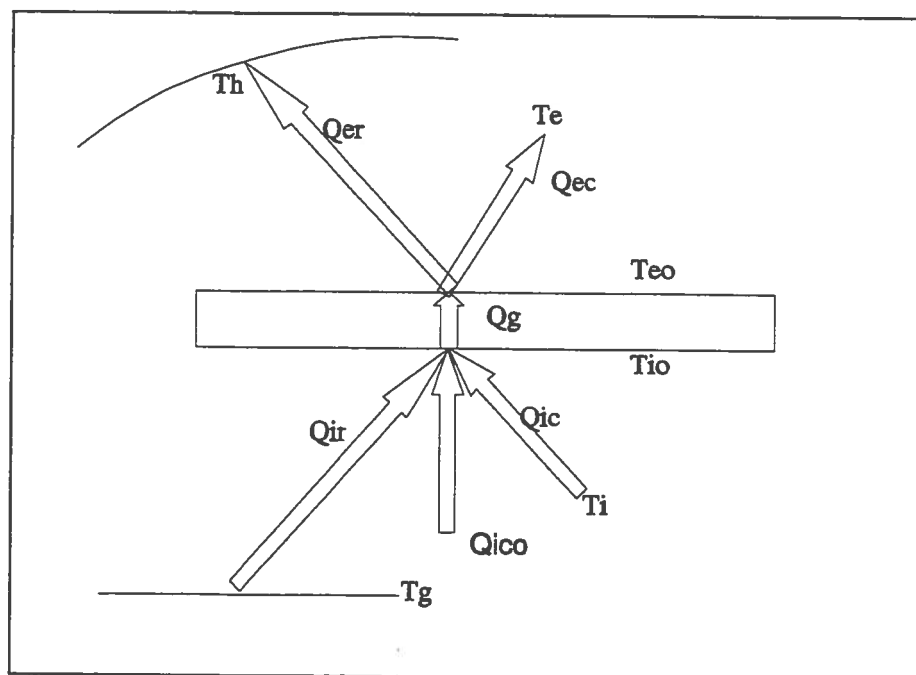
Overige verwijzingen: zie Literatuur

2

PRINCIPE EN ALGEMENE UITGANGSPUNTEN

De rekenmethode voor het bepalen van de warmtedoorgangscoefficiënt bestaat uit het opstellen van een warmtebalans waarin overeenkomstig de NEN 2697 de volgende componenten voorkomen (zie figuur 1):

- Q_{ic} : warmteoverdracht door convectie aan het binnenoppervlak van het kasdek
 Q_{ir} : warmteoverdracht door stralingsuitwisseling tussen het binnenoppervlak van kasdek en het gewas en/of bodem in de kas
 Q_{ico} : warmteoverdracht door condensatie aan het binnenoppervlak van het kasdek
 Q_g : warmteoverdracht door warmtegeleiding van het binnenoppervlak naar het buitenoppervlak
 Q_{ec} : warmteoverdracht door convectie aan het buitenoppervlak
 Q_{er} : warmteoverdracht door stralingsuitwisseling tussen het buitenoppervlak van het kasdek en de hemelkoepel



Figuur 1: Definitie van warmtestromen bij een kasdek.

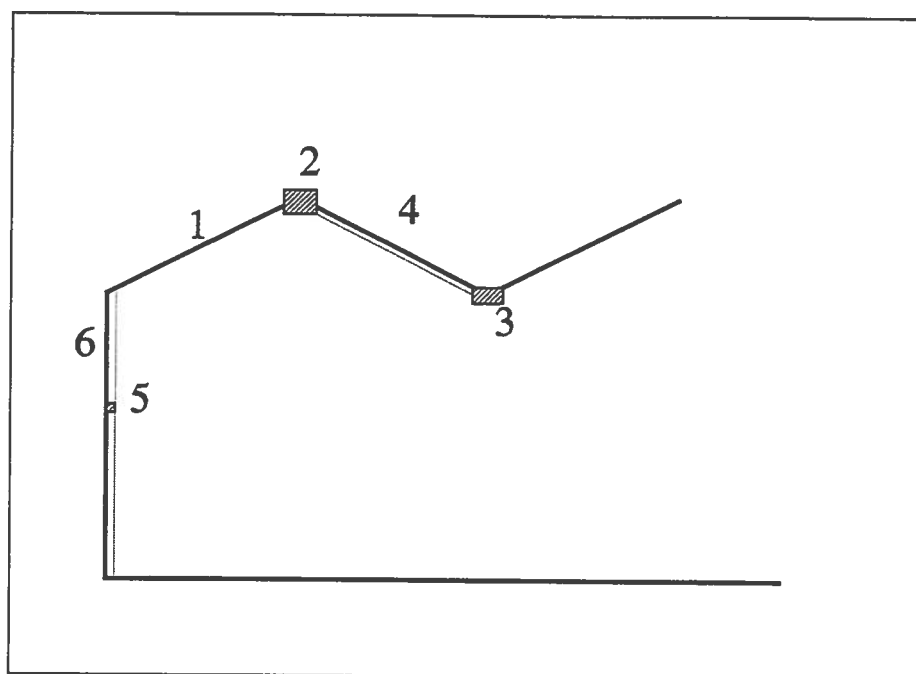
In de warmtebalans komen de volgende temperaturen voor:

- T_e : de buitenluchttemperatuur
 T_i : de binnenluchttemperatuur

Tg:	de temperatuur van gewas en/of bodem
Th:	de temperatuur van de hemelkoepel
Tio:	de oppervlaktetemperatuur van het binnenoppervlak van het kasdek
Teo:	de oppervlaktetemperatuur van het buitenoppervlak van het kasdek

Voor al deze warmtestromen kan men formules opstellen waarin oppervlaktetemperaturen T_{io} en T_{eo} als onbekende voorkomen. Deze temperaturen komen in niet-lineaire vorm voor zodat de oplossing van de vergelijkingen iteratief moet worden bepaald. De oplossing van deze vergelijkingen levert waarden voor de oppervlaktetemperaturen, waaruit de warmtestroomdichtheid en de U-waarde kan worden afgeleid. De berekeningsmethode wordt toegepast op de afzonderlijke elementen van het kasdek, zoals de glasruit, het nokprofiel, gootprofiel, en de dakroede. Eventueel kan dit worden uitgebreid naar gevel-elementen (zie figuur 2). Tenslotte kunnen de U-waarden van alle elementen bij elkaar worden genomen om te komen tot een U-waarde voor het kasdek als geheel.

In dit rapport wordt de condensatieberekening (Q_{ico}) vooralsnog buiten beschouwing gelaten. De methode zoals beschreven in de NEN 2697 wordt ter discussie gesteld (zie bijlage C). In dit rapport is de aandacht met name gericht op de warmtedoorgang van de profielen in het kasdek.



Figuur 2: *Te onderscheiden elementen in een kas waarvoor een afzonderlijke U-waarde berekening kan worden uitgevoerd.*

- 1.: glasruit in het kasdek*
- 2.: nokprofiel*
- 3.: gootprofiel*
- 4.: dakroede*
- 5.: stijlen en regels in de gevel*
- 6.: glasruit in de gevel*

3. DE BEREKENINGSMETHODE ALS MATHCAD APPLICATIE

In dit hoofdstuk worden de formules besproken die bij de berekeningsmethode zijn toegepast. De indeling van dit hoofdstuk komt overeen met de opzet van de MathCad applicatie.

3.1 Elementen

De berekening wordt afzonderlijk uitgevoerd voor een aantal te onderscheiden elementen in het kasdek. We onderscheiden de volgende elementen:

1. glasruit
2. nokprofiel
3. gootprofiel
4. dakroede profiel

Dit is eventueel uit te breiden naar gevelelementen van de kas.

3.2 Standaard condities

De standaard condities volgens NEN 2697 zijn:

- de luchttemperatuur in de kas: $T_i = 15\text{ °C}$
- de luchttemperatuur buiten: $T_e = 4^\circ$
- de temperatuur van gewas en bodem: $T_g = 15\text{ °C}$
- de stralingstemperatuur van de hemelkoepel: $T_h = -1\text{ °C}$
- de hellingshoek van het kasdek: $H = 26^\circ$

In de NEN 2697 worden verder nog condities gemeld die betrekking hebben op de vochtbalans. In aanvulling op de NEN 2697 worden de volgende standaard condities ingevoerd:

- de windsnelheid: $v = 4\text{ m/s}$
- de emissiecoëfficiënt van de bodem: $\epsilon_g = 0.95$

3.3 Benodigde invoergegevens

3.3.1 Invoergegevens glasruit

De volgende invoergegevens worden gevraagd voor de glasruit:

- a. een rekenwaarde voor de warmtegeleidingscoëfficiënt (λ) van glas; in de NEN 2697 wordt een vaste waarde gegeven van $\lambda = 1 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
- b. de dikte van de glasruit (d)
- c. een rekenwaarde voor de emissiecoëfficiënt van het glas aan de binnenzijde (ϵ_i)
- d. en de buitenzijde (ϵ_e)

De emissiecoëfficiënt is een belangrijke invloedsfactor bij warmteoverdracht door stralingsuitwisseling tussen vlakken met een verschillende temperatuur. Voor onbehandeld glas kan $\epsilon = 0.837$ worden gebruikt overeenkomstig NEN 2697.

3.3.2 Invoergegevens profielen

Voor elk profieltype worden de volgende invoergegevens gevraagd:

- a. een (equivalente) rekenwaarde voor de warmtegeleidingscoëfficiënt (λ)
- b. de (equivalente) dikte van het profiel (d)
- c. een rekenwaarde voor de emissiecoëfficiënt van het profiel aan de binnenzijde (ϵ_i) en
- d. de buitenzijde (ϵ_e)

Voor profielen kan een ϵ ingevoerd worden die afhankelijk is van het materiaal van het profiel. In de MathCad applicatie kan men dit doen door te kiezen uit een tabel met standaard waarden voor materialen. In feite kan men volstaan met twee standaard waarden:

$\epsilon = 0.2$ voor aluminium

$\epsilon = 0.9$ voor de overige materialen

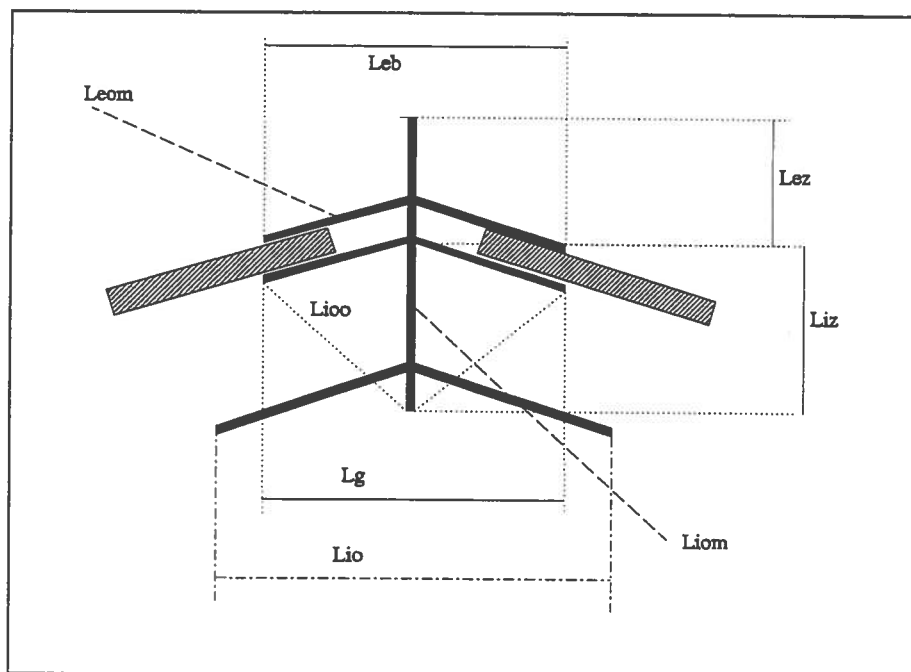
De emissiecoëfficiënt van aluminium is afhankelijk van de oppervlakte behandeling. Een overzicht van gegevens kan men vinden in een handboek, bijvoorbeeld referentie [5]. Aan het uiterlijk kan men niet beoordelen of men te doen heeft met een hoge of een lage emissiecoëfficiënt. Als het aluminium voorzien is van een coating zal de ϵ gauw in de buurt van 0.9 komen. Het al dan niet aanwezig zijn van een coating is niet zonder meer visueel te beoordelen. Een indicatie voor waarde van de ϵ is met een vrij eenvoudige meting te verkrijgen. De gekozen waarde voor de ϵ heeft een belangrijke invloed op de warmtedoorgang bij de profielen. De invloed op de totale U-waarde voor het kasdek is beperkt

(zie uitkomsten van een gevoeligheidsberekening in bijlage D0.

Voor de profielen worden verder de geometrische gegevens gevraagd (zie figuur 3):

- a. afmeting van dwarsdoorsnede van het profiel ter plaatse van de glasvlakken: L_g
- b. afmeting van het (geprojecteerde) onderaanzicht van het profiel aan de binnenzijde: L_{io}
- c. afmeting van het (geprojecteerde) zijaanzicht van het profiel aan de binnenzijde: L_{iz}
- d. afmeting van het (geprojecteerde) bovenaanzicht van het profiel aan de buitenzijde: Le_b
- e. afmeting van het (geprojecteerde) zijaanzicht van het profiel aan de buitenzijde: Le_z
- f. omtrek van de omhullende van het deel van het profiel dat aan binnenlucht grenst: L_{ioo}
- g. werkelijke omtrek van het profiel dat aan de binnenlucht wordt blootgesteld: L_{iom}
- h. werkelijke omtrek van het profiel dat aan de buitenlucht wordt blootgesteld: Le_{om}

Een voorbeeld met uitwerking is gegeven in bijlage E.



