

TNO-rapport
2001-CON-LBC-R7005

Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen II (alternatieve omhullings- systemen, implementatie in de praktijk)

TNO Bouw

Contactpersoon
Ir. H.D.M. Kool

Lange Kleiweg 5, Rijswijk
Postbus 49
2600 AA Delft

Telefoon 015 284 20 00
Fax 015 284 39 90

Datum
19 april 2001

Auteur(s)
Ir. H.D.M. Kool
Ing. H. 't Hart
Ir. E.G.O.N. Janssen
L.P.M. van der Knaap
Ir. J. Oldengarm
Dr.ir. I.J.J. van Straalen

Opdrachtgever : NOVEM, Landbouwschap, STOREKA



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-
zoeksoopdrachten 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 II
Projectnummer : 006.91114/01.01

2001

Samenvatting

In het project "Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen I" dat is afgesloten in 1998, zijn vier energie-indicatoren geïntroduceerd waarmee de energieprestatie van tuinbouwkassen kwantitatief kan worden beoordeeld. De vier energie-indicatoren zijn lichtdoorlatendheid, energiedichtheid (U-waarde), productie-energie en ventilatieopening. De opgestelde algoritmen beperkte zich tot enkelglas gedekte deksystemen. In het voorliggende vervolgproject aangeduid met "Energie II", is deze methodiek uitgebreid met alternatieve omhullingsmaterialen, gevelsystemen en luchtramen. De bijbehorende Excel- en MathCad-applicaties voor omhullingssystemen zijn nu beschikbaar en ook in de nieuwe versie van het computerprogramma CASTA/Kassenbouw zijn de berekeningmethodieken voor de vier energie-indicatoren opgenomen. Met deze hulpmiddelen zijn tuinders, adviseurs en industrie beter in staat om energiebeperkende maatregelen op hun waarde te schatten. In deze lijn kunnen ook toekomstige ontwikkelingen met betrekking tot berekeningen van het jaarverbruik van tuinbouwbedrijven en met betrekking tot de Groenlabelkassystematiek verder worden ingezet.

Inhoud

1	Inleiding.....	5
2	Uitbreiding van de bestaande algoritmen voor alternatieve energiezuinige kasomhullingsmaterialen, gevelsystemen en luchtramen	6
2.1	Gebruik vier energie-indicatoren.....	6
2.2	Lichtonderschepping	7
2.2.1	Inleiding.....	7
2.2.2	Bepaling van de lichtdoorlatendheid	7
2.2.3	Uitbreiding van de IDT methode.....	8
2.3	Energiedichtheid.....	8
2.3.1	Inleiding.....	8
2.3.2	Bepaling U-waarde.....	8
2.3.3	Uitbreiding van de G&I methode	10
2.4	Productie-energie.....	10
2.4.1	Inleiding.....	10
2.4.2	Energie-inhoud	11
2.4.3	Uitbreiding.....	12
2.5	Ventilatiecapaciteit	12
2.5.1	Inleiding.....	12
2.5.2	Rekenmethode	12
2.6	Alternatieve energiezuinige kasomhullingsmaterialen	13
3	Aanpassen van de bestaande rekenmethodiek voor de sterkte van tweeruitsluchtramen voor energiezuinige meerruitsluchtramen	15
3.1	Inleiding.....	15
3.2	Aanpassing bestaande rekenmethodiek	15
4	Opstellen praktijkimplementatieplan samen met de industrie	16
4.1	Inleiding.....	16
4.2	Enquête	16
4.3	Praktijkimplementatieplan.....	17
5	Implementatie van de nieuw ontwikkelde rekenmethodieken in CASTA/Kassenbouw	19
6	Implementatie in de praktijk	20
6.1	Inleiding.....	20
6.2	Winsten te behalen bij toepassing van alternatieve omhullingsmaterialen	20
6.3	Gebruik energie-indicatoren voor berekening energiebalansen tuinbouwbedrijven	21
6.4	Voorstel voor aanpassingen van de Groenlabelkas-regeling.....	22

7	Kennisoverdracht naar de markt	24
8	Conclusies en aanbevelingen	25
8.1	Conclusies.....	25
8.2	Aanbevelingen.....	26

1 Inleiding

De toepassing van energiezuinige kasconcepten in de Nederlandse glastuinbouw wordt niet alleen geremd door het feit dat diverse energiezuinige kasconcepten nog niet uitontwikkeld zijn, maar ook doordat de kassenbouwers, systeemleveranciers, leveranciers van kasomhullingsmaterialen, adviesbureau's en tuinders niet voldoende op de hoogte zijn van de mogelijkheden van energiezuinige kasconcepten die er op dit moment wel zijn. Tuinders, adviseurs en industrie beschikken over onvoldoende informatie over prijs (extra kosten) en prestatie (energiebesparing, meer licht, ventilatiecapaciteit, meer opbrengst) om een goede investeringsbeslissing over een nieuwe kas of over de productontwikkeling voor een nieuw kastype te kunnen nemen.

Om de prestatie van een nieuwe kas objectief te kunnen beoordelen zijn door TNO Bouw in het project 'Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen I' (looptijd van november 1995 tot en met juni 1998), in het vervolg aangeduid met Energie I, vier energie-indicatoren ontwikkeld. Dit zijn de indicatoren lichtdoorlatendheid, energiedichtheid (U-waarde), productie-energie en ventilatie-opening. De algoritmen die daartoe zijn opgesteld, beperken zich tot enkel-glas gedekte kasdeksystemen.

De wens bestond echter om de algoritmen voor deze vier energie-indicatoren uit te breiden voor alternatieve omhullingsmaterialen, gevelsystemen en luchtramen. Daarmee wordt niet alleen een beter kwantitatief beeld gegeven van de energieprestatie van een kas, maar kan ook de positieve effecten van alternatieve omhullingsmaterialen feitelijk worden vastgesteld. In het vervolgproject 'Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen II' (looptijd van mei 1998 tot en met december 2000), in het vervolg aangeduid met Energie II, zijn door TNO Bouw deze uitbreidingen van de methodiek gerealiseerd. In dit project is tevens aandacht geschonken aan de implementatie van de ontwerpmethodieken in de praktijk. In voorliggend rapport is een overzicht gegeven van de resultaten van dit vervolgproject, inclusief een bundeling van alle rapportages.

2 Uitbreiding van de bestaande algoritmen voor alternatieve energiezuinige kasomhullingsmaterialen, gevelsystemen en luchtramen

2.1 Gebruik vier energie-indicatoren

Om het energieverbruik van en lichttoetreding in een tuinbouwkas te beoordelen en daardoor de energie-efficiency te vergroten, zijn in het project Energie I (TNO-rapport 97-CON-R1702) een viertal energie-indicatoren gedefinieerd. Hier volgt een korte omschrijving voor elk van de vier energie-indicatoren.

Lichtdoorlatendheid

De lichtdoorlatendheid van het kasdek wordt bepaald met de IDT methode (IMAG/DLV/TNO). Eerst wordt ieder profiel opgedeeld in trapezia en wordt van ieder trapezium de vormfactor bepaald. In de ontwikkelde Excel applicatie worden de afzonderlijke profielen ingevoerd en wordt de totale lichtonderschepping van het kasdek bepaald.

Energiedichtheid (U-waarde)

De U-waarde van een kasdek geeft aan hoeveel Watt er nodig is per vierkante meter kas om 1 graad temperatuurverschil in stand te houden. Hoe lager de U-waarde des te beter isoleert de kas. Voor de bepaling van de U-waarde van het kasdek wordt gebruik gemaakt van de ontwikkelde Mathcad applicatie. Hierin wordt eerst de U-waarden bepaald van de afzonderlijke profielen, gebruik makend van een schematisering met een ééndimensionale warmtedoorgang. Vervolgens wordt de totale U-waarde van het kasdek bepaald.

Productie-energie

In de ontwikkelde Excel applicatie "lichtonderschepping" worden ook de materiaalhoeveelheden bepaald. Aan de hand van deze materiaalhoeveelheden wordt de benodigde productie-energie voor het kasdek bepaald. Tevens wordt de productie-energie van een complete kas bepaald, met behulp van de module "Productie-energie" van CASTA/Kassenbouw.

Ventilatie opening

De ventilatie-opening geeft het percentage van de kas dat maximaal "open" kan, ten opzichte van het grondoppervlak. Afhankelijk van de zwaaihoek van de ruit is de verticale opening (inclusief zijkanten) of de opening in het dek maatgevend. De ventilatie-openingen worden bepaald met CASTA/Kassenbouw. De ventilatie opening hangt af van de gekozen luchtraam configuratie.

In het vervolg van dit hoofdstuk is aangegeven op welke punten de ontwikkelde algoritmen voor de vier energie-indicatoren zijn uitgebreid. Daarbij is in het bijzonder aandacht geschonken aan het gebruik van alternatieve energiezuinige kasomhulmingsmaterialen, gevelsystemen en luchtramen.

2.2 Lichtonderschepping

2.2.1 Inleiding

De lichtdoorlatendheid geeft aan welk deel van het licht door de kasdek wordt onderschept. Deze belangrijke parameter heeft een directe relatie met de gewasopbrengst; een vuistregel is dat bij een toename van de lichtdoorlatendheid met 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. Bovendien betekent een grotere lichtdoorlatendheid over het algemeen ook een grotere instraling van warmte-energie, waardoor het absolute energieverbruik zelfs kan afnemen. De hier gepresenteerde lichtberekingsmethode staat bekend als de lichtberekingsmethode van IMAG-DLV-TNO (IDT). Deze IDT methode is gebaseerd op de "verbeterde 1/2-omtreksmethode".

2.2.2 Bepaling van de lichtdoorlatendheid

Bij de berekening van de lichtdoorlatendheid volgens de IDT methode worden de eigenschappen van elk profiel eerst apart berekend, tezamen met de (diffuse) lichtdoorlatendheid van het toegepaste omhullingsmateriaal en vervolgens wordt op basis van deze resultaten de lichtdoorlatendheid van het complete kasdek berekend. Elk profiel wordt op basis van een technische tekening geschematiseerd tot een samenstel van trapezia in combinatie met een vormfactor. Eveneens wordt voor elk profiel de reflectiewaarden van het materiaal vastgesteld, wordt nagegaan of er in het profiel openingen zijn, en wordt de positie van ieder trapezium ten opzichte van het glas vastgesteld. Al deze profielgegevens worden in een Excel spreadsheet ingevoerd. Deze spreadsheet berekent vervolgens de lichtonderschepping van de afzonderlijke profielen en rekt tenslotte het complete kasdek door. Voor de bepaling van de lichtdoorlatendheid van de complete kas is in CASTA/Kassenbouw een aparte module ingebouwd. Daarbij wordt eveneens rekening gehouden met de invloed van de onderbouw van de kas op de lichtdoorlatendheid.

De validatie van de ontwikkelde methode heeft reeds in het project Energie I plaatsgevonden. Met behulp van lichtmetingen in de praktijk voor een zevental tuinbouwkassen uitgevoerd door DLV is de ontwikkelde IDT-methode gevalideerd. Daarnaast is er ook voor een kas met kunststof PMMA-platen een vergelijking tussen een praktijkmeting van IMAG-DLO en de IDT-methode gemaakt. Geconcludeerd is dat de voorspelde waarden zeer goed overeenkomen met de praktijkmetingen. Echter

voor de toepassing van alternatieve omhullingsmaterialen heeft nog nadere validatie kunnen plaatsvinden, daar dergelijke tuinbouwkassen in de praktijk nog niet gebouwd zijn.

2.2.3 Uitbreiding van de IDT methode

De huidige versie van de IDT methode is ten opzicht van de in het project Energie I (TNO-rapport 97-CON-R1702) ontwikkelde versie op de volgende punten uitgebreid:

- Toepassen van alternatieve energiezuinige kasomhullingsmaterialen, zoals gecoat glas, HR-glas, dubbel glas en kunststofplaten. Zie ook paragraaf 2.6.
- In rekening brengen van het effect van luchtramen.
- Implementatie van de ontwikkelde rekenmethodiek en Excel spreadsheet in de praktijk.