Figuur 3 *Schematische weergave van de gehanteerde geometrische grootheden voor een fictief profiel.*

3.4 Berekening U-waarde glasruit

3.4.1 Opzet

De U-waarde is gedefinieerd als

$$U = \frac{q}{T_i - T_e} \quad \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

waarin q de warmtestroomdichtheid [W/m^2] door de glasruit is en $T_i - T_e$ het temperatuurverschil binnen-buiten. Voor het berekenen van de U-waarden is het noodzakelijk in stelsel van vergelijkingen op te lossen waarin de onbekende oppervlaktetemperaturen T_{io} en T_{eo} niet lineair voorkomen. In Mathcad is dat mogelijk door de vergelijkingen gewoon uit te schrijven en deze vooraf te laten gaan met de instructie "Given". Met de instructie "Find" aan het eind van de formules worden de onbekende temperaturen berekend. Wel moeten eerst voor de onbekenden geschatte startwaarden worden gegeven. Een vrij nauwkeurige beginschatting wordt verkregen door een eerste berekening uit voeren met vaste waarden voor de warmteovergangscoefficienten (α 's).

In Mathcad worden de volgende stappen uitgevoerd:

- a. overnemen ingevoerde waarden
- b. berekening warmteweerstand R (nodig voor berekening startwaarden)
- c. bepaling startwaarden voor T_{io} en T_{eo}
- d. bepaling convectiefactor binnen
- e. bepaling stralingsfactor binnen
- f. bepaling convectiefactor buiten
- g. bepaling stralingsfactor buiten
- h. oplossing warmtebalans vergelijkingen (uitkomsten zijn waarden voor T_{io} en T_{eo})
- i. berekening warmtestromen en U-waarde
- j. berekening van de warmtebalans componenten
 - . q_{ic} : convectie binnen
 - . q_{ir} : straling binnen
 - . q_g : geleiding
 - . q_{ec} : convectie buiten
 - . q_{er} : straling buiten

3.4.2 De warmtebalans vergelijking voor de glasruit

Voor de glasruit zijn alle op de warmtestromen betrokken oppervlakten aan elkaar gelijk. De warmtebalans vergelijking kan dan opgesteld worden in vorm van warmtestroomdichtheden. Voor de warmtebalans aan de binnenzijde en aan de buitenzijde van de glasruit geldt achtereenvolgens:

$$Q_{ic} + Q_{ir} = Q_g$$

$$Q_{ec} + Q_{er} = Q_g$$

In de MathCad applicatie zijn de termen volledig uitgeschreven. In de volgende paragrafen worden deze termen nader besproken.

3.4.2.1 Bepaling van de warmteoverdracht door convectie aan de binnenzijde voor de glasruit

Voor het glasvlak wordt in NEN 2697 de volgende formule gehanteerd:

$$Q_{ic} = C_{ic} * (T_i - T_{io})^{\frac{1}{3}} * (T_i - T_{io})$$

met

$$C_{ic} = 3 \quad W.m^{-2} . ^\circ C^{-\frac{4}{3}}$$

De in de NEN 2697 gegeven constante waarde voor de convectiefactor C_{ic} wordt aangehouden. Opgemerkt kan worden dat de formule uit NEN 2697 eigenlijk geldt voor verticale vlakken zonder obstakels. Op grond van theoretische beschouwingen zou men voor schuine vlakken een cosinus factor kunnen introduceren zoals beschreven in bijlage A. Echter, voor de gangbare hellingshoeken bij kasdekken zal deze cosinus-correctie waarschijnlijk niet meer geldig zijn. Omdat geen betere gegevens voorhanden zijn wordt een vaste C_{ic} gehanteerd.

3.4.2.2 Bepaling van de warmteoverdracht door straling aan de binnenzijde voor de glasruit

Voor het glasvlak wordt in NEN 2697 een formule gegeven die niet juist blijkt te zijn. Er komt een

term in voor die betrekking heeft op de uitwisselingsfactor tussen de bodem en het kasdek. In de NEN formule kan deze factor groter worden dan 1 hetgeen fysisch niet mogelijk is. Daarom zijn we terug gegaan naar de theoretische basis voor stralingsuitwisseling tussen vlakken. In bijlage B is een samenvatting gegeven. Ook zijn daar de definities gegeven van begrippen als zichtfactor en uitwisselingsfactor en wordt een formule gegeven die kan worden toegepast voor stralingsuitwisseling bodem/gewas en de glasruit. In de Mathcad applicatie wordt de volgende formule gebruikt (zie toelichting in bijlage B):

$$Q_{ir} = F_i * \sigma * ((T_g + T_k)^4 - (T_{io} + T_k)^4)$$

met

$$F_i = \frac{\epsilon_g * \epsilon_i}{\frac{\epsilon_i}{\cosh} + \epsilon_g - \epsilon_i * \epsilon_g}$$

De grootte Tk = 273.15 is ingevoerd om van °C naar °K te komen.

3.4.2.3 Bepaling van de warmteoverdracht door geleiding voor de glasruit

De warmtegeleiding door de glasruit wordt berekend overeenkomstig NEN 2697 volgens:

$$Q_g = \frac{(T_{io} - T_{eo})}{R}$$

met

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

waarin

λ = de warmtegeleidingscoëfficiënt van glas

d = de dikte van de glasruit

Voor dubbel glas kan eventueel een equivalente warmteweerstand worden ingevoerd, die kan worden afgeleid uit productgegevens.

3.4.2.4 Bepaling van de warmteoverdracht door convectie aan de buitenzijde voor de glasruit

In de NEN 2697 wordt uitgegaan van een vaste convectieve warmteovergangscoefficiënt van $\alpha_{ce} = 10$ W/m²K. Volgens ons is dit veel te laag omdat een standaard waarde voor gebouwen wordt gehanteerd van $\alpha = 24$ (convectie + straling). Een meer realistische waarde ligt meer in de buurt van $\alpha_{ce} = 20$. In feite is de convectieve warmteoverdracht sterk afhankelijk van de windsnelheid v . Een literatuur overzicht is gegeven in [4]. Een veel gebruikte formule voor α_{ce} (= C_{ec}) is

$$C_{ec} = 5.3 + 3.6 * v$$

Voor een genormeerde berekening zal men een vaste waarde voor de windsnelheid willen gebruiken, bijvoorbeeld $v = 4$ m/s zoals genoemd in de NEN 2697. Wil men de invloed van de locatie van de kas meenemen dan zou men de gemiddelde windsnelheid voor die locatie kunnen invoeren.

De formule voor de warmteoverdracht door convectie aan de buitenzijde wordt :

$$Q_{ec} = C_{ec} * (T_{eo} - T_e)$$

3.4.2.5 Bepaling van de warmteoverdracht door straling aan de buitenzijde voor de glasruit

De volgende formule wordt gebruikt (zie B.3.1 in bijlage B):

$$Q_{er} = F_e * \sigma * ((T_{eo} + T_k)^4 - (T_h + T_k)^4)$$

met

$$F_e = \epsilon_e * ZF$$

waarin ZF de zichtfactor is, die afgeleid is uit de zichthoek:

$$ZF = \frac{\pi - 1.5 * H}{\pi}$$

Uitgegaan wordt van de hemeltemperatuur T_h zoals gehanteerd in de NEN 2697.

3.5 Bepaling U-waarde profielen

3.5.1 Opzet

De U-waarde voor een profiel kan gedefinieerd worden als

$$U = \frac{Q}{(T_i - T_e) \cdot A_g} \quad \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

waarin Q de gemiddelde warmtestroom per strekkende meter [W/m] door het profiel is en $T_i - T_e$ het temperatuurverschil binnen-buiten. A_g is het oppervlak per strekkende meter waarop de warmtestroom is betrokken. Omdat geometrie voor een bepaald profiel een vast gegeven is kan men ook een U' -waarde definiëren als

$$U' = \frac{Q}{(T_i - T_e)} \quad \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

Verder wordt dezelfde opzet gevolgd als voor de bepaling van de U-waarde voor de glasruit, met dien verstande dat:

- aangepaste convectie- en stralingsfactoren worden toegepast
- de op de warmtestromen betrokken oppervlakten voor straling (A_{ir} en A_{er}), convectie (A_{ic} en A_{ec}) en geleiding (A_g) hier niet zonder meer aan elkaar gelijk en dienen derhalve te worden verdisconteerd; deze oppervlakten worden op geschematiseerde wijze ingevoerd
- de warmtegeleiding wordt sterk vereenvoudigd (er wordt geen rekening gehouden met het tweedimensionale karakter)

De op de warmtestromen betrokken oppervlakten kunnen worden afgeleid uit de geometrische afmetingen van het profiel. Hier is gekozen voor een geschematiseerde werkwijze, waarbij gebruik gemaakt wordt van de afmetingen als gedefinieerd in 3.3.2. Hieronder volgt een puntsgewijze toelichting:

A_{ic} = oppervlakte per strekkende meter voor warmteoverdracht door convectie aan de binnenzijde. Deze oppervlakte is gerelateerd aan de werkelijk omtrek aan de binnenzijde van het profiel. Voor grillige vormen zal de lokale vrije convectie worden onderdrukt. Dit kan in rekening worden gebracht met een reductiefactor.

A_{ec} = oppervlakte per strekkende meter voor warmteoverdracht door convectie aan de buitenzijde. Deze oppervlakte is gerelateerd aan de werkelijk omtrek aan de binnenzijde van het profiel. Hier is sprake van gedwongen convectie en daarom kan gerekend

worden met de werkelijk omtrek van het profiel.

A_{ir} = oppervlakte per strekkende meter voor warmteoverdracht door straling aan de binnenzijde. Deze oppervlakte is gerelateerd aan het geprojecteerde vlak van de omtrek van het profiel zoals dat vanuit het andere uitwisselingsvlak (hier de bodem van de kas) wordt gezien.

A_{ec} = oppervlakte per strekkende meter voor warmteoverdracht door straling aan de buitenzijde. Deze oppervlakte is gerelateerd aan het geprojecteerde vlak van de omtrek van het profiel zoals dat vanuit het andere uitwisselingsvlak (hier de hemelkoepel) wordt gezien.

A_g = oppervlakte per strekkende meter voor warmteoverdracht door geleiding. We kiezen voor een definitie waarbij het vlak samenvalt met die van de glasplaten aan weerszijden van het profiel. De begrenzing aan beide zijden wordt gevormd door het punt waar het glas aan de binnenzijde voor het eerst het profiel raakt.

De oppervlakten zijn in de formules ondergebracht bij de convectie- en stralingsfactoren.

3.5.2 De warmtebalans vergelijking voor de profielen

De warmtebalans vergelijking luidt hier:

$$Q_{ic} + Q_{ir} = Q_g$$

$$Q_{ec} + Q_{er} = Q_g$$

of, uitgedrukt in warmtestroomdichtheden;

$$A_{ic} * q_{ic} + A_{ir} * q_{ir} = A_g * q_g$$

$$A_{ec} * q_{ec} + A_{er} * q_{er} = A_g * q_g$$

In de MathCad applicatie zijn de termen volledig uitgeschreven. In de volgende paragrafen worden deze termen nader besproken. Opgemerkt zij dat de oppervlakten A zullen worden uitgedrukt in oppervlakten per strekkende meter. Men verkrijgt dan een U-waarde uitgedrukt per strekkende meter kasprofiel. Om dit te onderscheiden van de gangbare U-waarde wordt hiervoor de notatie U' gebruikt.

3.5.2.2 Bepaling van de warmteoverdracht door convectie aan de binnenzijde voor de profielen

Een beknopte literatuurstudie is uitgevoerd naar convectie warmteoverdracht bij profielen. In bijlage A is een samenvatting gegeven van literatuuronderzoek naar convectieve warmteoverdracht bij profielvormen. De gevonden formules zijn niet direct van toepassing op de situatie bij kassen. We beperken ons daarom tot een vereenvoudigde aanpak.

- voor de lokale α wordt de formule van die voor de glasruit gehanteerd
- het op de warmtestroom betrokken oppervlak wordt afgeleid van de afmetingen van het profiel zoals gedefinieerd in 3.3.2.

De volgende formule wordt gebruikt voor De warmteoverdracht door convectie aan de binnenzijde:

$$Q_{ic} = C_{icp} * (T_i - T_{io})^{\frac{1}{3}} * (T_i - T_{io})$$

waarin C_{icp} convectiefactor is voor het profiel en waarvoor de volgende uitdrukking wordt gebruikt:

$$C_{icp} = C_{ic} * L_{ioo} * \left(\frac{L_{iom}}{L_{ioo}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

In de laatste term komt de verhouding voor van de omtrek van de omhullende en de werkelijke omtrek van het profiel dat aan de binnenlucht wordt blootgesteld. De 1/3 macht factor is ingevoerd om te verdisconteren dat de vrije convectie wordt belemmerd bij grillig gevormde profielen.

3.5.2.3 Bepaling van de warmteoverdracht door straling aan de binnenzijde voor de profielen

Uitgegaan wordt van de volgende veronderstellingen:

- er is sprake van slechts twee vlakken met twee verschillende temperaturen:
 - een warm vlak met temperatuur T_g voor het gewas en/of de bodem van de kas
 - een koud vlak met temperatuur T_{io} , voorstellende de glasruit en de profiel elementen
- er vindt geen stralingsuitwisseling plaats tussen de koude elementen

- de profielvormen worden gekenmerkt door de geprojecteerde afmetingen in zijaanzicht en onderaanzicht
- voor elk profieltype wordt voor beide aanzichtsvlakken de (gemiddelde) zichthoek bepaald (zie bijlage B)

Voor de profielen kunnen vereenvoudigde formules worden gebruikt door uit te gaan van de zichtfactor. Door geometrische positie van elk profieltype in de omhulling te beschouwen kan men de belemmeringshoek bepalen hetgeen een directe maat is voor de zichtfactor.

Dezelfde basisformule als bij de glasruit kan worden gehanteerd

$$Q_{ir} = F_i * \sigma * ((T_g + T_k)^4 - (T_{io} + T_k)^4)$$

met dien verstande dat voor de factoren F_i de onderstaande formules worden gebruikt. Deze factoren zijn hier een product van de zichtfactor (ZF) en de op de stralingsoverdracht betrokken oppervlakte van het profiel.

De gehanteerde factoren F_i zijn

voor het nokprofiel:

$$F_i = \frac{(\pi - 2 * H)}{\pi} * (L_{iz} + L_{io}) * \epsilon_i$$

voor het gootprofiel:

$$F_i = (L_{iz} + L_{io}) * \epsilon_i$$

voor het dakroede profiel:

$$F_i = \frac{(\pi - 1.5 * H)}{\pi} * (L_{iz} + L_{io}) * \epsilon_i$$

Voor een toelichting zie bijlage B.

3.5.2.4 Bepaling van de warmteoverdracht door geleiding voor de profielen

We hanteren de volgende formule

$$Q_g = \frac{(T_{io} - T_{eo})}{R} * A_g$$

met

$$A_g = \frac{L_g}{\cosh H}$$

voor nok- en gootprofielen en

$$A_g = L_g$$

voor dakroede profielen.

De cos factor is ingevoerd omdat we de warmtestroom willen betrekken op het vlak van de glasruit. De volgende punten zijn van belang:

- evenals bij de glasruit wordt de U-waarde in hoofdzaak bepaald door warmteovergangscoefficienten aan beide zijden van het profiel.
- de hier gepresenteerde vereenvoudigde rekenmethode kan het twee-dimensionale karakter van de warmtegeleiding niet verdisconteren
- bij de gevolgde aanpak moet men volstaan met een enkelvoudige waarde voor de warmteweerstand R (als gedefinieerd bij de glas ruit, par. 3.4.2.3)

Als men in deze formule voor R de λ voor aluminium zou invullen krijgt men een R-waarde die dicht in de buurt van nul komt te liggen. In de warmtebalans zou men met een vergelijking kunnen volstaan waarin de temperaturen T_{io} en T_{eo} aan elkaar gelijk zijn.

In de Mathcad applicatie houden we echter vast aan de twee te onderscheiden waarden voor T_{io} en T_{eo} . Omdat de invloed van de R-waarde op de uiteindelijke U-waarde niet zo groot is kiezen we voor de volgende aanpak: de R-waarde van het profiel wordt gelijk gesteld aan dat van de glasruit, behalve voor die profielen waarbij over de gehele breedte van het profiel zich een thermische afscherming

bevindt; in dat geval wordt de R-waarde berekend volgens de voor die laag geldende dikte en λ .

Opmerking:

Voor meer complexe profieltypen (waarbij een significant thermisch effect op kan treden als gevolg van een bewust of onbewust aangebrachte thermische onderbreking) kan een equivalente warmteweerstand R_{eq} worden gebruikt. De meest nauwkeurigste methode om een waarde voor R_{eq} vinden is het gebruik van een koudebrugprogramma of FEM berekening. De waarde zal afhangen van de keuze van de overgangsweerstanden aan beide zijden. Het vaststellen van een R_{eq} blijft ook dan dus een benadering.

3.5.2.5 Bepaling van de warmteoverdracht door convectie aan de buitenzijde voor de profielen

Hiervoor kan men dezelfde formule als bij de glasruit nemen met dien verstand dat deze wordt betrokken op het omtrekoppervlak van het profiel. Omdat hier sprake is van gedwongen convectie wordt hiervoor de volledige omtrek van het profiel genomen.

$$Q_{ecp} = C_{ec} * L_{eom} * (T_{eo} - T_e)$$

3.5.2.6 Bepaling van de warmteoverdracht door straling aan de buitenzijde voor de profielen

Hiervoor kan dezelfde aanpak worden gevolgd als bij de bepaling van de warmteoverdracht door straling aan de binnenzijde. De basisformule is:

$$Q_{er} = F_e * \sigma * ((T_{eo} + T_k)^4 - (T_h + T_k)^4)$$

De factoren F_e zijn (zie bijlage B):

voor het nokprofiel

$$F_e = (L_{ez} + L_{eb}) * \epsilon_e$$

voor het gootprofiel

$$F_e = \frac{(\pi - 2 * H)}{\pi} * (L_{ez} + L_{eb}) * \varepsilon_e$$

voor het dakroede profiel

$$F_e = \frac{(\pi - 2 * H)}{\pi} * (L_{ez} + L_{eb}) * \varepsilon_e$$

3.6 Bepaling U-waarde kasdek

Met behulp van de afzonderlijke U-waarden voor het glas en de profielen kan de gemiddelde U-waarde van het kasdek als geheel worden berekend. Daarbij wordt verondersteld dat de warmtestromen door het glas en de profielen elkaar niet beïnvloeden. De gebruikte formule is:

$$U_{kasdek} = \frac{U_{glas} * A_{glas} + \sum U_i * L_i}{A_{kasdek}}$$

waarin

Li:	totale lengte van elk profieltype i
Aglas:	totale oppervlakte van de glasvlakken
Akasdek:	totale oppervlakte van het kasdek

Eventueel is dit uit te breiden naar de verticale delen van een kas.

4. CONCLUSIES

Een rekenmethodiek is ontwikkeld voor de bepaling van de warmtedoorgangscoefficiënt U van een kasdek, zoals toegepast in de glastuinbouw. De warmtedoorgang bij kasdekken wordt in hoofdzaak bepaald door warmteuitwisseling als gevolg van convectie en straling via de binnen- en buitenvlakken. Warmtegeleiding door het kasdek is van ondergeschikt belang. De rekenmethode is daarom toegesneden op een meer nauwkeurige bepaling van de warmteoverdracht door convectie en straling onder condities zoals die bij kassen voorkomen. Aansluiting is gezocht bij de NEN 2697, met name wat betreft de te hanteren randcondities. Overigens is gebleken dat in de NEN 2697 een aantal onvolkomenheden voorkomen die voor wijziging in aanmerking komen. De NEN 2697 betreft een rekenmethode voor de bepaling van de U -waarde van beglazingssystemen zoals toegepast in de glastuinbouw. Bij de in dit rapport gepresenteerde methode worden ook de U -waarden van de kasprofielen meegenomen. Tenslotte wordt op basis van de berekende U -waarden van de afzonderlijke elementen de gemiddelde U -waarde van het kasdek als geheel bepaald. De invloed van condensatie op de U -waarde is niet meegenomen. Hiervoor is eerst een nadere studie noodzakelijk, waarbij ook de vraag ter discussie gesteld kan worden of condensatie bij een U -waarde berekening thuishoort. De berekeningsmethode is beschikbaar als een MatchCad applicatie waarvan een beschrijving is te vinden in het TNO-rapport 96-BBI-R1180.

5. LITERATUUR

- [1] J. Uitenbroeck, "Keuze van warmteovergangscoefficiënt hi". WTCB-Tijdschrift, Okt-Dec. 1985.
- [2] TNO-Bouw / ISSO publicatie, november 1991.
- [3] A.W. Boeke, "Berekening van uitwisselingsfactoren...", Klimaatbeheersing 2 (1973), p.344
- [4] "Forced convection heat transfercoefficients"
Appendix B: TNO-report B-92-0270, march 1992.
- [5] Gubareff et.al. "Thermal radiation properties survey"
Honeywell Research Center, Mineapolis, 1960



ir. J. Oldengarm
projectleider

drs. G.Gerritse
afdelingshoofd BBI

Delft, 11 februari 1998

Bijlage A

Warmteoverdracht door convectie bij profielen

Convectieve warmteoverdracht

Samenvatting Literatuur onderzoek naar convectieve overdrachtscoëfficiënten bruikbaar in kassen.

Diverse bronnen zijn geraadpleegd:

Rohsenow , Handbook of Heat Transfer Fundamentals, 1985, 2e druk

Bird/Stewart/Lightfoot, Transport Phenomena, 1960

Grobe/Erk/Grigull, Wärmeübertragung, 1963, 3e druk

Kutaladze, Fundamentals of Heat Transfer, 1963

Bot, Greenhouse Climate, 1983

Linthorst, Natural Convection Suppression in Solar Collectors, 1985

Lankhorst, Laminar and Turbulent Natural Convection in Cavities, 1991

Het onderzoek spitst zich toe op convectie overdracht aan hellende vlakken (glasvlak) en profielen. Er is geen specifieke literatuur gevonden over convectieve overdracht naar uitstekende profielen als onderdeel van een hellend vlak. Wel over specifieke koelprofielen doch deze zijn toegespitst op gevinde oppervlakken. De relaties zijn echter identiek van opbouw.

Samenvattend kan gesteld worden dat de ordegraad van de warmteoverdrachtscoëfficiënt tussen de 2 en 3.5 ligt en afhankelijk is van temperatuurverschil en geometrie. De temperatuur afhankelijkheid is te beschrijven met een machtsfunctie. De macht bedraagt 5/4 voor laminaire warmteoverdracht en 4/3 voor turbulente warmteoverdracht. In de praktijk is er in kassen sprake van turbulente warmteoverdracht.

Basis relatie : $Q = h \cdot A \cdot dT$ met $h = Nu \cdot \lambda / L$ waarbij $Nu = f(Ra, T)$

Het kengetal van Rayleigh (Ra) is afhankelijk van de karakteristieke lengte L en de stoffeïenschappen en daarmee eveneens temperatuurafhankelijk. Voor profielen is via integratie van de lokale Nu een waarde voor het gemiddelde over het profiel te verkrijgen. Ten gevolge van de aangroeiende grenslaag dikte langs het profiel leidt dit acuut tot zeer ingewikkelde recursieve berekeningen. Het voert voor dit project te ver dergelijke berekeningen aan profielen op te zetten.

Convectie aan hellende vlakken.

In principe zijn de formule's geldig voor verticale vlakken waarbij Ra vervangen is door $Ra \cdot \cos(\text{hoek})$

kasgegevens

$$L := 1.75 \cdot m \quad T_I := 10 \cdot K \quad T_O := 15 \cdot K \quad \text{hoek} := (90 - 26) \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\cos(\text{hoek}) = 0.44$$

stofgegevens

$$\eta := 1.8 \cdot 10^{-5} \cdot Pa \cdot sec \quad \rho := 1.293 \cdot \frac{kg}{m^3} \quad \lambda := 0.0257 \cdot \frac{watt}{m \cdot K}$$

$$\nu := \frac{\eta}{\rho} \quad \beta := \frac{1}{273} \cdot K^{-1}$$

$$\nu = 0 \cdot m^2 \cdot sec^{-1} \quad \alpha := 2.11 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{m^2}{sec}$$

definities

$$Ra := L^3 \cdot \frac{g}{\alpha \cdot \nu} \cdot \beta \cdot |T_I - T_O|$$

$$c_t := .14 \quad c_l := .515$$

$$Nu_T := c_l \cdot (Ra \cdot \cos(\text{hoek}))^{\frac{1}{4}} \quad Ra = 3.28 \cdot 10^9 \quad Ra > 10^8 \text{ dus in principe turbulent.}$$

laminaire overdracht

$$Nu_l := \frac{2.8}{\ln\left(1 + \frac{2.8}{Nu_T}\right)}$$

$$h_l := Nu_l \cdot \frac{\lambda}{L}$$

oplossing

$$h_l = 1.49 \cdot kg \cdot sec^{-3} \cdot K^{-1}$$

turbulente overdracht

$$Nu_t := c_t \cdot (Ra \cdot \cos(\text{hoek}))^{\frac{1}{3}}$$

$$h_t := Nu_t \cdot \frac{\lambda}{L}$$

$$h_t = 2.32 \cdot kg \cdot sec^{-3} \cdot K^{-1}$$

voor een verticale wand (hoek=0) levert dit een overdracht van $h=3.05 \text{ W/m}^2 \cdot K$

vrijhangende horizontale profielen

cylinder:

karakteristieke hoogte: diameter $d := 0.1 \cdot m$

$$Ra := d^3 \cdot \frac{g}{\alpha \cdot \nu} \cdot \beta \cdot |T_I - T_O|$$

$$Nu := 1.05 \cdot 0.14 \cdot Ra^{\frac{1}{3}}$$

$$h_{cyl} := Nu \cdot \frac{\lambda}{d} \quad h_{cyl} = 3.21 \cdot \text{kg} \cdot \text{sec}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$$

diamantvormige buis:

karakteristieke hoogte: diameter $d := 0.1 \cdot m$

$$Nu := \frac{8}{7} \cdot 0.14 \cdot Ra^{\frac{1}{3}}$$

$$h_{dia} := Nu \cdot \frac{\lambda}{d} \quad h_{dia} = 3.49 \cdot \text{kg} \cdot \text{sec}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$$

scheef scherphoekig doosprofiel:

$$\text{hoek van het profiel:} \quad \theta := 70 \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\text{hoogte profiel:} \quad L_c := .1 \cdot (m)$$

$$\text{breedte profiel:} \quad L_b := 0.0364 \cdot (m) \quad \text{voorwaarde } L_b < L_c \cdot \cos(\theta)$$

$$\text{karakteristieke hoogte:} \quad d := L_b \cdot \tan(\theta) \quad d = 0.1 \cdot m$$

$$Nu := \left(1 + \frac{L_b}{7 \cdot L_c \cdot \cos(\theta)} \right) \cdot 0.14 \cdot Ra^{\frac{1}{3}}$$

$$h_{doo} := Nu \cdot \frac{\lambda}{d} \quad h_{doo} = 3.52 \cdot \text{kg} \cdot \text{sec}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$$

Voor warmte overdracht tussen lucht en profielen kan voor de convectieve overdracht onafhankelijk van de vorm van het profiel een warmteoverdrachts coefficient van $h = 3.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ worden gehanteerd.

De warmteoverdracht van lucht naar kasdek is in de norm vast gelegd op $3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ hetgeen wat aan de hoge kant lijkt voor de vlakke hoeken die het kasdek normaliter maakt.

BIJLAGE B

Stralingsoverdracht tussen vlakken

Bijlage B Formules voor stralingsoverdracht

B1. Stralingsoverdracht tussen vlakken

Hieronder volgt een beknopt overzicht van de theorie met de relevante formules.