Een uitgebreidere beschrijving van de IDT methode is in bijlage A opgenomen.

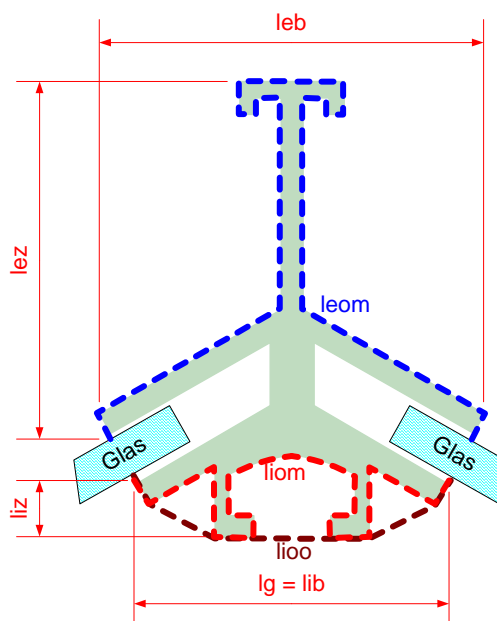
2.3 Energiedichtheid

2.3.1 Inleiding

De U-waarde van een materiaal geeft aan hoeveel energie er nodig is om een bepaald temperatuurverschil tussen binnen- en buitenzijde van het materiaal te handhaven. De U-waarde wordt uitgedrukt in W/m^2K . Hoe lager de U-waarde is, des te energie zuiniger is het materiaal. Omdat een kasdek niet uit één materiaal bestaat wordt gebruik gemaakt van een speciaal door de afdeling Gebouw en Installatie (G&I) van TNO Bouw ontwikkelde methode. In dit hoofdstuk wordt de werkwijze in het kort samengevat.

2.3.2 Bepaling U-waarde

De kasdekprofielen worden geschematiseerd door een achttal variabelen die van belang zijn voor de warmtestroom door het profiel. In de berekening wordt de warmteoverdracht door convectie en straling meegenomen. Afbeelding 1 geeft die variabelen voor een fictief nokprofiel.



Afbeelding 1 : Met de G&I methode wordt ieder profiel geschematiseerd door acht variabelen die van belang zijn voor de warmtestroom door het profiel

De variabelen weergegeven door de maatlijnen betreffen geprojecteerde boven- en zijaanzichten van het profiel onder en boven het glas en hebben vooral betrekking op de stralingsuitwisseling van het profiel met z'n omgeving. De variabelen, weergegeven door streepjeslijnen, beschrijven de werkelijke omtrek c.q. oppervlakte van het profiel dat aan de binnen- respectievelijk buitenlucht wordt blootgesteld en hebben vooral betrekking op de warmteoverdracht door convectie.

Vervolgens wordt van ieder profiel een warmtebalans opgesteld in een speciaal hiervoor geschreven Mathcad applicatie. Door de warmtebalans op te lossen wordt de U-waarde van het profiel bepaald. Als alle U-waarden van de afzonderlijke profielen en die van het glas bekend zijn, kan de U-waarde van het kasdek bepaald worden. Dit gebeurt door een gewogen sommatie van de afzonderlijke U-waarden.

Uitermate belangrijk bij de bepaling van U-waarden van constructies zijn de randcondities voor de berekening. Er worden de randcondities gebruikt zoals die voorkomen in NEN 2697, een norm voor het bepalen van de U-waarde van enkel glas voor tuinbouwkassen. In de onderstaande tabel zijn de gehanteerde randcondities weergegeven. Tot slot zijn vaste warmteovergangscoefficienten van de verschillende materialen met de omgeving vastgesteld. Uiteraard wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen de warmteoverdracht door straling en de warmteoverdracht door convectie.

TABEL 1: RANDCONDITIES NEN 2697	
Luchttemperatuur kas	$T_i = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
Luchttemperatuur buiten	$T_e = 4 \text{ }^\circ\text{C}$
Temperatuur gewas / bodem	$T_g = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
Stralingstemperatuur hemelkoepel	$T_h = -1 \text{ }^\circ\text{C}$
<i>Aanvullende condities:</i>	
Windsnelheid buiten	$V = 4 \text{ m/s}$
Emissiecoëfficiënt bodem	$E_g = 0,95$

De validatie van de ontwikkelde G&I-methode met behulp van praktijkmetingen is lastig en kostbaar. In het project Energie I is er een vergelijking gemaakt tussen een praktijkmeting van IMAG-DLO en de G&I-methode. De resultaten van beide kwamen redelijk overeen en het verschil tussen de gemeten en berekende U-waarde kon eenvoudig worden verklaard door een verschil tussen de praktijkmeting en de uitgangspunten van de G&I-methode.

2.3.3 Uitbreiding van de G&I methode

De huidige versie van de G&I methode is ten opzicht van de in het project Energie I (TNO-rapport 97-CON-R1702) ontwikkelde versie op de volgende punten uitgebreid:

- Toepassen van alternatieve energiezuinige kasomhullingsmaterialen. Voor de materialen gecoat glas, dubbel glas en kunststofkanaalplaten is de G&I-methode nader uitgewerkt. Zie ook paragraaf 2.6.
- In rekening brengen van het effect van luchtramen.
- In rekening brengen van de gevel; ten gevolge van de verticale positie van de gevel ten opzicht van de omgeving dient de U-waarde van de profielen volgens een aangepaste methode te worden berekend.
- Uitbreiding van de in Energie I ontwikkelde MathCad applicatie.
- Implementatie van de ontwikkelde rekenmethodiek en MathCad applicatie in de praktijk.

De achtergronden van de uitgebreide G&I methode zijn uitgewerkt in bijlage B, terwijl de bijbehorende MathCad-applicatie in bijlage C is opgenomen.

2.4 Productie-energie

2.4.1 Inleiding

De derde Energie-indicator is de productie-energie van een kas, ofwel de hoeveelheid energie nodig voor de productie van de toegepaste kassenbouwmaterialen. In de Excel applicatie voor de bepaling van de

lichtonderschepping worden tevens de benodigde materialen voor een vierkante meter kasdek bepaald. Hiermee wordt vervolgens de benodigde productie-energie bepaald.

2.4.2 Energie-inhoud

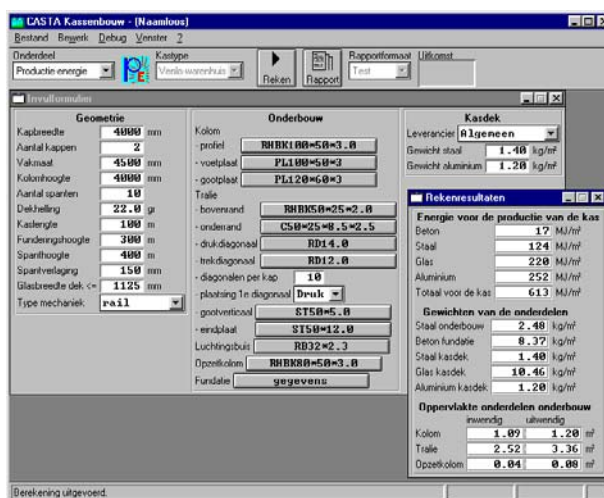
Voor elk van de toegepaste bouwmaterialen is op basis van in de literatuur vermelde waarden de energie-inhoud vastgesteld in [MJ/kg]. De energie-inhoud van de gebruikte bouwmaterialen in de kassenbouw is afgeleid uit gemiddelde waarden uit de literatuur, rekening houdend met de gebruikelijke productiewijze. Voor de productie-energie van aluminium wordt bijvoorbeeld rekening gehouden met een aandeel van 35% gerecycled aluminium.

TABEL 2: BENODIGDE PRODUCTIE-ENERGIE PER KILO (MJ/KG)	
Staal	32
Aluminium	137(*)
Glas	21
PMMA (polyacrylaat)	207(**)
PVC (polyvinylchloride)	95(***)
(*) Uitgaande van een aandeel van 35% secundair aluminium, bron: "Aluminium bouwt duurzaam", aluminium centrum, 1992	
(**) S. Blanchard, P. Reppe, University of Michigan	
(***) C. van den Broek, Technische Universiteit Delft	

De bepaling van de benodigde productie-energie gebeurt in twee stappen. Allereerst wordt van een standaard moduul van de kas de benodigde hoeveelheden staal, aluminium en glas bepaald. Aan de hand hiervan wordt de productie-energie bepaald. Hieronder is een voorbeeld van een berekening weergegeven.

TABEL 3: VOORBEELD BEPALING PRODUCTIE-ENERGIE VAN EEN KASDEK			
Kasdeksysteem:			
Materiaal:	Hoeveelheid [kg/m ²]	Energie-inhoud [MJ/kg]	Productie-energie [MJ/m ²]
Staal	0	32	0
Aluminium	1.4	137	192
Glas	10.5	21	221
Totaal			413

De tweede stap bestaat uit de bepaling van de productie-energie van de gehele kas. Dit getal wordt bepaald met behulp van CASTA/Kassenbouw. Hieronder is een schermafdruk weergegeven van zo'n berekening.



Afbeelding 2: Bepaling productie-energie totale kas met behulp van een testversie van het onderdeel "Productie-energie" van CASTA/Kassenbouw.

2.4.3 Uitbreiding

De huidige versie van de methode is ten opzicht van de in het project Energie I (TNO-rapport 97-CON-R1702) ontwikkelde versie op de volgende punten uitgebreid:

- In rekening brengen van luchtramen.
- In rekening brengen van gevels.
- Nieuwe omhullingsmaterialen.

2.5 Ventilatiecapaciteit

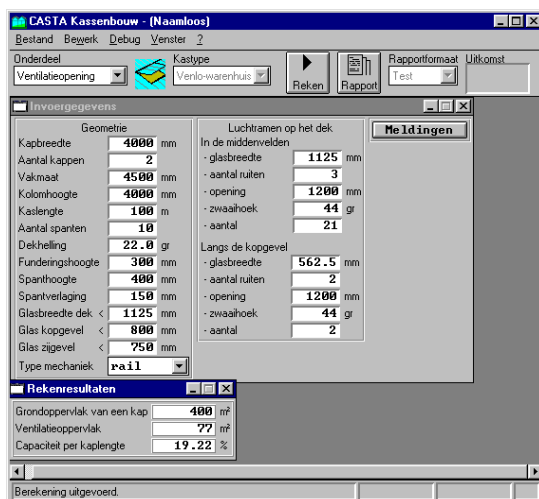
2.5.1 Inleiding

De vierde en laatste Energie-indicator is de ventilatie-opening van de kas. De ventilatie-opening is het percentage van het kasdek dat 'open' kan. De ventilatie-opening van een kas is een belangrijke teelttechnische parameter, die een directe relatie heeft met de energiehuishouding van een kas.

2.5.2 Rekenmethode

De ventilatie openingen van de onderzochte kasdeksystemen worden bepaald met het onderdeel "Ventilatie-opening" van CASTA/Kassenbouw. In Afbeelding 3 is een in- en uitvoerscherm weergegeven. De lengte van de kas is 100 meter en de breedte is 10 spantlengten. Als uitbreiding op de in het project Energie I ontwikkelde rekenmethodiek (TNO-rapport 97-CON-R1702) wordt bij de berekening in CASTA/Kassenbouw rekening gehouden met de kleinere kopgevel luchtramen. Er wordt opgemerkt dat in de ontwikkelde rekenmethodiek *geen* rekening is gehouden

met een al dan niet mechanisch geforceerde (complexe) luchtstroom in de kas (ook wel bekend als het schoorsteeneffect).