Definities:

σ	constante van Boltzmann
ϵ_i	emmissiecoëfficiënt van vlak i
ϵ_j	emmissiecoëfficiënt van vlak j
A_i	oppervlakte van vlak i
A_j	oppervlakte van vlak j
T_i	absolute temperatuur van vlak i
T_j	absolute temperatuur van vlak j
Z_{Fij}	zichtfactor gezien vanuit vlak A_i naar vlak A_j (definitie zie onder)
U_{Fij}	uitwisselingsfactor van vlak A_i naar vlak A_j (definitie zie onder)
Q_{str}	netto stralingsuitwisseling tussen twee vlakken
q_{str}	netto ontvangen stralingsdichtheid in watt/m ² voor een bepaald vlak

Uitstraling zwart vlak met temperatuur T:

$$q = \sigma * T^4 \quad [W/m^2]$$

Uitstraling grijs vlak:

$$q = \epsilon * \sigma * T^4 \quad [W/m^2]$$

Totale uitstraling vlak met oppervlakte A_i en temperatuur T_i :

$$Q = A_i * \epsilon_i * \sigma * T_i^4 \quad [W]$$

De zichtfactor bepaalt hoeveel straling die **direct** wordt uitgewisseld tussen twee vlakken A_i en A_j . De definitie van de zichtfactor is:

$$ZF = \frac{\text{door } A_i \text{ uitgezonden direct op } A_j \text{ vallende straling}}{\text{door } A_i \text{ uitgezonden straling}}$$

Door vlak A_i uitgezonden straling dat direct door vlak A_j wordt opgevangen en geabsorbeerd is nu:

$$Q_{ij} = a_j * (A_i * \epsilon_i * \sigma * T_i^4) * ZF_{ij} \quad [W]$$

Voor niet transparante oppervlakken geldt:

$$a = \epsilon$$

Door A_i uitgezonden straling dat op direct op A_j valt en wordt geabsorbeerd is nu:

$$Q_{ij} = A_i * \epsilon_i * \epsilon_j * \sigma * T_i^4 * ZF_{ij} \quad [W]$$

Tot dusver is geen rekening gehouden met (inter)reflecties. De hoeveelheid straling die uiteindelijk, direct + indirect via reflecties, op A_j terecht komt wordt bepaald door de uitwisselingsfactor. De definitie van de uitwisselingsfactor is:

$$UF_{ij} = \frac{\text{van } A_i \text{ afkomstige straling die door } A_j \text{ wordt geabsorbeerd}}{\text{totaal van } A_i \text{ uitgaande straling}}$$

Met deze definitie wordt de stralingsenergie van A_i naar A_j :

$$Q_{ij} = (A_i * \epsilon_i * \sigma * T_i^4) * UF_{ij} \quad [W]$$

en omgekeerd van A_j naar A_i :

$$Q_{ji} = (A_j * \epsilon_j * \sigma * T_j^4) * UF_{ji} \quad [W]$$

Voor "grijze" oppervlakken geldt:

$$\varepsilon_i * \sigma * UF_{ij} = \varepsilon_j * \sigma * UF_{ji}$$

De netto warmteoverdracht door straling van A_i naar A_j wordt dan (bij $T_i > T_j$):

$$Q_{str} = A_j * \varepsilon_j * \sigma * UF_{ji} * (T_i^4 - T_j^4) \quad [W]$$

of

$$Q_{str} = A_i * \varepsilon_i * \sigma * UF_{ij} * (T_i^4 - T_j^4) \quad [W]$$

B.2 Bepaling van zichtfactoren en uitwisselingsfactoren.

Zichtfactoren en uitwisselingsfactoren zijn niet op eenvoudige wijze te berekenen. Voor een exacte bepaling moeten viervoudige integralen worden uitgewerkt. Voor eenvoudige geometrische vormen zijn formules uit handboeken beschikbaar. Deze zijn echter niet van toepassing voor de geometrische vormen bij kassen. We zullen ons daarom beperken tot vereenvoudigde formules.

Hieronder worden formules gegeven voor enkele bijzondere gevallen.

B.3 Formules voor toepassing bij de glasruit in het kasdek

B.3.1 Stralingsuitwisseling tussen de glasruit van een kas en de bodem

Een bekende formule is die voor twee oneindig grote evenwijdige vlakken:

$$Q_{str} = \frac{\sigma * T_i^4 - T_j^4}{\frac{1}{\epsilon_j} + \frac{1}{\epsilon_i} - 1}$$

of

$$Q_{str} = \frac{\epsilon_i * \epsilon_j * \sigma * (T_i^4 - T_j^4)}{\epsilon_j + \epsilon_i - \epsilon_j * \epsilon_i}$$

Als de twee oppervlakten niet aan elkaar gelijk zijn kan men volgens [1] een meer algemene formule gebruiken. Voor een warm oppervlak A_i dat geheel omsloten wordt door een koud oppervlak A_j geldt (voor op het koude oppervlak A_j betrokken) warmteoverdracht bij benadering:

$$Q_{str} = \frac{A_j * \epsilon_i * \epsilon_j * \sigma * (T_i^4 - T_j^4)}{\frac{A_j}{A_i} \epsilon_j + \epsilon_i - \epsilon_j * \epsilon_i}$$

Voor een kasdek met hellingshoek H geldt

$$\frac{1}{\cos H} = \frac{A_j}{A_i} = \frac{A_{glas}}{A_{bodem}}$$

zodat

$$Q_{str} = F_i * \sigma * (T_g^4 - T_{io}^4)$$

met

$$F_i = \frac{\epsilon_g * \epsilon_i}{\frac{\epsilon_i}{\cos H} + \epsilon_g - \epsilon_i * \epsilon_g}$$

Hierbij zijn parameters ingevoerd als gedefinieerd bij de beschrijving van het kasdek.

B.3.2 Stralingsuitwisseling tussen de glasruit en de hemelkoepel

Voor een warm oppervlak A_i dat geheel omsloten wordt door een koud oppervlak A_j geldt voor de (op het warme koude oppervlak A_i betrokken) warmteoverdracht bij benadering als $A_j \gg A_i$ [1]:

$$Q_{str} = A_i * \epsilon_i * \sigma * (T_i^4 - T_j^4)$$

Als sprake is van een belemmering wordt de formule:

$$Q_{str} = A_i * ZF * \epsilon_i * \sigma * (T_i^4 - T_j^4)$$

waarin ZF de zichtfactor is, die op de hieronder beschreven wijze wordt vastgesteld.

Voor de glasruit schrijven we de formule in de volgende vorm:

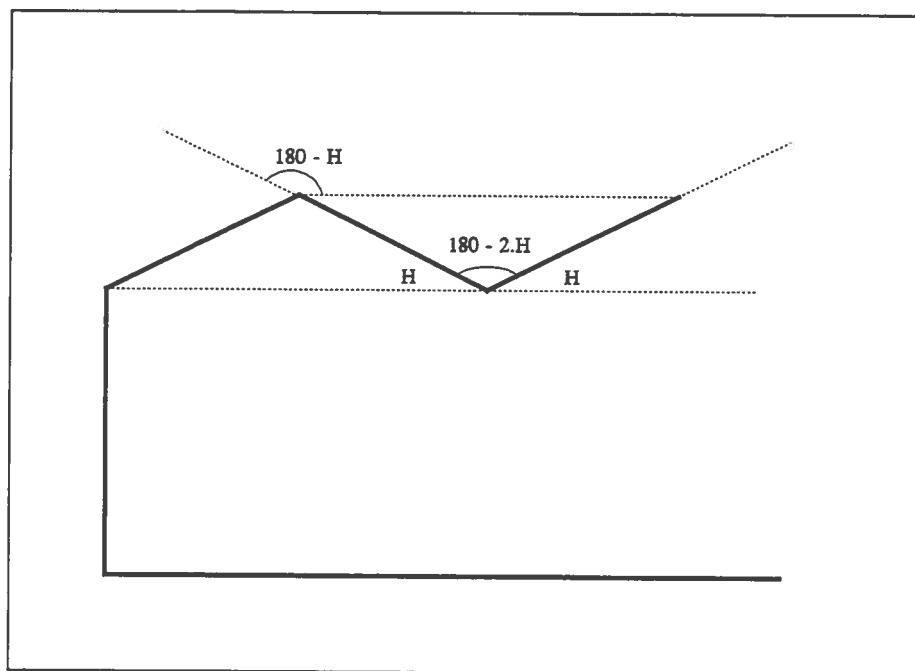
$$Q_{str} = F_e * \sigma * (T_i^4 - T_j^4)$$

met

$$F_e = ZF * \epsilon_e$$

De hellende glasruit in het kasdek "ziet" niet de gehele hemelkoepel. Bij de nok is de zichthoek 180° , bij de goot is dat $180 - 2^\circ$ (zie figuur B.1). Als benadering nemen we de gemiddelde zichthoek $180 - 1.5^\circ$. De zichtfactor wordt dan (zie definitie zichtfactor):

$$ZF = \frac{\pi - 1.5^\circ}{\pi}$$



Figuur B.1: *Definitie zichthoek.*

B.4 Formules voor toepassing bij de profielen in het kasdek

Uitgegaan wordt van de aanzichtsvlakken zoals gedefinieerd in 3.3.2.

Deze koude vlakken zijn klein ten opzichte van de omringende warme vlakken, zodat dezelfde formule vorm als in B.3.1 toegepast kan worden. De factoren F_i en F_e worden steeds bepaald als combinatie van oppervlakte en zichtfactor. De zichtfactoren worden bepaald door voor elk geval de zichthoek te bepalen. De zichtfactor vindt men uiteindelijk door de zichthoek te delen door 180° .

B.4.1 Nokprofiel

B.4.1a Binnenzijde

Het ondervlak met oppervlakte L_{io} "ziet" de bodem met een zichthoek van $180-2*H^\circ$.

De beide zijvlakken met oppervlakten L_{iz} "zien" de bodem met een zichthoek van $90-H^\circ$

De factor F_i wordt dan:

$$F_i = \frac{[(\pi - 2 * H) * L_{io} + 2 * (\frac{1}{2} * \pi - H) * L_{iz}] * \epsilon_i}{\pi}$$

of

$$F_i = \frac{(\pi - 2 * H)}{\pi} * (L_{iz} + L_{io}) * \epsilon_i$$

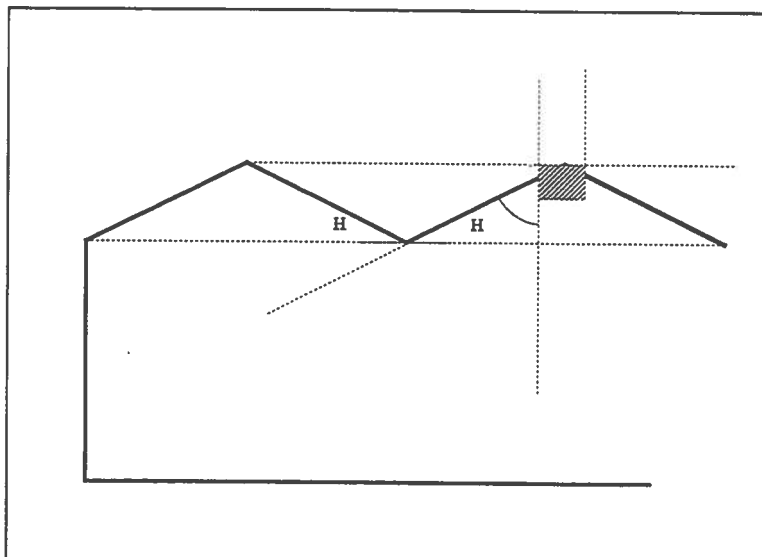
B.4.1b Buitenzijde

Het bovenvlak met oppervlakte L_{eo} "ziet" de hemel met een volledige zichthoek van 180° .

De beide zijvlakken met oppervlakten L_{ez} "zien" de hemel met een zichthoek van 90°

De factor F_e wordt dan:

$$F_e = (L_{ez} + L_{eo}) * \epsilon_e$$



B.4.1 Gootprofiel

B.4.1a Binnenzijde

Het ondervlak met oppervlakte L_{io} "ziet" de bodem met een zichthoek van 180° .

De beide zijvlakken met oppervlakten L_{iz} "zien" de bodem met een zichthoek van 90°

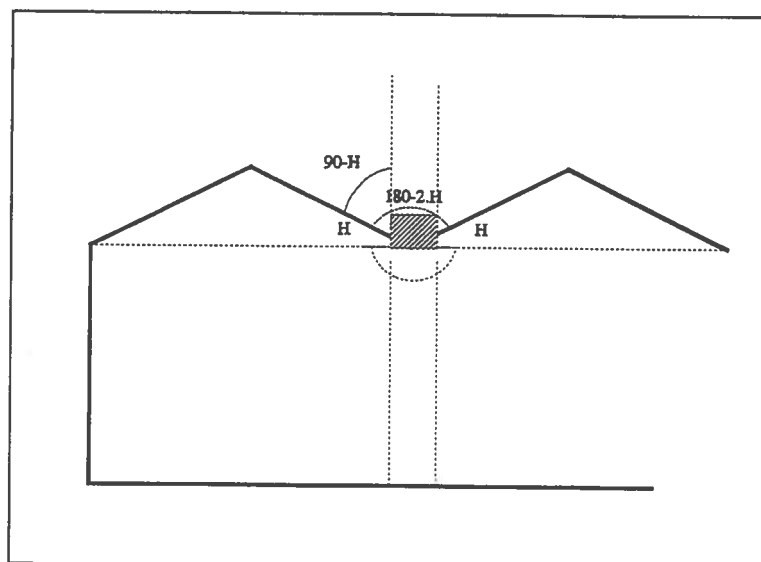
De factor F_i wordt dan:

$$F_i = (L_{iz} + L_{io}) * \varepsilon_i$$

B.4.1b Buitenzijde

Het bovenvlak met oppervlakte L_{eo} "ziet" de hemel met een zichthoek van $180-2H^\circ$. De beide zijvlakken met oppervlakten L_{ez} "zien" de hemel met een zichthoek van $90-H$. De factor F_e wordt dan:

$$F_e = \frac{(\pi - 2 * H)}{\pi} * (L_{ez} + L_{eo}) * \varepsilon_e$$



B.4.1 Dakroede profiel

B.4.1a Binnenzijde

De top van het profiel "ziet" de bodem met een zichthoek van $180 - 2H^\circ$. De uiterste onderkant "ziet" de bodem met een zichthoek van $180 - H^\circ$. De gemiddelde zichthoek wordt dan $180 - 1.5H^\circ$.

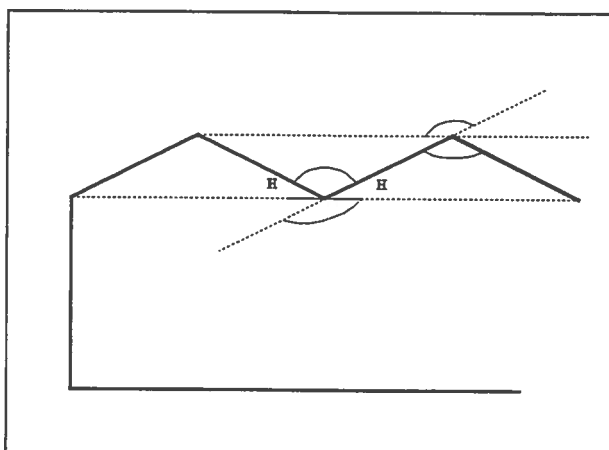
De factor F_i wordt dan:

$$F_i = \frac{(\pi - 1.5 * H)}{\pi} * (L_{iz} + L_{io}) * \epsilon_i$$

B.4.1b Buitenzijde

Op dezelfde wijze vinden we:

$$F_e = \frac{(\pi - 2 * H)}{\pi} * (L_{ez} + L_{eb}) * \epsilon_e$$



BIJLAGE C

Warmteoverdracht door condensatie

Bijlage C Berekening van de warmteoverdracht door condensatie.

Als de dauwpuntstemperatuur van de lucht in de kas groter is dan de oppervlaktetemperatuur aan de binnenzijde van het kasdek zal condensatie ontstaan. Bij condensatie komt de verdampingswarmte van het condenswater vrij. De berekeningsformule uit NEN 2697 (zie bijgevoegd rekenblad uit een Mathcad applicatie) is fundamenteel gezien niet juist. Op zijn minst moet daarbij als voorwaarde $q_{ico} > 0$ worden meegenomen. Deze term kan onder bepaalde condities negatief worden. Dit zou betekenen dat er gemiddeld meer water verdampt dan condenseert aan het oppervlak. Ook zonder deze aanvullende voorwaarde is het gebruik van deze formule zeer discutabel. Omdat het condensatieproces zeer niet-lineair verloopt (condensatie en verdamping zullen elkaar vanwege de grote temperatuurvariaties voortdurend afwisselen), kan men eigenlijk niet volstaan met een formule die gebaseerd is op een gemiddelde klimaat conditie. Een betere methode zou zijn de berekening voor een bereik van verschillende temperatuurcondities uit te voeren en de resultaten te wegen naar frequentie voorkomen. Uit een proefberekening gebleken dat de formules uit NEN 2697 niet juist kunnen zijn (zie rekenblad vochtberekening).

Enkele punten zijn:

- het teken in de formule is niet juist (bedoeld is dat q_{ico} een positieve bijdrage geeft bij condensatie)
- het vochtgehalte van de binnenlucht in de kas wordt berekend aan de hand van een omslachtige formule 7 uit NEN 2697; deze formule geeft een vreemde uitkomst (zie rekenblad)
- uitgaan van de verdampingsfactor als vast gegeven kan tot onzinnige uitkomsten leiden ($RV > 100 \%$) als parameters in de formule worden veranderd. Ons voorstel is uit gaan van een RV voor binnenlucht als invoergegeven. De formules worden dan tevens minder omslachtig.

PROEFBEREKENING VOCHT 1

De standaard omstandigheden volgens NEN 2697 zijn:

$T_i = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$ de luchttemperatuur in de kas
 $T_e = 4 \text{ } ^\circ\text{C}$ de luchttemperatuur buiten
 $T_g = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$ de temperatuur van gewas en bodem
 $T_h = -1 \text{ } ^\circ\text{C}$ de stralingstemperatuur van de hemel
 $V = 0.278 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ventilatiehoeveelheid
 $R_{Ve} = 90 \text{ \%}$ relatieve luchtvochtigheid buiten
 $H = 26 \text{ } ^\circ$ hellingshoek van het kasdek
 $C_g = 3700 \text{ W/m}^2$ de verdamping van gewas en/of bodem

Invoer constanten:

$\rho = 1$ volumieke massa van lucht
 $r = 2.474 \cdot 10^6$ verdampingswarmte van water
 $c_p = 1200$ soortelijke warmte van lucht
 $C_{ic} = 3$ convectieve α

Bereken:

$T_{io} = 8$

Berekening verzadigingsvochtgehalte:

$$v(x) = 3.77 + 0.2965 \cdot x + 0.0052 \cdot x^2 + 0.00037 \cdot x^3 \cdot 10^{-3}$$

$$w_{io_v} = v(T_{io}) \quad w_{io_v} = 0.0067$$

$$w_{g_v} = v(T_g) \quad w_{g_v} = 0.0106$$

$$w_{e_v} = v(T_e) \quad w_{e_v} = 0.0051$$

$$w_{i_v} = v(T_i) \quad w_{i_v} = 0.0106$$

$$w_e = w_{e_v} \cdot \frac{R_{Ve}}{100} \quad w_e = 0.0046$$

$$w_i = \frac{(V \cdot w_e \cdot r + C_g \cdot w_{g_v}) \cdot c_p \cdot \cos(H) + C_{ic} \cdot r \cdot w_{io_v} (T_i - T_{io})^{\frac{1}{3}}}{(V \cdot r - \rho - C_g) \cdot c_p \cdot \cos(H) + C_{ic} \cdot r (T_i - T_{io})^{\frac{1}{3}}}$$

$$w_i = 0.0072 \quad w_i - w_{i_v} = -0.0034$$

$$RV_i := \frac{w_i}{w_{i_v}} \cdot 100$$

$$RV_i = 68.1451$$

$$q_{ico} = \frac{C_{ic} \cdot r}{c_p} \cdot (w_i - w_{i_v}) \cdot (T_i - T_{io})^{\frac{1}{3}}$$

$$q_{ico} = -40.087$$

$$w_i - w_{i_v} = -0.0034$$

Conclusie: formule 7 is niet correct

Logischer is uit te gaan van RV_i .

Stel:

$$RV_i = 85$$

dan is:

$$w_i = v(T_i) \cdot \frac{RV_i}{100}$$

$$w_i = 0.009$$

$$w_i - w_e = 0.0045$$

$$w_{i_v} = 0.0106$$

$$q_{ico} = C_{ic} \cdot \frac{r}{c_p} \cdot (w_{i_v} - w_i) \cdot (T_i - T_{io})^{\frac{1}{3}}$$

$$q_{ico} = 18.8764$$

$$q_{vent} = V \cdot r \cdot \rho \cdot (w_i - w_e) \cdot c_p \cdot \cos(H)$$

$$q_{vent} = 2.3942 \cdot 10^3$$

Bijlage D Gevoeligheidsberekening ε Mathcad**Tabel D.1** *Berekende U-waarden in W/m².K*

	Alle ε 's van de profielen zijn gesteld op 0.2	Alle ε 's van de profielen zijn gesteld op 0.9
Glasruit	7.089	7.089
Nokprofiel	0.227	0.277
Gootprofiel	1.118	1.551
Dakroede profiel	0.367	0.437
Kasdek gemiddeld	7.886	8.113

Bijlage E Profielen van de voorbeeldberekening in Mathcad

Klantnaam: BOAL Systemen	Profielnummer klant	Profielnaam: VENLONOK 21°	Ontwerpnummer: 3 890105 14/2
Toepassing: Kassenbouw	Kombineert met: Bout M6x50, Scharnier en Nokschuifje		
Wijziging nr.:			4 890410 04 4 890810 01 4 900516 17

$1 \text{ mm} = \frac{1}{1000} \text{ m}$

Handwritten calculations:
 $L_{om} = 2 \times 16.5 = 33$
 $+ 2 \times 1.2 = 34.2$
 $+ 2 \times 0.2 = 34.4$
 $+ 2 \times 1.4 = 37.4$
 $= 37.4$

Handwritten calculations:
 $L_{100} = 14.4 + 2 \times 0.2 = 14.8$
 $L_{120} = 2 \times 31.6 \text{ (schattend)}$

S = snijpunt, overige maten over de eventuele afrondingen. Maten in mm. Zichtvlak: geen Niet aangegeven wanddikte: R = volle radius. Toleranties tenzij anders aangegeven vlg DIN 17481 = benaderende maat. Mechanische oppervlaktebehandeling: geen	Oppervlaktebehandeling: geen
---	-------------------------------------

BOAL ALUMINIUM
 Postbus 75
 3878 ZH De Lier / Holland
 tel: 01745-14444 / telefax 18225

Lagering: AlMgSi 0.5 F25	Getekend: S.H. 48
Kwaliteit: Handels	Schaal: 2:1
Ontrek: Ontrek uitvoer: Theor. gew.: Profielnr.:	
218.5 mm	0.492 kg/m

35256

06-NOV-86 10.57

BOAL SYSTEMEN B.V.

0174418221

6

Pag 4.7

 $1 \text{ mm} \approx \frac{1}{25} = 0.04$

Lichtberekening van aluminium goot B5277

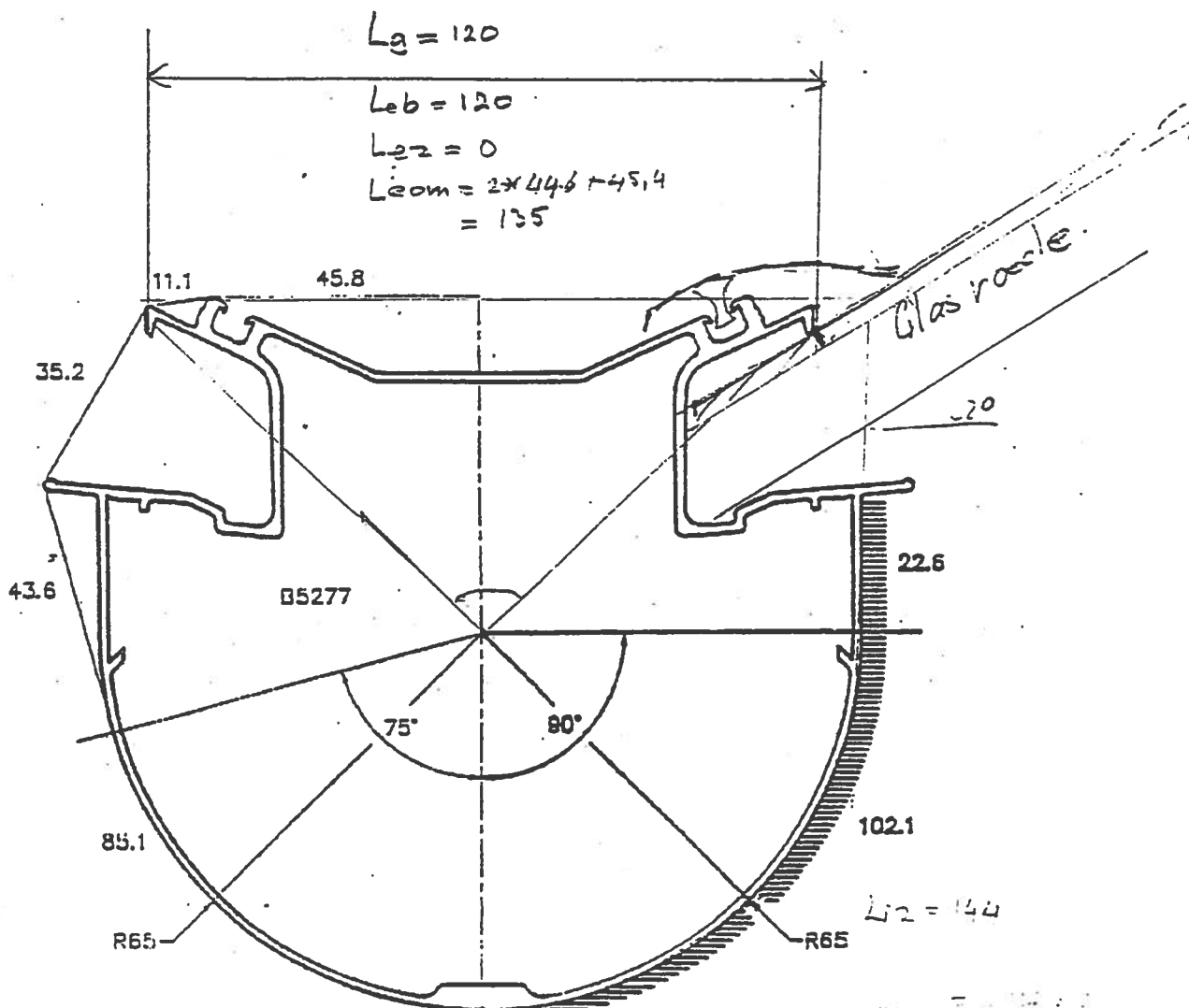
(lcg uitvoering)



BOAL systemen

Postbus 150
2590AC 's Gravenzande
tel.: 01746-18851 / fax 18221

ow\g\B5277
doc. '89 N.H.
schaal 1:1



Klantnaam: BOAL systemen	Profielnummer klant	Profielnaam: ROEDE	Ontwerpnummer: 3 890112 06/1
Toepassing: KASSENBOUW	Kombineert met:		Wijziging nr.:

$L_{eb} = 19$
 $L_{ez} = 7,85$
 $L_{eom} = 10 + 4 \times 2,05 + 5 \times 1,3 = 53,2$