Afbeelding 3 : Bepaling ventilatie opening kasdek

2.6 Alternatieve energiezuinige kasomhullingsmaterialen

De effecten van het gebruik van alternatieve energiezuinige kasomhullingsmaterialen zijn nader in kaart gebracht voor de energie-indicatoren lichtonderschepping, energiedichtheid en productie-energie. In bijlage D zijn de resultaten van een studie uitgevoerd door DLV Adviesgroep gerapporteerd. Ter aanvulling hierop zijn in een toegevoegde tabel nog een aantal gegevens volgens andere bronnen gegeven. De lichtdoorlatendheid en de energiedichtheid van verschillende materialen zijn daarbij in beschouwing genomen.

In tabel 4 is een overzicht gegeven van indicatieve waarden voor de lichtdoorlatendheid en energiedichtheid van verschillende soorten omhullingsmaterialen. Opgemerkt wordt dat de gegeven U-waarden duidelijk afwijken van de waarden bepaald volgens de G&I-methode. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de G&I-methode niet uitgaat van een traditionele rekenmethode, maar van een methode om de U-waarde te bepalen die beter rekening houdt met de effecten van de warmteovergang tussen omhullingsmateriaal en glas, en de stralingscomponent, zoals deze bij tuinbouwkassen optreden. In aanvulling hierop wordt nog gesteld dat de waarden volgend uit de G&I-methode niet zondermeer bruikbaar zijn voor het berekenen van energiebalansen van een tuinbouwbedrijf. Dit, omdat de randcondities die worden aangehouden volgens tabel 1 niet constant, maar als functie van de tijd moeten worden opgegeven.

TABEL 4: OVERZICHT INDICATIE WAARDEN VOOR LICHTDOORLATENDHEID EN ENERGIEDICHTHEID VAN VERSCHILLENDE OMHULLINGSMATERIALEN			
Materiaal	lichtdoorlatendheid %		U-waarde W/m ² K
	loodrecht	diffuus	
enkel glas	89-90	82-83	5,8
gehamerd glas	88-89	81-82	5,8
anti-reflectie gecoat glas	92-97	84-90	5,3-5,8
emmissie gecoat glas (Hortiplus)	77-82	68-78	4,4-5,8
twee maal enkel glas	80-82	71-73	3,5-5,0
dubbelglas met spouw	80-82	71-73	2,9-4,1
PMMA (kanaalplaat)	78-86	65-75	2,5-2,9
PC (kanaalplaat)	70-77	62-68	2,4-3,5
PVC (kanaalplaat)	68-70	55-57	2,3-2,8
Plexiglas (kanaalplaat)	86-90	76-80	2,5-2,9

3 Aanpassen van de bestaande rekenmethodiek voor de sterkte van tweeruitsluchtramen voor energiezuinige meerruitsluchtramen

3.1 Inleiding

Er bestaat geen aparte rekenmethodiek voor de dimensionering van meerruitsluchtramen voor Venlo-warenhuizen. Tot nu toe worden voor meerruitsluchtramen dezelfde profielen gebruikt als voor tweeruitsluchtramen. Immers, meerruitsluchtramen worden veel minder toegepast dan tweeruitsluchtramen. Dat is jammer, want meerruitsluchtramen kunnen lichter worden gedimensioneerd, vanwege het meer doorgaande karakter van de onderdorpel en de grotere mogelijkheid van een optimale plaatsing van de opdruckers. Daar meerruitsluchtramen lichter gedimensioneerd kunnen worden, is er meer lichtopbrengst en een hogere energie-efficiency. Meerruitsluchtramen geven een grotere ventilatiecapaciteit en bieden dus meer mogelijkheid voor het toepassen van insectengaas en voor het fijnregelen van de klimaatcondities in de kas.

3.2 Aanpassing bestaande rekenmethodiek

De bestaande rekenmethodiek is in twee stappen aangepast:

- De oorspronkelijke procedure voor tweeruitsluchtramen was uitgewerkt volgens de concept tweede druk van NEN 3859 "Tuinbouwkassen, constructieve eisen (1990)". Deze procedure is nu aangepast volgens de definitieve versie van de tweede druk van NEN 3859 (1996) en geïmplementeerd in een MathCad applicatie. Een voorbeeld van deze applicatie is in bijlage E gegeven voor een tweeruitsluchtraam met 3 opdrukstangen.
- Voor meerruitsluchtramen is het inefficiënt om met behulp van vergeet-me-nietjes analytische formules af te leiden waarmee de krachtsverdeling in de verschillende onderdelen van het luchtraam te berekenen zijn. Vandaar dat er voor gekozen is om deze krachtsverdeling met behulp van een standaard raamwerkenpakket te berekenen. In bijlage F is de procedure beschreven die daarbij moet worden gevolgd. Met de uitkomsten van de vereiste berekeningen wordt, met een MathCad applicatie die vergelijkbaar is met die gegeven in bijlage E, de controle van de sterkte en stijfheid van de verschillende onderdelen van het luchtraam bepaald.

4 Opstellen praktijkimplementatieplan samen met de industrie

4.1 Inleiding

Het energiebewustzijn van de industrie, kassenbouwers en systeemleveranciers, bij de ontwikkeling van nieuwe kasconcepten is dankzij het project "Energiegeïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen I" toegenomen. Desondanks stonden de bedrijven nog niet direct te trappelen voor het toepassen van de ontwikkelde energie-indicatoren. Daarmee zou tijd en geld gemoeid zijn en omdat het nieuw en onbekend was, ging er mogelijk een bedreiging van uit. Zij wisten niet precies en na de uitvoering van het project Energie I slechts in beperkte mate hoe hun systemen scoren ten aanzien van de vier energie-indicatoren.

Echter in het belang van een energiezuinige glastuinbouw in Nederland zijn nieuwe productontwikkelingen en een concurrentiestrijd ten zeerste gewenst. Ook is dit goed voor een optimale energie-efficiency voor de Nederlandse tuinder en voor het behoud van de glastuinbouw in Nederland. Om het toepassen van de energie-indicatoren te bevorderen zijn met behulp van een enquête de behoeften en ideeën van de markt geïnventariseerd en is een praktijkimplementatieplan ontwikkeld. Voor een groot aantal van de kasdeksystemen van leden van de stichting Werkgroep Systeemleveranciers (WSL) zijn in het kader van het MKB-TNO project "Duurzame kassen" de vier energie-indicatoren vastgesteld. Hiermee heeft de kennis omtrent het gebruik van de ontwikkelde energie-indicatoren een flinke duw in de rug gekregen.

4.2 Enquête

Middels een telefonische gesprek zijn 10 systeemleveranciers (bezitten samen een marktaandeel van ca. 90 %) geënquêteerd. Het doel van de enquête was inzicht te verkrijgen in:

- de bekendheid met de energie-indicatoren;
- de bereidheid om de energie-indicatoren te laten vaststellen voor de eigen kasdeksystemen;
- de implementatie van de resultaten in CASTA/Kassenbouw.

Het bleek dat 65 % bekend was met de energie-indicatoren en dat 90 % bereid was de energie-indicatoren te laten vaststellen voor een aantal van de eigen kasdeksystemen.

In bijlage G zijn de resultaten van de enquête en de conclusies en aanbevelingen gegeven. Daarbij is aangegeven dat voor de implementatie van de energie-indicatoren in CASTA/Kassenbouw een voorkeur bestaat voor een puntensysteem,

waarbij op basis van de energie-indicatoren van een kasdek een aantal "Groenlabel punten" wordt bepaald. In overleg met de stichting Werkgroep Systeemleveranciers (WSL) is ervoor gekozen om op weg naar een "Groenlabelpunten" systematiek de energie-indicatoren in CASTA/Kassenbouw te implementeren door middel van een door de systeemleveranciers zelf te vullen database.

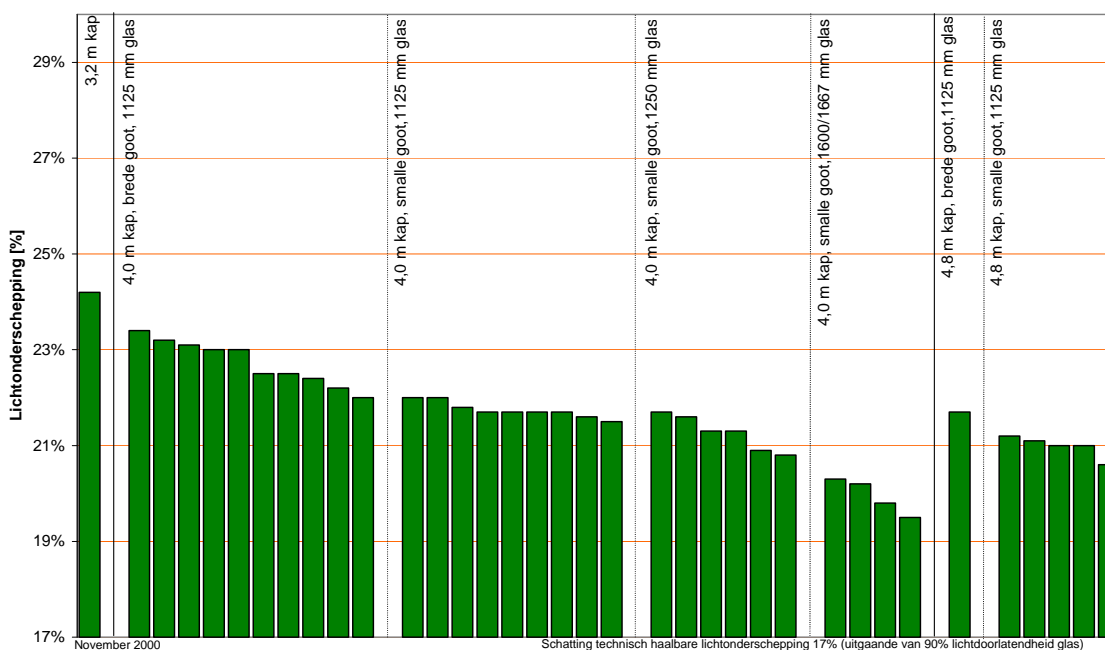
4.3 Praktijkimplementatieplan

Om de vier ontwikkelde energie-indicatoren in de praktijk te implementeren is er een plan uitgewerkt, bestaande uit een drietal fases:

- 1) In de eerste fase zijn in het kader van het TNO MKB-project "Duurzame kassen" voor een groot aantal kasdekken van verschillende systeemleveranciers de waarden van de energie-indicatoren berekend. Voor de energie-indicator lichtdoorlatendheid is in afbeelding 4 een overzicht gegeven van de lichtonderschepping van alle onderzochte kasdekken.

Lichtonderschepping een- en tweeruits kasdekken

Resultaten onderzochte kasdekken MKB-TNO project Duurzame Kassen
(Exclusief kolommen, tralieligger, scherm en installaties)



Afbeelding 4 : Overzicht lichtonderschepping diverse kasdekken

- 2) In de tweede fase is het mogelijk gemaakt voor de kassenbouwers om de energie-indicatoren te bepalen, door opname van de rekenmethodiek in het programma CASTA/Kassenbouw 2.10. De resultaten zoals deze met name in fase 1 zijn verzameld, kunnen door de gebruiker van CASTA/Kassenbouw ingevoerd worden in het programma. Medio mei 2000 is deze versie van CASTA/Kassenbouw beschikbaar gesteld aan de gebruikers.
- 3) In de derde fase, die geen deel uitmaakt van het project Energie II, is het de bedoeling dat systeemleveranciers zelfstandig de energie-indicatoren gaan bepalen van huidige en toekomstige kasdeksystemen. De gebruikers van CASTA/Kassenbouw kunnen dan tijdens de bepaling van de energie-indicatoren voor de gehele kas op deze manier altijd rekenen op basis van de nieuwste gegevens, inclusief de resultaten van het project Energie II. De verwachting is dat deze fase medio mei 2001 afgerond zal zijn.

5 Implementatie van de nieuw ontwikkelde rekenmethodieken in CASTA/Kassenbouw

Volgens het praktijkimplementatieplan beschreven in het voorgaande hoofdstuk zijn in de tweede fase de nieuw ontwikkelde rekenmethodieken in CASTA/Kassenbouw geïmplementeerd. Deze implementatie is op precies dezelfde manier gebeurd als de implementatie van de bestaande rekenmethodieken in CASTA/Kassenbouw. De invoerschermen zijn aangepast en uitgebreid, mede gericht op het invoeren van alternatieve energiezuinige kasomhullingsmaterialen, gevels en meerruitsluchtramen. Ook zijn verschillende van de nieuw ontwikkelde algoritmen voor het berekenen van de vier energie-indicatoren, de centrale database van CASTA/Kassenbouw en de presentatie van de resultaten (uitvoer) aangepast en uitgebreid.

Ter illustratie van de mogelijkheden om de vier energie-indicatoren te berekenen met CASTA/Kassenbouw, zijn in bijlage H de in- en uitvoerschermen weergegeven. De opzet hiervan is zodanig dat de gebruiker op basis van zijn ervaring met de bestaande rekenmethodieken in CASTA/Kassenbouw, zonder al te veel moeite ook de vier energie-indicatoren kan bepalen. Dit betekent dat met het breed geaccepteerde computerprogramma CASTA/Kassenbouw, op eenvoudige wijze kan worden ingespeeld op de toenemende vraag naar kwantitatieve gegevens omtrent de energiehuishouding van een ontwerp van een kas. Op basis van deze gegevens zijn tuinders, adviseurs en industrie beter in staat om een goede investeringsbeslissing te nemen over nieuwe kassen of over de productontwikkeling voor nieuwe kastypen.

6 Implementatie in de praktijk

6.1 Inleiding

Voor het daadwerkelijk stimuleren van de toepassing, de ontwikkeling en het aanschaffen van energiezuinige kasconcepten is het noodzakelijk dat de ontwikkelde rekenmethodieken verankerd zijn in de dagelijkse praktijk van industrie, adviseurs en tuinders. Belangrijke te overwinnen obstakels daarbij zijn het toepassen van de ontwikkelde rekenmethodieken door de kassenbouwers en systeemleveranciers, acceptatie van de ontwikkelde rekenmethodieken en het overtuigen van de tuinders en adviseurs over de voordelen van de ontwikkelde energie-indicatoren.

Het praktijkimplementatieplan besproken in hoofdstuk 4 heeft nu reeds de toepassing van de energie-indicatoren in de dagelijkse praktijk van kassenbouwers en systeemleveranciers bevorderd. Daarbij is ook sprake geweest van ondersteuning van individuele bedrijven bij het toepassen van de ontwikkelde rekenmethodieken (MKB-TNO project Duurzame kassen). In gezamenlijk overleg met deze bedrijven zijn berekeningen gemaakt voor verschillende kastypen. Op basis van deze resultaten is de centrale database van CASTA/Kassenbouw met energie-gegevens gevuld. Geconcludeerd mag worden dat de doelstelling om enerzijds de bedrijven vertrouwd te maken met de ontwikkelde rekenmethodieken en anderzijds om de informatie in de centrale database van CASTA/Kassenbouw te verkrijgen (onder begeleiding en validatie van TNO Bouw) is geslaagd.

Twee andere werkwijzes om de energie-indicatoren in de praktijk te verankeren zijn het koppelen met programma's voor het berekenen van het energiejaarverbruik van een tuinder en het aansluiten bij de lopende Groenlabelkas-ontwikkelingen. Beide onderwerpen komen in de volgende paragrafen aan bod.

6.2 Winsten te behalen bij toepassing van alternatieve omhullingsmaterialen

Om na te gaan welke winsten er mogelijk zijn bij toepassing van alternatieve omhullingsmaterialen, zijn ter bepaling van de vier energie-indicatoren verschillende oriënterende berekeningen uitgevoerd. In tabel 5 zijn voor een aantal alternatieven de effecten op de energie-indicatoren in vergelijking met een standaard Venlo-warenhuis aangeduid.

TABEL 5: VERGELIJKING ENERGIE-INDICATOREN VOOR DIVERSE VARIATIES OP HET VENLO-WARENHUIS				
Variabele	Lichtdoorlatendheid	U-waarde	Ventilatiecapaciteit	Productie-energie
drieruits luchtraam	-0,7 ± 0,2%	0%	+35%	+4 ± 1%
insectengaas	-1,2 ± 0,2%	0%	-10% *	+2 ± 1% **
energie-scherm (open)	-2,0 ± 0,5%	0%	0%	0% **
HR-gecoat glas	-6 ± 2%	-15%		
AR-gecoat glas	+6 ± 3%	0%		
dubbel glas (gevel)		-40%		
kunststof dek (gevel)		-40%		

* veronderstelling

** exclusief de productie-energie van de installaties

6.3 Gebruik energie-indicatoren voor berekening energiebalansen tuinbouwbedrijven

De energie-indicatoren zijn direct te koppelen aan diverse programma's voor het berekenen van het energiejaarverbruik van een tuinder. Enerzijds is dit belangrijk om tuinders en adviseurs directer het voordeel van goede waarden van de energie-indicatoren te laten zien. Reductie van het gasverbruik laat zich makkelijker in winst voor de tuinder vertalen dan zoiets abstracts als de U-waarde van een kasdek. Anderzijds is dit belangrijk om de acceptatie van de energie-indicatoren in de markt te vergroten. Immers de toepassers van energiejaarverbruikprogramma's worden zo voorzien van meer nauwkeurige invoergegevens dan nu het geval is en kunnen daardoor hun klanten beter adviseren.

Om dit te bereiken heeft DLV Adviesgroep een energiebalans opgesteld voor een tomatenbedrijf. De effecten van verschillende energiebesparende maatregelen zijn daarbij vergeleken met een referentiebedrijf. In bijlage I zijn de resultaten van deze berekeningen gegeven en worden de effecten van de energiebesparende maatregelen besproken. Tabel 6 geeft een overzicht van de resultaten, waarbij een tuinbouwbedrijf voor de tomatenteelt met een enkel beglaasde kas (166x154 m) als referentie is aangehouden.

TABEL 6: VERGELIJKING RESULTATEN BEREKENINGEN ENERGIEBALANS VOOR DIVERSE VARIATIES OP HET VENLO-WARENHUIS				
Materiaal	Verbruik met minimum buis		Verbruik zonder minimum buis	
Referentie	58,5 m ³ /m ²		46,0 m ³ /m ²	
Dek gecoat supperglas (Vetra Clear)	55,7 m ³ /m ²	-4,8%	42,8 m ³ /m ²	-7,0%
Dek Hortiplus glas (4 mm)	56,3 m ³ /m ²	-3,8%	43,6 m ³ /m ²	-5,3%
Gevel plexiglas Alltop (16 mm)	56,7 m ³ /m ²	-3,1%	44,1 m ³ /m ²	-4,2%
Gevel twee maal enkel glas (18 mm)	56,7 m ³ /m ²	-3,1%	44,0 m ³ /m ²	-4,3%

6.4 Voorstel voor aanpassingen van de Groenlabelkas-regeling

De energie-indicatoren zijn ook te koppelen aan de lopende Groenlabelkas-ontwikkelingen. In de laatste wijziging van de Maatlat Groenlabelkas (Staatscourant, nummer 234, vrijdag 3 december 1999), wordt een onderscheid gemaakt tussen basiseisen waaraan een Groenlabelkas ten minste dient te voldoen en keuzemaatregelen die dienen te leiden tot een minimum aantal vereiste Groenlabelpunten.

Van de gestelde basiseisen kunnen de punten B tot en met F in relatie worden gebracht met de energie-indicatoren. Voor een goede beeldvorming worden deze basiseisen hier herhaald:

- B) Gootsysteem: het gootsysteem dient:
- te voorzien in een gescheiden condensafvoer,
 - te bestaan uit goten met een maximum lichtonderschepping, bepaald volgens de halve omtreksmethode van maximaal 7 %, en
 - te bestaan uit goten, die indien ze van staal zijn vervaardigd zijn, tweezijdig gecoat zijn.
- C) Onderbouw van de kasconstructie: de onderbouw dient te zijn vervaardigd van staal of aluminium.
- D) Roeden van de kas: de roeden dienen te zijn vervaardigd van aluminium of staal.

Voor kassen voor zware stookteelt geldt verder:

- E) Dek: het dek van kassen, bestemd voor andere teelten dan tomatenteelt, dient te bestaan uit tenminste enkel glas waarbij beweegbaar scherm aangebracht is, dan wel uit dubbel glas, gecoat glas, of dubbelwandige niet flexibele kunststofplaat.

- F) Gevels: de gevel dient te bestaan uit tenminste enkel glas en een scherm, dan wel uit dubbel glas, dan wel uit gecoat glas, dan wel uit dubbelwandige niet flexibele kunststofplaat, dan wel dubbel te zijn beglaasd.

Deze laatste twee basiseisen zijn voor kassen voor lichtestookteelt/heteluchtteelt als volgt vastgesteld:

- E) Dek: het dek van de kas dient tenminste te bestaan uit enkelglas, dan wel dubbelwandige niet flexibele kunststofplaat.

- F) Gevels: de gevel dient te bestaan uit tenminste enkel glas, dan wel uit dubbelwandige niet flexibele kunststofplaat.

Voor de keuzemaatregelen die dienen te leiden tot een minimum aantal vereiste groenlabelpunten wordt een veelheid van mogelijke varianten voor energiebeperkende maatregelen met bijbehorende punten opgesomd. Deze lijst is te uitgebreid om hier integraal weer te geven.

Duidelijk is dat deze huidige "maatlat" een middelvoorschrift is, waarin de regeling direct gekoppeld is aan de uitvoering van de kas. Het gebruik van de vier energie-indicatoren daarentegen opent de mogelijkheid om de vaak uitgesproken wens van een middelvoorschrift te komen tot een doelvoorschrift te realiseren. Dit betekent dat de kas ondubbelzinnig aan een minimum energieprestatie voldoet, zonder dat daarbij de vrijheid van het ontwerp aan banden wordt gelegd. Hier wordt een globaal beeld geschetst op welke wijze dit zou kunnen worden gerealiseerd.

De punten B tot en met F van de nu opgestelde basiseisen kunnen vrijwel geheel worden vervangen door basiseisen gesteld aan de waarden voor de volgende energie-indicatoren:

- Lichtdoorlatendheid kasdek (bijvoorbeeld minimaal 75 %).
- U-waarde complete kas (bijvoorbeeld maximaal 7,5 W/m²K).
- Productie-energie complete kas (bijvoorbeeld maximaal 700 MJ/m²).

Voor de vierde energie-indicator ventilatieopening wordt (voorlopig) geen basiseis gesteld, omdat de keuze van het luchtraam van directe invloed is op de waarden van de overige drie energie-indicatoren. Voor de waarden van de voorgestelde basiseisen zijn indicatieve waarden gegeven. Aanbevolen wordt om een nadere kalibratie uit te voeren, waarbij weer een onderscheid aangebracht kan worden tussen zware stookteelt (tomaten of andere gewassen dan tomaten) en hetelucht/lichestookteelt. Overigens wordt ten overvloede opgemerkt dat de basiseis met betrekking tot een gescheiden condensafvoer van het gootsysteem blijft bestaan. De gestelde basiseisen gesteld onder punten C) en D) dienen wellicht gehandhaafd te blijven.