4 890220 02
 $17481 = \frac{10}{32} = 0,3125$

$L_{iz} = 38,35$
 $L_{ioo} = 2 \times 38,35 + 9 = 96,1$
 $L_{iom} = 97,9$

$\circ R = 0,2$
 $* R = 0,5$
 $P = \text{bobbet } 0,3 \times 0,6$

$L_{io} = 19$
 $L_g = 19$

$G_{x-x} = 25,48 \text{ mm}$

$R1.4$

S = snijpunt, overige maten over de eventuele afrondingen.
 Maten in mm. Zichtvlak: **geen** Niet aangegeven wanddikte: **1**
 R = volle radius. Toleranties tenzij anders aangegeven vigs **DIN 1748**
 — = belangrijke maat. Mechanische oppervlaktebehandeling: **geen**

Oppervlaktebehandeling: **geen**

BOAL-ALUMINIUM Postbus 73 3878 NH De Mar (Holland) tel. 01745-14444 / telex 33624		Leiding: AlMgSi 0,5 F22 Getekend: N.H./TOW Kwaliteit: Handels Sonden: 21/10:1/1:1 Ontrek. zw.: 97,9 mm Ontrek. dw.: 214,3 mm Theor. gew.: 0,550 kg/m Profielnr.: 35264
---	--	---

TNO-rapport
96-BBI-R1180

**BEREKENINGSMETHODE VOOR U-WAARDEN VAN KAS-
DEKKEN IN DE GLASTUINBOUW: implementatie in MathCad
(bijlage bij rapport 96-BBI-R1181)**

TNO Bouw

Lange Kleiweg 5, Rijswijk
Postbus 49
2600 AA Delft

Datum 16 februari 1998

Telefoon 015 284 20 00
Fax 015 284 39 90
Telex 38270

Auteur(s)

Opdrachtgever : Kernactiviteit Agro-Structures (KAS)
Afdeling Constructies
TNO-Bouw

Projectnummer : 6.21.8.7419

Projectleider : Ir. J. Oldengarm
m.m.v. ing. H.P. Oversloot

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onder-
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

Aantal pagina's : 35
Aantal bijlagen : 2

© TNO

VOORWOORD

Tot op heden hebben tuinders bij hun keuze voor kasttype, kasafmetingen, kasonderdelen en kasmaterialen (zoals dit in de praktijk gebeurt met CASTA/Kassenbouw) het probleem dat zij geen objectieve informatie ter beschikking hebben om de consequenties van hun keuzes voor het energie-verbruik van en lichttoetreding in hun kas te beoordelen. Om hierin verandering te brengen wordt door TNO Bouw, Kernactiviteit Agro Structures (K.A.S.) in opdracht van het Landbouwschap, de NOVEM en de stichting STOREKA, het project "Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen" uitgevoerd. De looptijd van dit project is november 1995 tot en met december 1997.

De doelstelling van dit project is het ontwikkelen van objectieve energie-indicatoren ter ondersteuning van de tuinders bij hun keuzes en de implementatie van deze indicatoren in de ontwerpmethodiek CASTA/Kassenbouw van nieuwe kassen. Concreet gaat het hierbij om de energie-indicatoren lichtdoorlatendheid, ventilatieverliezen, productie-energie en de transmissieverliezen (U-waarde). De afgeleide doelstellingen liggen op het vlak van:

- energiebesparing, absoluut en relatief;
- vergroting van het energiebewustzijn bij het aanschaffen van een kas;
- stimulering van de ontwikkeling van energiezuinige kassen;
- efficiëntere benutting van de grondstoffen;
- ontwikkeling van een objectieve standaardmethode voor de numerieke bepaling van de U-waarde van huidige en nieuwe kasdek- en gevelsystemen.

In voorliggend rapport wordt een verbeterde rekenmethodiek ter bepaling van de warmte-doorgangscoefficient (U-waarde, voorheen k-waarde) van kassen gepresenteerd. Deze methodiek is door de afdeling Bouwfysica, Binnenmilieu en Installaties (BBI) van TNO Bouw ontwikkeld met als doel om op eenvoudige en effectieve wijze een kasdeksysteem te beoordelen. De opzet is zodanig dat straling en convectie voor tuinbouwkassen op realistische wijze in rekening wordt gebracht. De volgens deze methodiek berekende U-waarde van de kas zal gebruikt gaan worden als invoerparameter van diverse andere programma's die het gasverbruik van individuele tuinders op jaarbasis berekenen (IMAG-DLO en KASSA van AHS Den Bosch). De in dit rapport beschreven methode kan worden beschouwd als uitbreiding en verbetering van de NEN 2697 "Berekeningsmethode voor de warmtedoorgangscoefficient van enkel- en isolerend dubbelglas in de glastuinbouw".

SAMENVATTING

Dit rapport beschrijft een berekeningsmethode voor de bepaling van de warmtedoorgangscoëfficiënt (U-waarde) van een kasdek, zoals toegepast in de glastuinbouw. Het betreft een methode waarbij de U-waarde wordt bepaald door relatief eenvoudige formules voor de warmteoverdracht door convectie, straling en geleiding. Er is zoveel mogelijk aansluiting gezocht bij de NEN 2697 "Berekeningsmethode voor de warmtedoorgangscoëfficiënt van enkel- en isolerend dubbelglas in de glastuinbouw". Naast het berekenen van de U-waarde voor de glasruit worden ook de U-waarden voor de verschillende profielsystemen in het kasdek meegenomen en wordt uiteindelijk de gemiddelde U-waarde voor het kasdek als geheel bepaald. De berekeningsmethode is beschikbaar als een MatchCad applicatie waarvoor de onderbouwing is vastgelegd TNO-rapport 96-BBI-R1181.

In dit rapport wordt het volledige rekenschema in een MathCad applicatie weergegeven van de berekeningsmethode voor de bepaling van de warmtedoorgangscoëfficiënt (U-waarde) van een kasdek zoals toegepast in de glastuinbouw. Als voorbeeld is de berekening toegepast voor een glasruit in het kasdek, alsmede voor een nokprofiel, een gootprofiel en een dakroede profiel.

INHOUD

Voorwoord

Samenvatting

Inhoud

BIJLAGE A: Voorbeeldberekening van de MatchCad applicatie "Berekening U-waarden van kasdekken"

BIJLAGE B: Profielen van de voorbeeldberekening

BIJLAGE A: Voorbeeldberekening van de MatchCad applicatie

"Berekening U-waarden van kasdekken"

BEREKENING U-WAARDEN VAN KASDEKKEN

De berekening gebeurt afzonderlijk voor een aantal elementen.

Het aantal elementen is:

$$i = 1 \dots 4$$

De elementen zijn:

1. glasruit
2. nokprofiel
3. gootprofiel
4. dakroede

Definitie van eenheden:

Temperatuureenheid is °C: °C $\equiv$ 1K

Tijdseenheid is s: s $\equiv$ sec

Hoeken in graden: ° $\equiv$ deg

Vermogen: W $\equiv$ watt

INVOER STANDAARD CONDITIES:

Volgens NEN 2697:

de luchttemperatuur in de kas:

$$T_i := 15 \cdot ^\circ\text{C}$$

de luchttemperatuur buiten:

$$T_e := 4 \cdot ^\circ\text{C}$$

de temperatuur van gewas en bodem:

$$T_g := 15 \cdot ^\circ\text{C}$$

de stralingstemperatuur van de hemel:

$$T_h := -1 \cdot ^\circ\text{C}$$

hellingshoek van het kasdek:

$$H := 26 \cdot ^\circ$$

In aanvulling op NEN 2697:

windsnelheid:

$$v := 4 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

emissiecoëfficiënt van gewas/bodem:

$$\varepsilon_g := 0.95$$

1. INVOER EIGENSCHAPPEN: glasplaat

Rekenwaarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt λ :

$$\lambda_1 := 1 \cdot \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \quad \text{Standaard waarde volgens NEN 2697: } \lambda = 1$$

Rekenwaarde voor de dikte:

$$d_1 := 4 \cdot mm$$

Rekenwaarde voor de emissiecoëfficiënt aan de binnenzijde:

$$\varepsilon_{i1} := .837 \quad \text{Standaard waarde volgens NEN 2697: } \varepsilon = 0.837$$

Rekenwaarde voor de emissiecoëfficiënt aan de buitenzijde:

$$\varepsilon_{e1} := .837 \quad \text{Standaard waarde volgens NEN 2697: } \varepsilon = 0.837$$

2. INVOER EIGENSCHAPPEN: nokprofiel TYPE: VENLONOK 21Rekenwaarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt λ :

$$\lambda_2 := 1 \cdot \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

Rekenwaarde voor de dikte:

$$d_2 := 0.004 \cdot m$$

Rekenwaarde voor de emissiecoëfficiënt aan de binnenzijde:

TABEL:

$$\varepsilon_{i2} := 0.2$$

Blank Aluminium : $\varepsilon = 0.2$

Rekenwaarde voor de emissiecoëfficiënt aan de buitenzijde:

Overige materialen: $\varepsilon = 0.9$

$$\varepsilon_{e2} := 0.2$$

GEOMETRISCHE GEGEVENS:

Afmeting dwarsdoorsnede in het profiel ter plaatse van einde glasvlakken:

$$L_{g2} := 14.4 \cdot mm$$

Afmeting van het (geprojecteerde) onderaanzicht van het profiel binnenzijde:

$$L_{io2} := 14.4 \cdot mm$$

Afmeting van het (geprojecteerde) zijaanzicht van het profiel binnenzijde:

$$L_{iz2} := 6.3 \cdot mm$$

Afmeting van het (geprojecteerde) bovenaanzicht van het profiel buitenzijde:

$$L_{eb2} := 32.2 \cdot mm$$

Afmeting van het (geprojecteerde) zijaanzicht van het profiel buitenzijde:

$$L_{ez2} := 20.7 \cdot mm$$

Omtrek van de omhullende van het deel van het profiel dat blootgesteld is aan binnenlucht:

$$L_{ioo2} := 31.6 \cdot mm$$

Werkelijke omtrek het deel van het profiel dat blootgesteld is aan binnenlucht:

$$L_{iom2} := 73.2 \cdot mm$$

Werkelijke omtrek het deel van het profiel dat blootgesteld is aan buitenlucht:

$$L_{eom2} := 81.4 \cdot mm$$

3. INVOER EIGENSCHAPPEN: gootprofiel TYPE BOAL B5277Rekenwaarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt λ :

$$\lambda_3 := 1 \cdot \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

TABEL:

(alleen voor λ -waarden < 1)

Rekenwaarde voor de dikte:

$$d_3 := 0.004 \cdot m$$

Rekenwaarde voor de emissiecoëfficiënt aan de binnenzijde:

$$\varepsilon_{i3} := 0.2$$

TABEL:

Blank Aluminium : $\varepsilon = 0.2$

Rekenwaarde voor de emissiecoëfficiënt aan de buitenzijde:

$$\varepsilon_{e3} := 0.2$$

Overige materialen: $\varepsilon = 0.9$ **GEOMETRISCHE GEGEVENS:**

Afmeting dwarsdoorsnede in het profiel ter plaatse van einde glasvlakken:

$$L_{g3} := 120 \cdot mm$$

Afmeting van het (geprojecteerde) onderaanzicht van het profiel binnenzijde:

$$L_{io3} := 130 \cdot mm$$

Afmeting van het (geprojecteerde) zijaanzicht van het profiel binnenzijde:

$$L_{iz3} := 144 \cdot mm$$

Afmeting van het (geprojecteerde) bovenaanzicht van het profiel buitenzijde:

$$L_{eb3} := 120 \cdot mm$$

Afmeting van het (geprojecteerde) zijaanzicht van het profiel buitenzijde:

$$L_{ez3} := 0 \cdot mm$$

Omtrek van de omhullende van het deel van het profiel dat blootgesteld is aan binnenlucht:

$$L_{ioo3} := 312 \cdot mm$$

Werkelijke omtrek het deel van het profiel dat blootgesteld is aan binnenlucht:

$$L_{iom3} := 419 \cdot mm$$

Werkelijke omtrek het deel van het profiel dat blootgesteld is aan buitenlucht:

$$L_{eom3} := 135 \cdot mm$$

4. INVOER EIGENSCHAPPEN: dakroede TYPE BOALRekenwaarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt λ :

$$\lambda_4 := 1 \cdot \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

TABEL:

(alleen voor λ -waarden < 1)

Rekenwaarde voor de dikte:

$$d_4 := 0.004 \cdot m$$

Rekenwaarde voor de emissiecoëfficiënt aan de binnenzijde:

$$\varepsilon_{i4} := 0.2$$

TABEL:

Blank Alumimium : $\varepsilon = 0.2$

Rekenwaarde voor de emissiecoëfficiënt aan de buitenzijde:

$$\varepsilon_{e4} := 0.2$$

Overige materialen: $\varepsilon = 0.9$ **GEOMETRISCHE GEGEVENS:**

Afmeting dwarsdoorsnede in het profiel ter plaatse van einde glasvlakken:

$$L_{g4} := 19 \cdot mm$$

Afmeting van het (geprojecteerde) onderaanzicht van het profiel binnenzijde:

$$L_{io4} := 19 \cdot mm$$

Afmeting van het (geprojecteerde) zijaanzicht van het profiel binnenzijde:

$$L_{iz4} := 38.35 \cdot mm$$

Afmeting van het (geprojecteerde) bovenaanzicht van het profiel buitenzijde:

$$L_{eb4} := 19 \cdot mm$$

Afmeting van het (geprojecteerde) zijaanzicht van het profiel buitenzijde:

$$L_{ez4} := 7.85 \cdot mm$$

Omtrek van de omhullende van het deel van het profiel dat blootgesteld is aan binnenlucht:

$$L_{ioo4} := 96.1 \cdot mm$$

Werkelijke omtrek het deel van het profiel dat blootgesteld is aan binnenlucht:

$$L_{iom4} := 97.9 \cdot mm$$

Werkelijke omtrek het deel van het profiel dat blootgesteld is aan buitenlucht:

$$L_{eom4} := 58.2 \cdot mm$$

A. INVOER GEGEVENS KASDEK TOTAAL

De onderstaande gegevens kunnen twee manieren worden ingevoerd:

- absoluut: als totaal voor het kasdek als geheel
- relatief: als totaal per m2 kasdek

1. glasplaat.....totale oppervlakte: $A_1 := 1 \cdot \text{m}^2$

2. nokprofiel..... totale lengte: $L_2 := 0.5 \cdot \text{m}$

3. gootprofiel.....totale lengte: $L_3 := 0.5 \cdot \text{m}$

4. dakroede.....totale lengte: $L_4 := 0.25 \cdot \text{m}$

5. kasdek.....totale oppervlakte: $A_{\text{kasdek}} := 1 \cdot \text{m}^2$

Invoer van constante rekenwaarden:

Constante van Boltzmann:

$$\sigma \equiv 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}^4} \right)$$

Mathcad converteert automatisch van ° naar rad:

$$H = 0.454$$

Omrekening naar °Kelvin: $^\circ\text{K} = ^\circ\text{C} + T_{\text{kel}}$

$$T_{\text{kel}} \equiv 273.15 \cdot ^\circ\text{C}$$

1. BEREKENING U-waarde : glasplaat**a. Overnemen van ingevoerde waarden:**

$$\lambda := \lambda_1 \quad \lambda = 1 \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{W}$$

$$d := d_1 \quad d = 0.004 \cdot \text{m}$$

$$\varepsilon_i := \varepsilon_{i1} \quad \varepsilon_i = 0.837$$

$$\varepsilon_e := \varepsilon_{e1} \quad \varepsilon_e = 0.837$$

b. Berekening van de warmteweerstand R:

$$R := \frac{d}{\lambda}$$

$$R = 0.004 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{W}}$$

c. Bepaal de startwaarden met:

$$T_2 := T_e$$

$$T_1 := T_e$$

$$\alpha_e := 24 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\alpha_i := 8 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Vind de startwaarden:

Given

$$\alpha_i \cdot (T_i - T_1) = \alpha_e \cdot (T_2 - T_e)$$

$$\alpha_i \cdot (T_i - T_1) = \frac{T_1 - T_2}{R}$$

$$\begin{pmatrix} T_{i0} \\ T_{e0} \end{pmatrix} := \text{Find}(T_1, T_2)$$

De startwaarden zijn:

$$T_{e0} = 6.686 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$T_{i0} = 6.943 \cdot ^\circ\text{C}$$

d. Bepaling convectiefactor binnen

$$C_{ic} := 3 \cdot \frac{W}{\left(\frac{m^2 \cdot {}^\circ C^{\frac{4}{3}}}{m^2 \cdot {}^\circ C^3} \right)}$$

$$C_{ic} = 3 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot {}^\circ C^{-1.33333}$$

e. Bepaling stralingsfactor binnen

$$F_i := \frac{\varepsilon_g \cdot \varepsilon_i}{\left(\frac{\varepsilon_i}{\cos(H)} \right) + \varepsilon_g - \varepsilon_g \cdot \varepsilon_i}$$

$$F_i = 0.732$$

f. Bepaling convectiefactor buiten

$$C_{ec} := 5.3 \cdot \frac{W}{{}^\circ C \cdot m^2} + 3.6 \cdot v \cdot \frac{W}{{}^\circ C \cdot m^2} \cdot \frac{s}{m}$$

$$C_{ec} = 19.7 \cdot \frac{W}{{}^\circ C \cdot m^2}$$

g. Bepaling stralingsfactor buiten

$$ZF := \frac{\pi - 1.5 \cdot H}{\pi} \quad ZF = 0.783$$

$$F_e := \varepsilon_e \cdot ZF \quad F_e = 0.656$$

h. Oplossing van de warmtebalans vergelijking

Given

$$C_{ic} \cdot (T_i - T_{io}) \cdot (T_i - T_{io})^{\frac{1}{3}} + F_i \cdot \sigma \cdot [(T_g + T_{kel})^4 - (T_{io} + T_{kel})^4] = \frac{(T_{io} - T_{eo})}{R}$$

$$C_{ec} \cdot (T_{eo} - T_e) + F_e \cdot \sigma \cdot [(T_{eo} + T_{kel})^4 - (T_h + T_{kel})^4] = \frac{(T_{io} - T_{eo})}{R}$$

$$\begin{pmatrix} T_{io} \\ T_{eo} \end{pmatrix} := \text{Find}(T_{io}, T_{eo})$$

Hieruit volgen de onbekende oppervlaktetemperaturen :

$$T_{eo} = 6.731 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$T_{io} = 7.043 \cdot ^\circ\text{C}$$

i. Berekening warmtestroom en U-waarde:

$$q_g := \frac{(T_{io} - T_{eo})}{R} \quad q_g = 77.981 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{W}$$

De U-waarde volgt uit:

$$U_1 := \frac{q_g}{(T_i - T_e)} \quad U_1 = 7.089 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

j. berekening van de warmtebalans componenten

Convectie binnen:

$$q_{ic} := C_{ic} \cdot (T_i - T_{io}) \cdot (T_i - T_{io})^{\frac{1}{3}} \quad q_{ic} = 47.656 \cdot m^{-2} \cdot W$$

$$\alpha_{ic} := \frac{q_{ic}}{(T_i - T_{io})} \quad \alpha_{ic} = 5.989 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Straling binnen:

$$q_{ir} := F_i \cdot \sigma \cdot [(T_g + T_{kel})^4 - (T_{io} + T_{kel})^4] \quad q_{ir} = 30.325 \cdot m^{-2} \cdot W$$

$$\alpha_{ir} := \frac{q_{ir}}{(T_g - T_{io})} \quad \alpha_{ir} = 3.811 \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1} \cdot W$$

$$\alpha_{tot} := \alpha_{ic} + \alpha_{ir} \quad \alpha_{tot} = 9.8 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot ^\circ C^{-1}$$

Geleiding:

$$q_g = 77.981 \cdot m^{-2} \cdot W \quad q_{ir} + q_{ic} = 77.981 \cdot m^{-2} \cdot W$$

Convectie buiten:

$$q_{ec} := C_{ec} \cdot (T_{eo} - T_e) \quad q_{ec} = 53.802 \cdot m^{-2} \cdot W$$

$$\alpha_{ec} := \frac{q_{ec}}{(T_{eo} - T_e)} \quad \alpha_{ec} = 19.7 \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1} \cdot W$$

Straling buiten:

$$q_{er} := F_e \cdot \sigma \cdot [(T_{eo} + T_{kel})^4 - (T_h + T_{kel})^4] \quad q_{er} = 24.179 \cdot m^{-2} \cdot W$$

$$\alpha_{er} := \frac{q_{er}}{(T_{eo} - T_h)} \quad \alpha_{er} = 3.128 \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1} \cdot W$$

Einde berekening element 1

Begin berekening element 2

2. BEREKENING U-waarde: nokprofiel

a. Overnemen van ingevoerde waarden:

$$\lambda := \lambda_2 \quad \lambda = 1 \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{W}$$

$$d := d_2 \quad d = 0.004 \cdot \text{m}$$

$$\varepsilon_i := \varepsilon_{i2} \quad \varepsilon_i = 0.2$$

$$\varepsilon_e := \varepsilon_{e2} \quad \varepsilon_e = 0.2$$

$$L_g := L_{g2} \quad L_g = 0.014 \cdot \text{m}$$

$$L_{io} := L_{io2} \quad L_{io} = 0.014 \cdot \text{m}$$

$$L_{iz} := L_{iz2} \quad L_{iz} = 0.006 \cdot \text{m}$$

$$L_{eb} := L_{eb2} \quad L_{eb} = 0.032 \cdot \text{m}$$

$$L_{ez} := L_{ez2} \quad L_{ez} = 0.021 \cdot \text{m}$$

$$L_{ioo} := L_{ioo2} \quad L_{ioo} = 0.032 \cdot \text{m}$$

$$L_{iom} := L_{iom2} \quad L_{iom} = 0.073 \cdot \text{m}$$

$$L_{eom} := L_{eom2} \quad L_{eom} = 0.081 \cdot \text{m}$$

$$A_g := \frac{L_{g2}}{\cos(H)} \quad A_g = 0.016 \cdot \text{m}$$

b. Berekening van de warmteweerstand R:

$$R := \frac{d}{\lambda} \quad R = 0.004 \cdot \text{m}^2 \cdot \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

c. De startwaarden zijn:

$$T_{eo} = 6.731 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$T_{io} = 7.043 \cdot ^\circ\text{C}$$

Opmerking: deze worden nu overgenomen van de uitkomsten van het element hiervoor.

d. Bepaling convectiefactor binnen

$$C_{icp} := C_{ic} \cdot L_{loo} \cdot \left(\frac{L_{iom}}{L_{loo}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{icp} = 0.125 \cdot \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-3} \cdot {}^{\circ}\text{C}^{-1.33333}$$

e. Bepaling stralingsfactor binnen

$$ZF := \frac{\pi - 2 \cdot H}{\pi}$$

$$ZF = 0.711$$

$$F_i := ZF \cdot (L_{iz} + L_{io}) \cdot \epsilon_i \quad F_i = 0.003 \cdot \text{m}$$

f. Bepaling convectiefactor buiten

$$C_{ecp} := C_{ec} \cdot L_{eom}$$

$$C_{ecp} = 1.604 \cdot \text{m} \cdot \frac{\text{W}}{{}^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2}$$

g. Bepaling stralingsfactor buiten

$$ZF := 1$$

$$ZF = 1$$

$$F_e := ZF \cdot (L_{ez} + L_{eb}) \cdot \epsilon_e \quad F_e = 0.011 \cdot \text{m}$$

h. Oplossing van de warmtebalans vergelijking

Given

$$C_{icp} \cdot (T_i - T_{io}) \cdot (T_i - T_{io})^{\frac{1}{3}} + F_i \cdot \sigma \cdot [(T_g + T_{kel})^4 - (T_{io} + T_{kel})^4] = \frac{(T_{io} - T_{eo})}{R} \cdot A_g$$

$$[C_{ecp} \cdot (T_{eo} - T_e) + F_e \cdot \sigma \cdot [(T_{eo} + T_{kel})^4 - (T_h + T_{kel})^4]] = \frac{(T_{io} - T_{eo})}{R} \cdot A_g$$

$$\begin{pmatrix} T_{io} \\ T_{eo} \end{pmatrix} := \text{Find}(T_{io}, T_{eo})$$

Hieruit volgen de onbekende oppervlaktetemperaturen :

$$T_{eo} = 5.356 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$T_{io} = 5.979 \cdot ^\circ\text{C}$$

i. Berekening warmtestroom en U-waarde:

$$Q_g := \frac{(T_{io} - T_{eo}) \cdot A_g}{R} \quad Q_g = 2.493 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{W}$$

De U-waarde volgt uit:

$$U_2 := \frac{Q_g}{(T_i - T_e) \cdot A_g} \quad U_2 = 14.147 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$U'_2 := U_2 \cdot A_g \quad U'_2 = 0.227 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

j. berekening van de warmtebalans componenten

Convectie binnen:

$$Q_{ic} := C_{icp} \cdot (T_i - T_{io}) \cdot (T_i - T_{io})^{\frac{1}{3}} \quad Q_{ic} = 2.356 \cdot m^{-1} \cdot W$$

$$\alpha_{ic} := \frac{Q_{ic}}{(T_i - T_{io}) \cdot L_{ioo}} \quad \alpha_{ic} = 8.263 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Straling binnen:

$$Q_{ir} := F_i \cdot \sigma \cdot [(T_g + T_{kel})^4 - (T_{io} + T_{kel})^4] \quad Q_{ir} = 0.137 \cdot m^{-1} \cdot W$$

$$\alpha_{ir} := \frac{Q_{ir}}{(T_i - T_{io}) \cdot (L_{io} + L_{iz})} \quad \alpha_{ir} = 0.736 \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1} \cdot W$$

Geleiding:

$$Q_g = 2.493 \cdot m^{-1} \cdot W \quad Q_{ir} + Q_{ic} = 2.493 \cdot m^{-1} \cdot W$$

Convectie buiten:

$$Q_{ec} := C_{ecp} \cdot (T_{eo} - T_e) \quad Q_{ec} = 2.175 \cdot m^{-1} \cdot W$$

$$\alpha_{ec} := \frac{Q_{ec}}{(T_{eo} - T_e) \cdot L_{eom}} \quad \alpha_{ec} = 19.7 \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1} \cdot W$$

Straling buiten:

$$Q_{er} := F_e \cdot \sigma \cdot [(T_{eo} + T_{kel})^4 - (T_h + T_{kel})^4] \quad Q_{er} = 0.318 \cdot m^{-1} \cdot W$$

$$\alpha_{er} := \frac{Q_{er}}{(T_{eo} - T_h) \cdot (L_{eb} + L_{ez})} \quad \alpha_{er} = 0.947 \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1} \cdot W$$

Einde berekening element 2

Begin berekening element 3

2. BEREKENING U-waarde: gootprofiel

a. Overnemen van ingevoerde waarden:

$$\lambda := \lambda_3 \quad \lambda = 1 \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{W}$$

$$d := d_3 \quad d = 0.004 \cdot \text{m}$$

$$\varepsilon_i := \varepsilon_{i3} \quad \varepsilon_i = 0.2$$

$$\varepsilon_e := \varepsilon_{e3} \quad \varepsilon_e = 0.2$$

$$L_g := L_{g3} \quad L_g = 0.12 \cdot \text{m}$$

$$L_{io} := L_{io3} \quad L_{io} = 0.13 \cdot \text{m}$$

$$L_{iz} := L_{iz3} \quad L_{iz} = 0.144 \cdot \text{m}$$

$$L_{eb} := L_{eb3} \quad L_{eb} = 0.12 \cdot \text{m}$$

$$L_{ez} := L_{ez3} \quad L_{ez} = 0 \cdot \text{m}$$

$$L_{ioo} := L_{ioo3} \quad L_{ioo} = 0.312 \cdot \text{m}$$

$$L_{iom} := L_{iom3} \quad L_{iom} = 0.419 \cdot \text{m}$$

$$L_{eom} := L_{eom3} \quad L_{eom} = 0.135 \cdot \text{m}$$

$$A_g := \frac{L_{g3}}{\cos(H)} \quad A_g = 0.134 \cdot \text{m}$$

b. Berekening van de warmteweerstand R:

$$R := \frac{d}{\lambda} \quad R = 0.004 \cdot \text{m}^2 \cdot \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

c. De startwaarden zijn:

$$T_{eo} = 5.356 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$T_{io} = 5.979 \cdot ^\circ\text{C}$$