Ook de selectie van keuzemaatregelen voor het verkrijgen van Groenlabelpunten kan voor een groot deel worden vervangen door een toekennen van Groenlabelpunten bij het optimaliseren van de bovengenoemde energie-indicatoren. Ook hiervoor moet nog een nader kalibratie worden uitgevoerd. Wel wordt opgemerkt dat het effect van scherming (nog) niet is gekwantificeerd binnen de ontwikkelde algoritmen voor de energie-indicatoren. Voorlopig dient hiervoor een middelvoorschrift gehandhaafd te blijven.

7 Kennisoverdracht naar de markt

Als logisch vervolg op het seminar 'Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen' op 12 juni 1998, is er ter afsluiting van het project de workshop 'Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen II' georganiseerd op 7 december 2000.

Het ochtendprogramma was specifiek bedoeld voor systeemleveranciers. Tijdens de workshop zijn de berekeningsmethoden waarmee de energie-indicatoren bepaald kunnen worden, toegelicht. Na de theorie werd door de deelnemers een kasdek berekend, samengesteld uit kasdekprofielen van de deelnemende systeemleveranciers. Het middagprogramma was bedoeld voor gebruikers van het computerprogramma CASTA/Kassenbouw. Voor verschillende kastypen werden de energieprestaties vastgesteld en ter afsluiting is de case studie "DE balans kas" uitgevoerd. Hierbij was het de bedoeling om binnen de gegeven randvoorwaarden een zo optimaal mogelijke kas te ontwerpen. In bijlage J is de inhoud van de workshop weergegeven.

Daar het computerprogramma CASTA/Kassenbouw ook gebruikt wordt door een aantal Agrarische Hogescholen, bestaat de mogelijkheid dat ook de studenten al in een vroeg stadium in aanraking komen met de vier ontwikkelde energie-indicatoren. Tevens zal er naar gestreefd worden om in een van de vakbladen een artikel over het project Energie II te publiceren.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

De resultaten van het project "Energie-geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen - II (alternatieve omhullingssystemen, implementatie in de praktijk)" dragen in belangrijke mate bij tot het optimaliseren van de energiehuishouding en lichttoetreding in een tuinbouwkas. Deze stelling is gebaseerd op de volgende conclusies:

- Met de vier energie-indicatoren lichtdoorlatendheid, U-waarde, productie-energie en ventilatie-opening kan de energiehuishouding en lichttoetreding in een tuinbouwkas worden gekwantificeerd.
- Voor de berekening van de vier energie-indicatoren zijn algoritmen ontwikkeld voor kasdeksystemen inclusief luchtramen en gevelsystemen.
- De vier energie-indicatoren bieden nu ook mogelijkheden om door toepassing van alternatieve omhullingsmaterialen energiezuinige kasconcepten te ontwerpen.
- Met de ontwikkelde rekenmethodieken en computerprogramma's zijn de kassenbouwers, systeemleveranciers, leveranciers van kasomhullingsmaterialen, adviesbureau's en tuinders in staat energie-geïntegreerd te ontwerpen. Op basis van dergelijke berekeningen zijn tuinders in staat om verantwoorde investeringsbeslissingen te nemen.
- Ten aanzien van de Groenlabelkas-regeling zijn de vier energie-indicatoren geschikte hulpmiddelen om van een middelvoorschrift te komen tot een doelvoorschrift. De meeste van de huidige basiseisen kunnen worden vervangen door eisen gesteld aan de lichtdoorlatendheid, U-waarde en productie-energie. Ook de huidige selectie van keuzemaatregelen kan vervangen worden door een toekennen van Groenlabelpunten bij het optimaliseren van de energie-indicatoren.
- De kennisoverdracht in het kader van het MKB-TNO project "Duurzame kassen" en de afsluitende workshop voor systeemleveranciers en gebruikers van CASTA/Kassenbouw hebben bijgedragen tot een breder bewustzijn van de noodzaak om bij het ontwerp van tuinbouwkassen rekening te houden met de energetische aspecten.

8.2 Aanbevelingen

De conclusie dat het project Energie II een duidelijke impuls heeft gegeven tot het energie-geïntegreerd ontwerpen in de praktijk, draagt mede in zich dat er behoefte is aan een vervolgproject om tot een verder inbedding in de praktijk te komen. Daartoe worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Bouw meer kennis op omtrent de effecten van energie-beperkende maatregelen.
- Stel eenduidig vast volgens welke normen en voorschriften de verschillende eigenschappen van de toegepaste alternatieve materialen te bepalen zijn.
- Implementeer de effecten van een schermingsinstallatie in de vier energie-indicatoren.
- Breng tevens de effecten van lekverliezen en effecten ten gevolge van condensatie in rekening.
- Implementeer de energie-indicatoren ook voor breedkapkassen.
- Koppel de energie-indicatoren aan programma's voor het berekenen van het jaarverbruik van een tuinbouwbedrijf en zorg voor een verdere doorontwikkeling van deze programma's.
- Stimuleer de implementatie in de praktijk verder in combinatie met de Groenlabelkas-systematiek en eenvoudige vuistregels om een indicatie voor de rentabiliteit van energiebesparende opties te berekenen.

Wellicht dat met een project Energie III dit vervolg kan worden ingezet.

Bijlage A: Lichtonderschepping - Beschrijving IDT-methode

Inhoud

1. Inleiding
2. Het modelleren van het profiel
 - 2.1 Tekening
 - 2.2 Loodlijn
 - 2.3 Opdelen in trapezia
 - 2.4 Vormfactor
 - 2.5 Reflectiewaarden van het materiaal
 - 2.6 Profielen met openingen
 - 2.7 Positie van een trapezium ten opzichte van het glas
3. Invoeren van de profielgegevens
4. Bepaling lichtdoorlatendheid van de complete kas

1 Inleiding

Deze bijlage dient als handleiding voor het bepalen van de benodigde profieieigenschappen voor het uitvoeren van lichtberekeningen volgens de lichtberekeningsmethode van IMAG-DLV-TNO (IDT). Deze IDT methode is gebaseerd op de “verbeterte 1/2-omtrekmethode” (zie voor een omschrijving van de IDT methode TNO rapport 96-CON-R1584).

2 Het modelleren van het profiel

De berekening van de lichtdoorlatendheid volgens de IDT methode is geprogrammeerd in een Excel spreadsheet. 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 IDT methode verregaand geautomatiseerd. Voor het bepalen van profiel-eigenschappen zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd met behulp van het tekenpakket VISIO. In het pakket VISIO zijn de onderstaande werkzaamheden deels geautomatiseerd.

2.1 Tekening

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. Het lichtberekeningsprogramma van IDT gaat uit van gesloten luchtramen. Indien er op of in een profiel glas wordt opgelegd moet het glas ook op tekening staan.

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 het scharnier van het luchtraam. De dekroede en de stijlen van het luchtraam hebben geen geroteerde doorsnede (door middel van de ingevoerde dekhelling wordt rekening gehouden met de hoekverdraaiing van deze profielen).

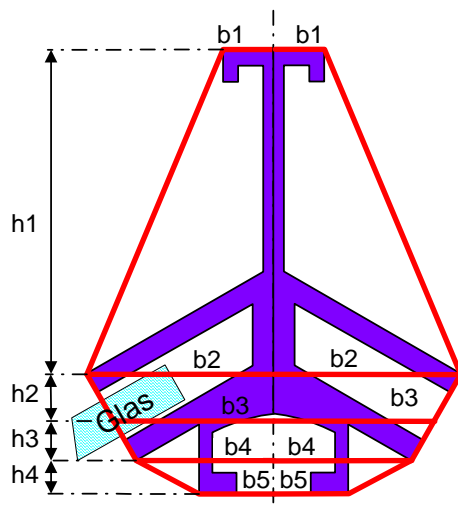
2.2 Loodlijn

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 geposi-

tioneerd, is dit tevens de verticale hartlijn van het profiel. De linker en rechter helft van het profiel zijn dan elkaars spiegelbeeld.

2.3 Opdelen in trapezia

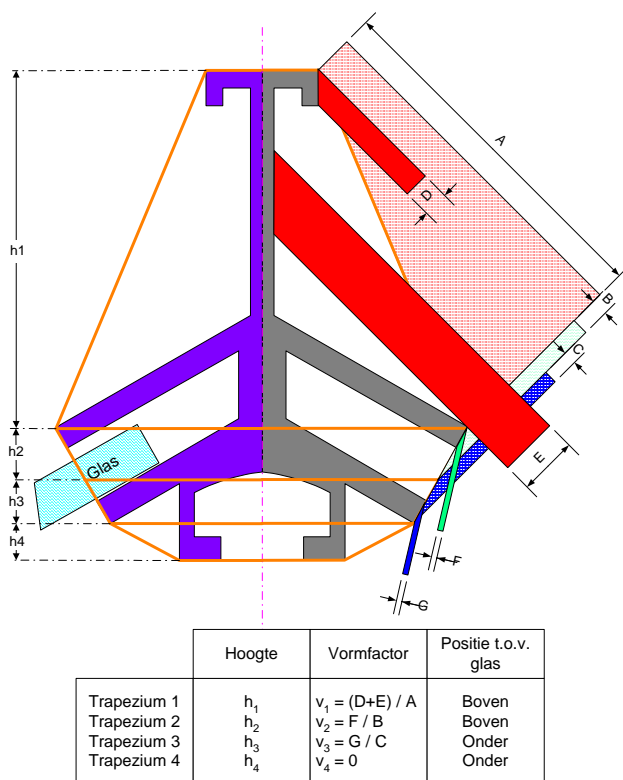
Ten behoeve van een nauwkeurige bepaling van de profieieigenschappen moet het profiel in voldoende 'schijven' of trapezia worden opgedeeld. Het profiel kan maximaal in 10 trapezia worden opgedeeld. Eerst moet een hulplijn van de omtrek van het profiel getekend worden. Deze hulplijn, de zogenaamde omtreklijn, 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 lichtberekenningsprogramma 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.



Afbeelding 1: Nokprofiel ingedeeld in trapezia

2.4 Vormfactor

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. Gereflecteerd 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 beschreven worden door een egale lichtkoepel van 180° . Voor het bepalen van de vormfactoren van een profiel wordt in de IDT methode uitgegaan van lichtbundels met een (gemiddelde) stralingshoek van -45° (rechterzijde) en $+45^\circ$ (linkerzijde) ten opzichte van de loodlijn van het profiel.



Afbeelding 2: Bepaling vormfactoren van een nokprofiel

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 het trapezium beschreven 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 $\pm 45^\circ$ beschreven wordt, wordt de vormfactor

standaard 0%. Dit komt met name voor bij de onderste trapezia van profielen die aan de onderzijde smaller worden.

2.5 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:

20% = reflectiewaarde voor staal

45% = reflectiewaarde voor aluminium

70% = reflectiewaarde voor wit gecoate onderdelen

2.6 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 $\square 45 \square$ in de kas.

2.7 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 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 Invoeren van de profielgegevens

3 Invoeren van de profielgegevens

In dit hoofdstuk wordt een handleiding gegeven voor het bepalen van de lichtonderschepping van het kasdek.

Stap 1: Tekeningen

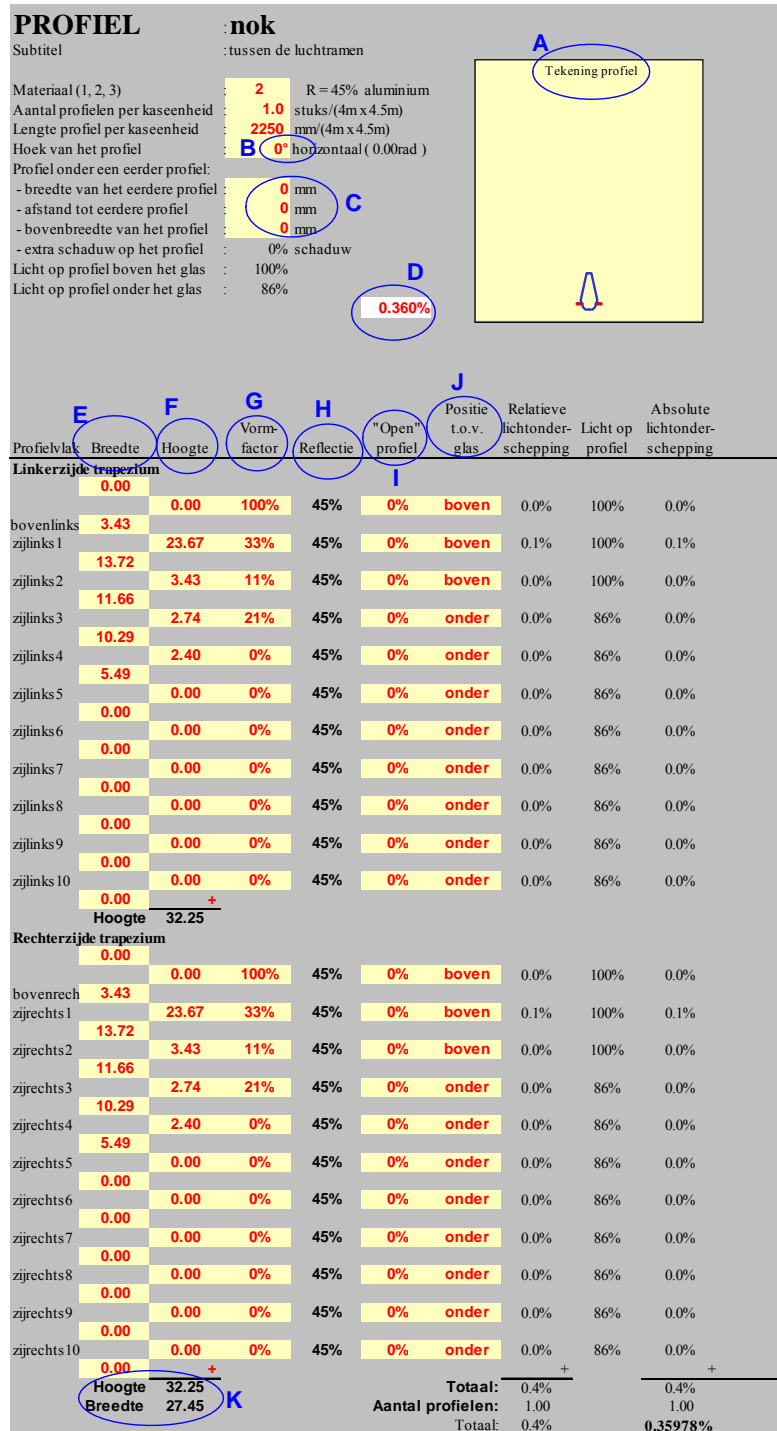
Allereerst worden van de kasdekprofielen de karakteristieke afmetingen bepaald volgens Afbeelding 2. Als alle afmetingen bekend zijn kan met behulp van de Excel spreadsheet de lichtonderschepping van ieder profiel en van het gehele kasdek worden bepaald.

Stap 2: Lichtonderschepping afzonderlijke profielen

In Afbeelding 3 is het Excel werkblad weergegeven voor het bepalen van de lichtonderschepping van een fictief nokprofiel. Van ieder profiel dat deel uitmaakt van het kasdek wordt zo'n pagina gemaakt. Er worden de volgende opmerkingen gemaakt bij Afbeelding 3:

- A. Tekening van het profiel. Aan de hand van de ingevoerde gegevens wordt door Excel een tekening van de omhullende van de trapezia gegenereerd, ter controle.
- B. Hoek van het profiel. Hier kan de hoek ingevoerd worden voor de profielen die in lengterichting niet horizontaal lopen. Voor de de kroede kan hier bijvoorbeeld de dekhelling ingevoerd worden.
- C. Afmetingen eerder profiel. Indien het beschouwde profiel zich onder een ander profiel bevindt wordt er rekening gehouden met de schaduw van het bovenste profiel. Dit komt bijvoorbeeld voor bij de zijstijl en de tussenstijl.
- D. Absolute lichtonderschepping van het profiel. De lichtonderschepping van een profiel is afhankelijk van de overige profielen in het kasdek.
- E. Breedte van het trapezium. In deze kolom kunnen de breedtes van de trapezia ingevuld worden. Bij symmetrische profielen is de breedte van de linkerzijde gelijk aan de breedte van de rechterzijde. Bij asymmetrische profielen is dit niet het geval.
- F. Hoogte van het trapezium. De hoogte van de trapezia voor de linker- en rechterzijde van het profiel zijn altijd aan elkaar gelijk. In het lichtberekeningsprogramma hoeft 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.
- G. Vormfactor van een trapezium. De volgens paragraaf 2.4 bepaalde vormfactoren kunnen per trapezium worden ingevoerd.
- H. Reflectie van het materiaal. (zie paragraaf 2.5)
- I. "Open profiel". (zie paragraaf 2.6)

- J. Positie ten opzichte van het glas. Hier kan per trapezia aangegeven worden of deze zich boven of onder het glas bevindt.
- K. Afmetingen van het profiel. Uit de ingevoerde afmetingen van de trapezia worden de afmetingen van het profiel bepaald, ter controle.



Afbeelding 3 : Bepaling van de lichtonderschepping van een fictief nokprofiel

Stap 3: Het doorrekenen van een compleet kasdek

Nadat alle benodigde profielen ingevoerd zijn in Excel kunnen met behulp van de profielen kasdeksystemen worden samengesteld.

Bij Afbeelding 4 worden de volgende opmerkingen gemaakt:

- A. Algemene kasdekgegevens. Hier worden enkele afmetingen van het kasdek ingevoerd. De roedelengte en de glaslengte worden automatisch berekend.
- B. Luchtraamgegevens. Hier kan de luchtraamconfiguratie ingevoerd worden. Indien een gehard luchtraam wordt toegepast wordt er gerekend met een 89% lichtdoorlaat van het glas van het luchtraam, in plaats van 90% (tenzij aange-toond is dat de lichtdoorlaat hoger is). De lengte van de opdrukstangen wordt automatisch bepaald, uitgaande van een railmechaniek.
- C. Het percentage gerecycled aluminium wordt gesteld op 35%.
- D. De loodrechte lichtdoorlaat van glas wordt gesteld op een vaste waarde van 90%.
- E. Reflectiecoëfficiënten. Deze coëfficiënten geven aan welk aandeel van het invallende licht gereflecteerd wordt.
- F. Gewichtsberekening kasdek. In de tabel wordt een gewichtsberekening gemaakt voor het kasdek, waarmee de benodigde productie-energie bepaald wordt.
- G. Berekening lichtonderschepping. De absolute lichtonderschepping van de diver-se profielen worden gesommeerd.
- H. Lichtonderschepping dek. Dit getal geeft weer welk aandeel van het licht onder-scheept wordt door het kasdek.
- I. Energie inhoud van de materialen. Deze getallen geven weer hoeveel energie het kost om een kilo van het materiaal te produceren. Transportkosten en latere be-werkingen zijn niet meegerekend.

De productie-energie wordt bepaald door vermenigvuldiging van de benodigde materiaalhoeveelheden en de energie inhoud. De productie-energie is berekend voor een vierkante meter kasdek.

TRANSMISSIE VENLO-KAS

Lichtberekening kasdek volgens de 'IDT methode'

Invoer

Fabrikant	: Kasdek BV		
Kastype	: Venlo deksysteem		
Kapbreedte	: 4000 mm		
Vakmaat	: 4500 mm		
Roede afstand	: 1125 mm		
Roede lengte	: 2090 mm	suggestie:	2090 mm
Glaslengte	: 2096 mm		
Gehard luchtraam	: nee	Voor een gehard luchtraam wordt een lager transmissie getal gebruikt	
Luchtraam diepte	: 1200 mm		
Luchtraam breedte (aantal ruiten)	: 2 x	Totale breedte:	2250 mm
Aantal opdrukstangen	: 2 x		
Lengte opdrukstang	: 1786 mm	suggestie:	1786 mm 36.86 graden
Gemiddelde diameter opdrukstangen	: 22 mm		
Verlaging trek-duw buis	: 60 mm		
Dekhelling	: 22.0° (-0.384 rad)		

Overige gegevens

Percentage gerecycled aluminium	: 35. %	(bron: rapport "Aluminium bouwt duurzaam, 1992)
Lichtmeting vanaf fundatiehoogte	: 1500 mm	
Glas transmissie loodrecht	: 90. %	Luchtraam: 90. %
transmissie diffuus	: 85.63 %	Luchtraam: 85.63 %
Reflectie verzinkt staal	: 20. %	standaard 20%
Reflectie aluminium	: 45. %	standaard 45%
Reflectie witcoating	: 70. %	standaard 70%
Lichtverdeling	: 50. %	standaard 50%

Berekening

Sommatie lichtonderschepping:				
glas	: 13.9 %			
Nok	: 0.403 %			
Scharnier, incl nok	: 0.64 %			
Zijstijl, excl roede	: 0.45 %			
Tussenstijl, excl roede	: 0.17 %			
Onderdorpel incl kalf	: 0.67 %			
Dekroede	: 1.62 %			
Dekroede onder zijstijl en tussenstijl	: 0.23 %			
Dekroede, uitstekend onder luchtraam	: 0.41 %			
Nokklem	: 0.03 %			
Opdrukstangen	: 0.289 %			
Goot	: 3.238 %			
lichtonderschepping	: 22.04 %			

Oppervlak per profiel		Lengte per vak	Gewicht kasdek	
Alu [mm ²]	Staal [mm ²]		Alu	Staal
153	0.000	4500 mm	1.90 kg	0.00 kg
328	0.000	2250 mm	2.03 kg	0.00 kg
159	0.000	1200 mm	0.53 kg	0.00 kg
217	0.000	1200 mm	0.72 kg	0.00 kg
442	0.000	2250 mm	2.74 kg	0.00 kg
283	0.000	10452 mm	8.14 kg	0.00 kg
283	0.000	3600 mm	2.80 kg	0.00 kg
283	0.000	2671 mm	2.08 kg	0.00 kg
97	0.000	3572 mm	0.95 kg	0.00 kg
1189	0	4500 mm	14.73 kg	0.00 kg

Gewichten per vak	36.6	0.0
Gewichten per m ²	2.0	0.0

Lichtonderschepping dek : 22.0 %

Bepaling productie energie kasdek			
Materiaal	Hoeveelheid [kg/m ²]	Energie inhoud [MJ/kg]	Productie energie [MJ/m ²]
Staal	0.0	32	0.0
Aluminium	2.0	137	277.9
Glas (1.045 m ² /m ²)	10.5	21	219.5
Totale productie energie kasdek			497.3

Afbeelding 4: Lichtonderscheppingsberekening van een fictief kasdeksysteem

4 Bepaling lichtdoorlatendheid van de complete kas

De lichtdoorlatingsgetallen van een complete kas kunnen worden bepaald met een CASTA/Kassenbouw. In de schermafdrruk hieronder is een voorbeeld weergegeven van zo'n berekening.

De lichtonderscheppingsgetallen van de onderzochte kasdekken zijn ingevoerd in de module "Licht" van CASTA/Kassenbouw. In CASTA/Kassenbouw wordt de lichtonderschepping van de onderbouw van de kas bepaald en worden beide getallen gecombineerd tot één lichtdoorlatingsgetal. Er is voor alle kasdekken gekozen voor dezelfde onderbouw, tenzij deze niet voldoet volgens CASTA/Kassenbouw uitgaande van NEN 3859 2e druk. In dat geval is de onderbouw geoptimaliseerd totdat de berekening voldoet.