Opmerking: deze worden nu overgenomen van de uitkomsten van het element hiervoor.

d. Bepaling convectiefactor binnen

$$C_{icp} := C_{ic} \cdot L_{ioo} \cdot \left(\frac{L_{iom}}{L_{ioo}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{icp} = 1.033 \cdot \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-3} \cdot {}^{\circ}\text{C}^{-1.33333}$$

e. Bepaling stralingsfactor binnen

$$ZF := 1$$

$$ZF = 1$$

$$F_i := ZF \cdot (L_{iz} + L_{io}) \cdot \varepsilon_i \quad F_i = 0.055 \cdot \text{m}$$

f. Bepaling convectiefactor buiten

$$C_{ecp} := C_{ec} \cdot L_{eom}$$

$$C_{ecp} = 2.66 \cdot \text{m} \cdot \frac{\text{W}}{{}^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2}$$

g. Bepaling stralingsfactor buiten

$$ZF := \frac{\pi - 2 \cdot H}{\pi} \quad ZF = 0.711$$

$$F_e := ZF \cdot (L_{ez} + L_{eb}) \cdot \varepsilon_e \quad F_e = 0.017 \cdot \text{m}$$

h. Oplossing van de warmtebalans vergelijking

Given

$$C_{icp} \cdot (T_i - T_{io}) \cdot (T_i - T_{io})^{\frac{1}{3}} + F_i \cdot \sigma \cdot [(T_g + T_{kel})^4 - (T_{io} + T_{kel})^4] = \frac{(T_{io} - T_{eo})}{R} \cdot A_g$$

$$[C_{ecp} \cdot (T_{eo} - T_e) + F_e \cdot \sigma \cdot [(T_{eo} + T_{kel})^4 - (T_h + T_{kel})^4]] = \frac{(T_{io} - T_{eo})}{R} \cdot A_g$$

$$\begin{pmatrix} T_{io} \\ T_{eo} \end{pmatrix} := \text{Find}(T_{io}, T_{eo})$$

Hieruit volgen de onbekende oppervlaktetemperaturen :

$$T_{eo} = 8.599 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$T_{io} = 8.989 \cdot ^\circ\text{C}$$

i. Berekening warmtestroom en U-waarde:

$$Q_g := \frac{(T_{io} - T_{eo}) \cdot A_g}{R} \quad Q_g = 13.02 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{W}$$

De U-waarde volgt uit:

$$U_3 := \frac{Q_g}{(T_i - T_e) \cdot A_g} \quad U_3 = 8.865 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$U'_3 := U_3 \cdot A_g \quad U'_3 = 1.184 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

j. berekening van de warmtebalans componenten

Convectie binnen:

$$Q_{ic} := C_{icp} \cdot (T_i - T_{io}) \cdot (T_i - T_{io})^{\frac{1}{3}} \quad Q_{ic} = 11.287 \cdot m^{-1} \cdot W$$

$$\alpha_{ic} := \frac{Q_{ic}}{(T_i - T_{io}) \cdot L_{ioo}} \quad \alpha_{ic} = 6.018 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Straling binnen:

$$Q_{ir} := F_i \cdot \sigma \cdot [(T_g + T_{kel})^4 - (T_{io} + T_{kel})^4] \quad Q_{ir} = 1.732 \cdot m^{-1} \cdot W$$

$$\alpha_{ir} := \frac{Q_{ir}}{(T_i - T_{io}) \cdot (L_{io} + L_{iz})} \quad \alpha_{ir} = 1.052 \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1} \cdot W$$

Geleiding:

$$Q_g = 13.02 \cdot m^{-1} \cdot W \quad Q_{ir} + Q_{ic} = 13.02 \cdot m^{-1} \cdot W$$

Convectie buiten:

$$Q_{ec} := C_{ecp} \cdot (T_{eo} - T_e) \quad Q_{ec} = 12.23 \cdot m^{-1} \cdot W$$

$$\alpha_{ec} := \frac{Q_{ec}}{(T_{eo} - T_e) \cdot L_{eom}} \quad \alpha_{ec} = 19.7 \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1} \cdot W$$

Straling buiten:

$$Q_{er} := F_e \cdot \sigma \cdot [(T_{eo} + T_{kel})^4 - (T_h + T_{kel})^4] \quad Q_{er} = 0.789 \cdot m^{-1} \cdot W$$

$$\alpha_{er} := \frac{Q_{er}}{(T_{eo} - T_h) \cdot (L_{eb} + L_{ez})} \quad \alpha_{er} = 0.685 \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1} \cdot W$$

Einde berekening element 3

Begin berekening element 4

2. BEREKENING U-waarde: dakroede profiel

a. Overnemen van ingevoerde waarden:

$$\lambda := \lambda_4 \quad \lambda = 1 \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{W}$$

$$d := d_4 \quad d = 0.004 \cdot \text{m}$$

$$\varepsilon_i := \varepsilon_{i4} \quad \varepsilon_i = 0.2$$

$$\varepsilon_e := \varepsilon_{e4} \quad \varepsilon_e = 0.2$$

$$L_g := L_{g4} \quad L_g = 0.019 \cdot \text{m}$$

$$L_{io} := L_{io4} \quad L_{io} = 0.019 \cdot \text{m}$$

$$L_{iz} := L_{iz4} \quad L_{iz} = 0.038 \cdot \text{m}$$

$$L_{eb} := L_{eb4} \quad L_{eb} = 0.019 \cdot \text{m}$$

$$L_{ez} := L_{ez4} \quad L_{ez} = 0.008 \cdot \text{m}$$

$$L_{ioo} := L_{ioo4} \quad L_{ioo} = 0.096 \cdot \text{m}$$

$$L_{iom} := L_{iom4} \quad L_{iom} = 0.098 \cdot \text{m}$$

$$L_{eom} := L_{eom4} \quad L_{eom} = 0.058 \cdot \text{m}$$

$$A_g := L_{g4} \quad A_g = 0.019 \cdot \text{m}$$

b. Berekening van de warmteweerstand R:

$$R := \frac{d}{\lambda} \quad R = 0.004 \cdot \text{m}^2 \cdot \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

c. De startwaarden zijn:

$$T_{eo} = 8.599 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$T_{io} = 8.989 \cdot ^\circ\text{C}$$

Opmerking: deze worden nu overgenomen van de uitkomsten van het element hiervoor.

d. Bepaling convectiefactor binnen

$$C_{icp} := C_{ic} \cdot L_{ioo} \cdot \left(\frac{L_{iom}}{L_{ioo}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad C_{icp} = 0.29 \cdot \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1.33333}$$

e. Bepaling stralingsfactor binnen

$$ZF := \frac{\pi - 1.5 \cdot H}{\pi} \quad ZF = 0.783$$

$$F_i := ZF \cdot (L_{iz} + L_{io}) \cdot \varepsilon_i \quad F_i = 0.009 \cdot \text{m}$$

f. Bepaling convectiefactor buiten

$$C_{ecp} := C_{ec} \cdot L_{eom} \quad C_{ecp} = 1.147 \cdot \text{m} \cdot \frac{\text{W}}{^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2}$$

g. Bepaling stralingsfactor buiten

$$ZF := \frac{\pi - 2 \cdot H}{\pi} \quad ZF = 0.711$$

$$F_e := ZF \cdot (L_{ez} + L_{eb}) \cdot \varepsilon_e \quad F_e = 0.004 \cdot \text{m}$$

h. Oplossing van de warmtebalans vergelijking

Given

$$C_{icp} \cdot (T_i - T_{io}) \cdot (T_i - T_{io})^{\frac{1}{3}} + F_i \cdot \sigma \cdot [(T_g + T_{kel})^4 - (T_{io} + T_{kel})^4] = \frac{(T_{io} - T_{eo})}{R} \cdot A_g$$

$$\left[C_{ecp} \cdot (T_{eo} - T_e) + F_e \cdot \sigma \cdot [(T_{eo} + T_{kel})^4 - (T_h + T_{kel})^4] \right] = \frac{(T_{io} - T_{eo})}{R} \cdot A_g$$

$$\begin{pmatrix} T_{io} \\ T_{eo} \end{pmatrix} := \text{Find}(T_{io}, T_{eo})$$

Hieruit volgen de onbekende oppervlaktetemperaturen :

$$T_{eo} = 7.383 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$T_{io} = 8.232 \cdot ^\circ\text{C}$$

i. Berekening warmtestroom en U-waarde:

$$Q_g := \frac{(T_{io} - T_{eo}) \cdot A_g}{R} \quad Q_g = 4.032 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{W}$$

De U-waarde volgt uit:

$$U_4 := \frac{Q_g}{(T_i - T_e) \cdot A_g} \quad U_4 = 19.293 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$U'_4 := U_4 \cdot A_g \quad U'_4 = 0.367 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

j. berekening van de warmtebalans componenten

Convectie binnen:

$$Q_{ic} := C_{icp} \cdot (T_i - T_{io}) \cdot (T_i - T_{io})^{\frac{1}{3}} \quad Q_{ic} = 3.714 \cdot m^{-1} \cdot W$$

$$\alpha_{ic} := \frac{Q_{ic}}{(T_i - T_{io}) \cdot L_{ioo}} \quad \alpha_{ic} = 5.71 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Straling binnen:

$$Q_{ir} := F_i \cdot \sigma \cdot [(T_g + T_{kel})^4 - (T_{io} + T_{kel})^4] \quad Q_{ir} = 0.319 \cdot m^{-1} \cdot W$$

$$\alpha_{ir} := \frac{Q_{ir}}{(T_i - T_{io}) \cdot (L_{io} + L_{iz})} \quad \alpha_{ir} = 0.821 \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1} \cdot W$$

Geleiding:

$$Q_g = 4.032 \cdot m^{-1} \cdot W \quad Q_{ir} + Q_{ic} = 4.032 \cdot m^{-1} \cdot W$$

Convectie buiten:

$$Q_{ec} := C_{ecp} \cdot (T_{eo} - T_e) \quad Q_{ec} = 3.879 \cdot m^{-1} \cdot W$$

$$\alpha_{ec} := \frac{Q_{ec}}{(T_{eo} - T_e) \cdot L_{eom}} \quad \alpha_{ec} = 19.7 \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1} \cdot W$$

Straling buiten:

$$Q_{er} := F_e \cdot \sigma \cdot [(T_{eo} + T_{kel})^4 - (T_h + T_{kel})^4] \quad Q_{er} = 0.153 \cdot m^{-1} \cdot W$$

$$\alpha_{er} := \frac{Q_{er}}{(T_{eo} - T_h) \cdot (L_{eb} + L_{ez})} \quad \alpha_{er} = 0.681 \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1} \cdot W$$

Einde berekening element 4

BEPALING U-WAARDE VOOR HET KASDEK

De gemiddelde U-waarde voor het kasdek als geheel wordt bepaald door een gewogen sommatie van U-waarden van alle elementen.

$$U_{\text{kasdek}} := \frac{U_1 \cdot A_1 + U'_2 \cdot L_2 + U'_3 \cdot L_3 + U'_4 \cdot L_4}{A_{\text{kasdek}}}$$

$$U_{\text{kasdek}} = 7.886 \cdot \frac{W}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

OVERZICHT VAN UITKOMSTEN

Dakroede profiel: $U'_4 = 0.367 \cdot \frac{W}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$

Gootprofiel: $U'_3 = 1.184 \cdot \frac{W}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$

Nokprofiel: $U'_2 = 0.227 \cdot \frac{W}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$

Glasruit: $U_1 = 7.089 \cdot \frac{W}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$

Kasdek : $U_{\text{kasdek}} = 7.886 \cdot \frac{W}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$

BIJLAGE B: Profielen van de voorbeeldberekening

Klantnaam: BOAL systemen	Profielnummer klant	Profielnaam: ROEDE	Ontwerpnummer: 3 890112 06/1
Toepassing: KASSENBOUW	Kombineert met:		Wijziging nr.:

4 890220 02

$1 \text{ mm} = \frac{10}{33} = 0.376$

o R = 0.2
* R = 0.5
P = bobbel 0.3 x ø0.6

Statische waarden

ix=	6.6805	cm ⁴
ly=	0.9952	cm ⁴
Wx=	2.622	cm ³
Wy=	1.048	cm ³

S = snijpunt, overige maten over de eventuele afrondingen.
Maten in mm. Zichtvlak: **geen** Niet aangegeven wanddikte:
R = volle radius. Toleranties tenzij anders aangegeven vlg
— = belangrijke maat. Mechanische oppervlaktebehandeling:

DIN 1748

Oppervlaktebehandeling: **geen**

BOALALUMINIUM
Postbus 75
2678 ZH De Lier / Holland
tel.: 01745-14444 / telex 33634

Legering: AlMgSi 0,5 F22		Getekend: N.H./TOW
Kwaliteit: Handels		Schaal: 2:1/10:1/1:1
Omtrek inw.: 97,9 mm	Omtrek uitw.: 214,3 mm	Theor. gew.: 0,550 kg/m
		Profielnr.: B5264

[illegible]

06-NOV-85 10.67

BOAL SYSTEMEN B.V.

0174418221

1

Fig 4.7

$$1 \text{ nm} \hat{=} \frac{65}{51} = 1,27$$

Lichtberekening van aluminium goot B5277

(lage uitvoering)



BOAL systemen

Postbus 150
2690AC 'n Gravenzande
tel.: 01748-16651 / fax 18221

ow\g\1135277
dec.'89 N.H.
school 1:1