The screenshot shows the CASTA Kassenbouw software interface. The main window is titled 'CASTA Kassenbouw - (Naamloos)'. Below the title bar is a menu bar with 'Bestand', 'Bewerk', 'Debug', and 'Venster'. Below the menu bar is a toolbar with buttons for 'Reken' and 'Rapport', and a 'Rapportage' dropdown menu. The main area is divided into several sections:

- Onderdeel:** Licht
- Kastype:** Venlo-warenhuis
- Geometrie:**
 - Kapbreedte: 4000 mm
 - Aantal kappen: 2
 - Vakmaat: 4500 mm
 - Kolomhoogte: 4000 mm
 - Dekhelling: 22.0 gr
 - Spanthoogte: 400 mm
 - Spantverlaging: 150 mm
 - Glasbreedte dek <=: 1125 mm
 - Type mechaniek: rail
- Kolom:**
 - Profiel: RHBK100*50*3.0
 - Oppervlak: verzinkt staal mm
- Tralieligger:**
 - Bovenrand: RHBK50*25*2.0
 - Onderrand: CS0*25*8.5*2.5
 - Diagonalen: 10 per kap.
 - druk: RD14.0
 - trek: RD12.0
 - Oppervlak: verzinkt staal mm
- Luchtingsbuis:**
 - Profiel: RB32*2.3
 - Randafstand: 25 mm
 - Oppervlak: verzinkt staal mm
- Kasdek:**
 - Leverancier: Algemeen
 - Lichtonderschepping: 22.321 %
- Resultaat (Lichtdoorlaat):**
 - Lichtonderschepping kasdek: 22.3212 %
 - Lichtonderschepping onderbouw: 2.6295 %
 - Lichtdoorlaat gehele kas: 75.0493 %

The status bar at the bottom indicates 'Berekening uitgevoerd.' (Calculation completed).

Afbeelding 5: Bepaling lichtdoorlating van een complete kas met een testversie van het onderdeel "Licht" van CASTA/Kassenbouw. (De wijze van presentatie staat nog ter discussie)

Bijlage B: Energiedichtheid - Beschrijving G&I methode

Bijlage C: Energiedichtheid - Voorbeeld MathCad applicatie

Bijlage D: Eigenschappen alternatieve energiezuinige kasomhullingsmaterialen

Bijlage E: Rekenmethodiek voor tweeruitsluchtramen

Bijlage F: Rekenmethodiek voor meerruistsluchtramen; procedure voor de bepaling van de krachtsverdeling

Inhoud

1. Inleiding
2. Voordelen van meerruits- en doorlopende luchtramen
3. Constructieve dimensionering
 - 3.1 Algemene kenmerken
 - 3.2 Omschrijving van de rekenmethodiek

1 Inleiding

Tot op heden worden voor Venlo-kassen overwegend tweeruits-luchtramen toegepast. Echter er is een tendens te constateren om meerruits-luchtramen en doorlopende luchtramen toe te passen. De doorlopende luchtramen worden aan beide kanten van de nok toegepast. De voordelen die de kassenbouwer en tuinder daarbij hebben zijn:

- Grotere luchttingscapaciteit
- Optimale mogelijkheid voor toepassen insecten werend gaas

Daarnaast is er in energetisch opzicht een voordeel bij het toepassen van meerruits- en doorlopende luchtramen.

In dit rapport wordt nader inzicht gegeven in de voordelen en wordt nader ingegaan op de constructieve dimensionering van deze luchtramen.

2 Voordelen van meerruits- en doorlopende luchtramen

Over de toepassing van meerruits- en doorlopende luchtramen worden de volgende nadere opmerkingen gemaakt:

- De mogelijkheid om insecten werend gaas toe te passen is eenvoudig qua montage en daardoor duidelijk goedkoper, dan bij traditionele luchtramen van Venlo-kassen.
- De hogere luchttingscapaciteit kan worden gerealiseerd bij gelijkblijvende lichtinval, vergeleken met traditionele luchtramen van Venlo-kassen, waaraan insecten werend gaas is gemonteerd.
- De luchttingscapaciteit is duidelijk groter, dan bij traditionele luchtramen van Venlo-kassen.
- Doordat het kasdek als het ware aan het luchtraam gaat hangen, zal bij windzuiging op het dek geen kier tussen kasdek en luchtraam ontstaan. Bij traditionele luchtramen van Venlo-kassen zijn de vervormingen van de luchtraamprofielen loodrecht op het kasdek groter, zodat ook meer energieverlies door luchtlekken optreedt.
- Doordat het kasdek als het ware aan het luchtraam gaat hangen, wordt het kasdek constructie gesteund. Daardoor kunnen de kasdekroeden lichter worden uitgevoerd en is de stormbestendigheid van het kasdek verbeterd door lagere krachten op de kasdekverbindingen. Voorwaarde hierbij is wel, dat de het luchtmechaniek sterker moet worden uitgevoerd, dan bij een traditioneel luchtraam van Venlo-kassen.
- Overigens kan de mogelijkheid tot toepassing van lichtere kasdekroeden ook worden vertaald naar toepassing van grotere kapbreedte i.p.v. lichtere kasdekroeden. Ook in dit geval zal het luchtmechaniek sterker moeten worden uitgevoerd.
- Als alternatief voor het traditionele luchtmechaniek bij Venlo-kassen (schommel- of schuifmechaniek) kan een tandheugel-mechaniek worden toegepast (zoals bij breedkap-kassen). In dat geval zullen de kasdekroeden vrijwel hetzelfde worden belast, als bij traditioneel luchtraam van Venlo-kassen. Er zijn dan nauwelijks constructieve consequenties voor de kasdekroeden en de kasdekverbindingen, als bij elke kasdekroede een tandheugel wordt geplaatst.
- Onderdorpel doorlopend luchtraam kan een lichter profiel zijn, dan bij 2-ruits luchtraam, i.v.m. gelijkmatig verdeelde belasting op doorgaand profiel en de mogelijkheid om de opdrukker plaatsing optimaal te kiezen. Echter de totale hoeveelheid bende lengte onderdorpel is bij een doorgaand raam veel groter, zodat totaal meer materiaal nodig is

Stel, dat doorlopende luchtramen aan één kant van de nok worden toegepast, dan is met luchtramen die extra ver open kunnen, nog steeds een luchttingscapaciteit mogelijk, die vergelijkbaar is met traditionele luchtramen van Venlo-kassen. Daarbij kan

een grotere lichtinval worden gerealiseerd dan bij traditionele luchtramen van Venlo-kassen, waaraan insecten werend gaas is gemonteerd.

Overigens is de situatie met éénzijdig dooropende luchtramen constructief gezien duidelijk minder gunstig als gevolg van de asymmetrische belasting op de constructie (zwaardere kasdekroeden dan bij traditioneel kasdek en toch ook zwaarder uitgevoerd luchtmechaniek).

3. Constructieve dimensionering

3.1 Algemene kenmerken

De volgende algemene kenmerken die een rol spelen bij de dimensionering, worden hier opgesomd:

- 1) Vaststellen van de geometrie van het kasdek. De maten voor kapbreedte, dekhelling, luchtraamdiepte, e.d. volgen uit de gebruikseisen en de ontwerp-berekeningen voor lichtonderschepping en ventilatiecapaciteit.
- 2) Bepaling belastingen op het luchtraam aan de hand van de belastingcombinaties in NEN 3859 “Tuinbouwkassen, Constructieve eisen”, 2e druk februari 1996.
- 3) De rekenmethodiek is toegespitst op de toepassing van aluminium kokerprofielen.
- 4) De rekenmethode is opgesteld als een controle-berekening. Dat wil zeggen, dat van een ontwerp van het doorlopende luchtraam de sterkte en de vervormingen van de gekozen profielen worden getoetst aan de Nederlandse kassenbouwnorm NEN 3859. Optimalisatie van de profielen gebeurt door in een nieuwe controle-berekening de nieuwe statische eigenschappen van het aangepaste profiel-ontwerp in te voeren. Deze statische eigenschappen worden (zoals gebruikelijk) bepaald door de systeemleverancier of extrusiebedrijf. Deze relatief arbeidsintensieve aanpassing van het ontwerp is met name nodig bij het op dubbele buiging belaste onderdorpelprofiel. Als het onderdorpelprofiel moet worden aangepast, kunnen de statische eigenschappen van het nieuwe ontwerp in het algemeen niet voldoende nauwkeurig worden voorspeld op basis van een reeds uitgevoerde controle-berekening. Gelet op de arbeidsintensieve aanpassing van een profiel-ontwerp, is het handig als de systeemleverancier zelf de rekenmethodiek voor controle van de luchtraamprofielen kan toepassen.

3.2 Omschrijving van de rekenmethodiek

De voorgestelde rekenmethodiek is opgebouwd uit de volgende reeks van stappen:

- 1) De rekenmethodiek is bestemd voor een driedimensionale constructie. Hiermee is rekening gehouden door een 2x2D-rekenmethodiek op te stellen. Op de eerste plaats worden de krachten en de vervormingen in de luchtraamprofielen berekend in de richting loodrecht op het kasdek. Vervolgens worden met gebruik van de eerste rekenresultaten de krachten en de vervormingen in de luchtraamprofielen berekend in de richting evenwijdig aan het kasdek.

- 2) De belastingen op de luchtraamprofielen worden berekend aan de hand van NEN 3859. Er worden 3 belastingssituaties onderscheiden:
 - Voor alle locaties van het kasdek: “eigen gewicht + winddruk” op luchtramen in geopende stand.
 - Voor de middenvelden van het kasdek: “windzuiging - eigen gewicht” op luchtramen in gesloten stand.
 - Voor de randen van het kasdek: “windzuiging - eigen gewicht” op luchtramen in gesloten stand, waarbij een hogere rekenwaarde voor de locale windstuwdruk moet worden aangenomen.
- 3) In het geval van windzuiging op een gesloten luchtraam treedt interactie op tussen het luchtraam de roeden van het kasdek. Het kasdek gaat als het ware aan het luchtraam hangen. Dit levert een extra belasting op de onderdorpel in de richting loodrecht op het kasdek, die als volgt wordt bepaald:
 - In een model van de doorsnede van het kasdek wordt ter plaatse van de onderdorpel een eenheidslast $P = 1\text{N}$ aangebracht in de richting loodrecht op het kasdek. In dit model worden de actuele afmetingen, profieleigenschappen en verbindingskarakteristieken in gevoerd. In de nok en ook bij de goot is een scharnierende verbinding van de kasdekroeden aangehouden.
 - Uit de berekende doorbuiging van de kasdekroede wordt de veerstijfheid van het kasdek afgeleid. Deze veerstijfheid zal worden ingebouwd in het eerste gedeelte van de 2x2D-rekenmethodiek, als verende ondersteuning van de onderdorpel in de richting loodrecht op het kasdek.
 - In een model van de doorsnede van het kasdek wordt de belasting op de kasdekroede aangebracht als een gelijkmatig verdeelde belasting op het deel van de kasdekroede, dat loopt van de goot tot aan het luchtraam. Desgewenst kan aan de onderzijde van de kasdekroede een driehoekig belastingmodel worden aangenomen, waarmee rekening wordt gehouden met een vierzijdige belastingafdracht van de ruiten naar de aangrenzende profielen. Hierbij is voor de kasdekroeden een extra plaatsvast steunpunt ter plaatse van de onderdorpel aangenomen.
 - De berekende oplegreactie ter plaatse van het aangenomen steunpunt ter plaatse van de onderdorpel wordt aangehouden als de puntbelasting op de onderdorpel in de richting loodrecht op het kasdek ter plaatse van de als veren gemodelleerde kasdekroeden. De aannamen van een plaatsvast tussensteunpunt levert overigens een iets te grote waarde voor de puntbelasting, maar omdat de opdrukkers op korte afstand van de kasdekroeden worden geplaatst, is de afwijking gering en de berekening voldoende nauwkeurig.
- 4) De belasting door winddruk, windzuiging of eigen gewicht, die direct op het luchtraam aangrijpt, wordt als gelijkmatig verdeelde belasting in de richting loodrecht op het luchtraam op het als doorgaande ligger gemodelleerde onderdorpelprofiel gezet. Bij de koppeling van de onderdorpelprofielen onderling wordt een scharnier aangenomen.
- 5) Bij de berekening van de krachtsverdeling en vervormingen van de onderdorpel worden de steunpunten van de onderdorpel ter plaatse van de opdrukkers als plaatsvast verondersteld. Met deze eerste rekenresultaten wor-

den de vervormingen loodrecht op het vlak van het luchtraam gecontroleerd. Ook wordt gecontroleerd of de oplegreacties van de onderdorpel een drukkracht zijn bij de als veren gemodelleerde kasdekroeden. Een drukkracht als oplegreactie is een voorwaarde, omdat anders een kier tussen het luchtraam en het kasdek kan ontstaan. In dat geval kan het luchtraam gaan klapperen (glasbreuk) en ontstaat energieverlies door luchtlekken.

- 6) Omdat de opdrukkers – een soort pendels – globaal onder een hoek (van ± 450) staan ten opzichte van het vlak van het luchtraam, heeft de reactiekracht van de opdrukkers ook een component evenwijdig aan het vlak van het luchtraam. De berekening van de krachtsverdeling en vervormingen van de onderdorpel in het vlak evenwijdig aan het luchtraam is het tweede deel van de 2x2D-rekenmethodiek.
- 7) Met de normaalkracht in de opdrukkers – berekend uit de oplegreactie loodrecht op het vlak van het luchtraam en de stand van de opdrukkers ten opzichte van het vlak van het luchtraam - worden stabiliteit van de opdrukkers en de sterkte van de verbindingen aan de uiteinden van de opdrukker gecontroleerd.
- 8) De stijlen tussen de onderdorpel en het luchtraamscharnier aan de nok worden belast door een driehoekig of trapezium-vormig belastingmodel uit de vierzijdige belastingafdracht van de gelijkmatig verdeelde belasting loodrecht op het vlak van het luchtraam. De stijlen worden bij de berekening van de krachten en vervormingen gemodelleerd als ligger op twee steunpunten.
- 9) In het vlak evenwijdig aan het luchtraam wordt het onderdorpelprofiel als doorgaande ligger plaatsvast ondersteund ter plaatse van de stijlen tussen de onderdorpel en het luchtraamscharnier aan de nok. Ter plaatse van de opdrukkers worden puntlasten op de onderdorpel gezet ter grootte van de reactiecomponenten van de opdrukkers evenwijdig aan het vlak van het luchtraam. Nu kunnen de krachten en vervormingen in de onderdorpel evenwijdig aan het vlak van het luchtraam worden berekend.
- 10) Met de rekenresultaten worden de vervormingen evenwijdig aan het vlak van het luchtraam gecontroleerd. Aan de hand van de berekende buigende momenten om beide hoofdassen van de onderdorpel (evenwijdig aan en loodrecht op het vlak van het luchtraam), wordt de optredende spanningen berekend en wordt de sterkte van het profiel gecontroleerd.
- 11) Als uit de controle-berekeningen blijkt, dat niet is voldaan aan één van de toetsen criteria, moet de rekenmethodiek opnieuw worden doorlopen met aangepaste invoergegevens.

Bijlage G: Resultaten enquête duurzame kassen

Bijlage H: CASTA/Kassenbouw - In- en uitvoerschermen

Inhoud

1. Inleiding
2. Lichtonderschepping
3. U-waarde
4. Productie energie
5. Ventilatie opening

1. Inleiding

In het project Energie geïntegreerd ontwerpen van tuinbouwkassen II zijn de vier Energie-indicatoren van tuinbouwkassen verder uitgewerkt. De Energie-indicatoren zijn:

- Lichtonderschepping van de kas
- U-waarde van de omhulling van de kas
- Product-energie voor de onderdelen van de kas
- Ventilatieopening van de kas.

In deze bijlage wordt per Energie-indicator aangegeven op welke wijze deze geïmplementeerd is in het computerprogramma CASTA/Kassenbouw 2.20.

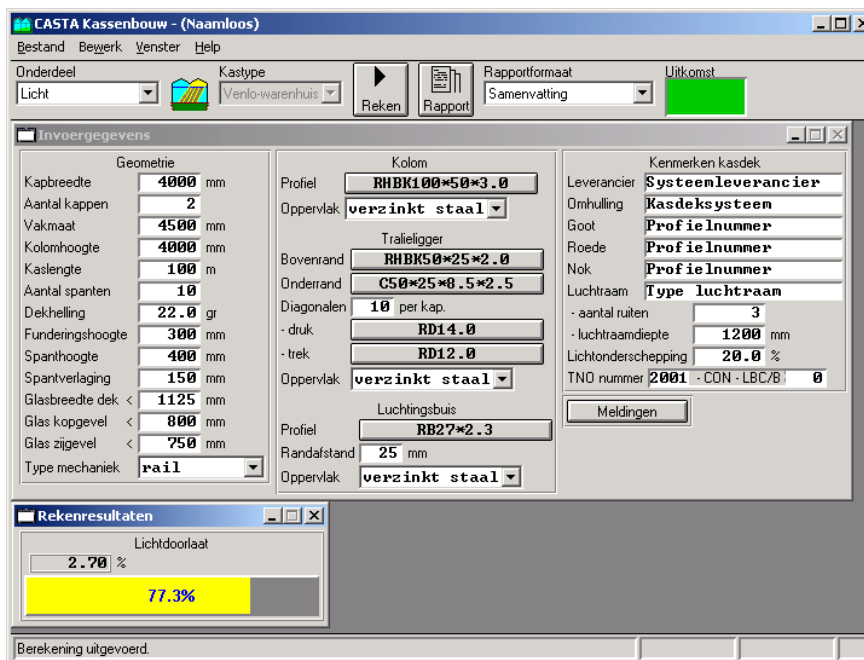
2. Lichtonderschepping

Voor de lichtonderschepping van de kas wordt een splitsing gemaakt in kasdek en onderbouw. De kasdekleverancier kan met behulp van een rekenmethodiek de lichtonderschepping bepalen van zijn kasdekken. Desgewenst kan de leverancier deze waarden laten autoriseren door TNO Bouw.

De gebruiker van het programma CASTA/Kassenbouw ontvangt van de kasdekleverancier de berekende lichtonderschepping van het gekozen kasdek. De CASTA gebruiker berekent vervolgens op de gebruikelijke wijze de onderbouw van de kas uit op sterkte en stijfheid.

Vervolgens kan de lichtonderschepping van de complete kas automatisch worden bepaald. Dit is hieronder weergegeven. In het voorbeeld bedraagt de lichtonderschepping van het kasdek 20%.

De gekozen onderbouw van de kas onderschept 2,70% licht. Deze werkwijze maakt het mogelijk om ook de toepassing van alternatieve omhullingsmaterialen in kasdekken mee te nemen in het CASTA/Kassenbouw programma.



Figuur 1: Bepaling van de lichtonderschepping van de complete kas met CAS TA/Kassenbouw

3. U-waarde

De U-waarde is een maat voor de mate waarin een kas thermisch geïsoleerd is. In het project Energie II is de rekenmethode voor de U-waarde uitgebreid met de onderdelen luchtramen, gevel, fundatie en alternatieve omhullingsmaterialen. Voor de bepaling van de U-waarde van de kas zijn de volgende gegevens nodig.

- U-waarde kasdek
- U-waarde gevel
- U-waarde fundering
- Afmetingen van de kas

De gebruiker van het programma CASTA/Kassenbouw kan de benodigde waarden van de U-waarden verkrijgen van de leveranciers van de kasdek-, gevel en funderingssystemen. Enkele richtwaarden voor de U-waarde zijn opgenomen in de helpteksten bij het programma, zoals hieronder weergegeven.

 **CASTA Kassenbouw Uwaarde van de randfundatie**

Gevraagd wordt om de U-waarde van de toegepaste randfundatie. Deze waarde is verkrijgbaar bij de leverancier van de randfundering. De U-waarde geeft aan hoeveel energie er door een vierkante meter kasgevel verdwijnt bij een temperatuurverschil van 1 Kelvin. Hoe groter de U-waarde des te meer energie stroomt er naar buiten. Hoe lager de U-waarde van de fundering, des te energie efficiënter is de fundering.

De U-waarde van de totale kas wordt bepaald door een gewogen gemiddelde te nemen van de U-waarden van de fundering, gevel en het kasdek. Indien alternatieve omhullingsmaterialen zoals een geïsoleerde randfundering wordt toegepast kan de U-waarde van de fundatie, en in geringere mate van de totale kas verbeterd worden.

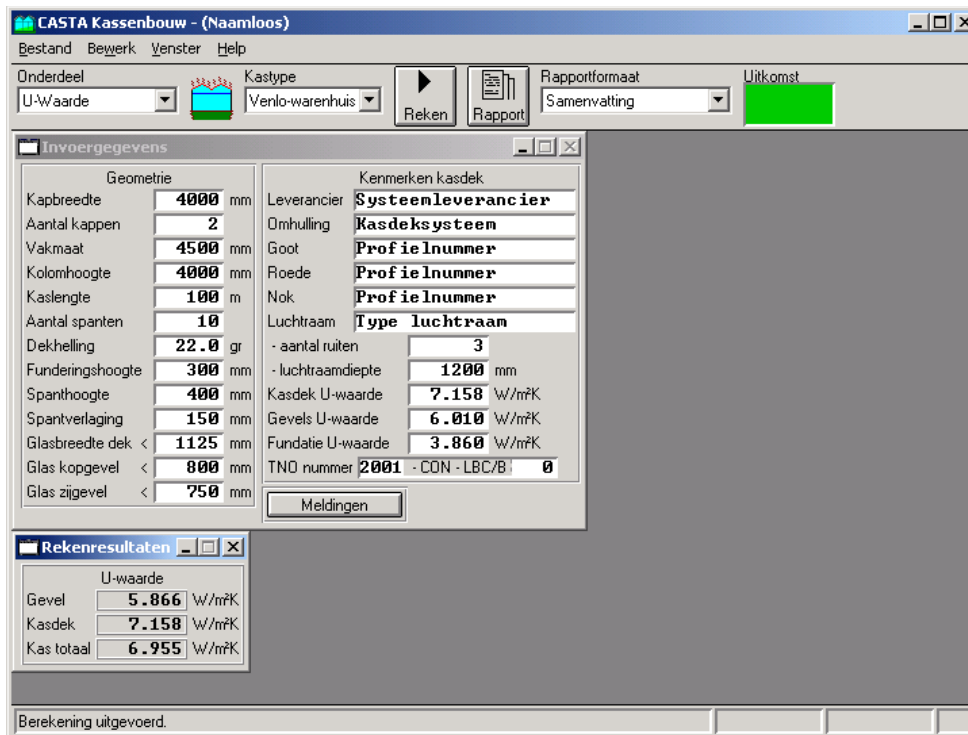
Enkele richtwaarden voor de gevelfundatie:

- Standaard: 3,86 (gestort beton)
- Geïsoleerd: 2,62 (Zeus Iso cassette voet)

Figuur 2: Helptekst CASTA/Kassenbouw met daarin enkele richtwaarden voor de U-waarde van de fundatie

De afmetingen van de kas zijn bekend binnen het programma CASTA/Kassenbouw. Nadat de benodigde waarden voor de U-waarde zijn ingevoerd, kan met één druk op de knop de U-waarde van de complete kas bepaald worden. Hieronder is een voorbeeld van de berekening weergegeven.

Met behulp van CASTA/Kassenbouw kan eenvoudig de invloed van een geïsoleerde gevel of fundering op de U-waarde van de kas bepaald worden, of de invloed van de afmetingen van de kas.



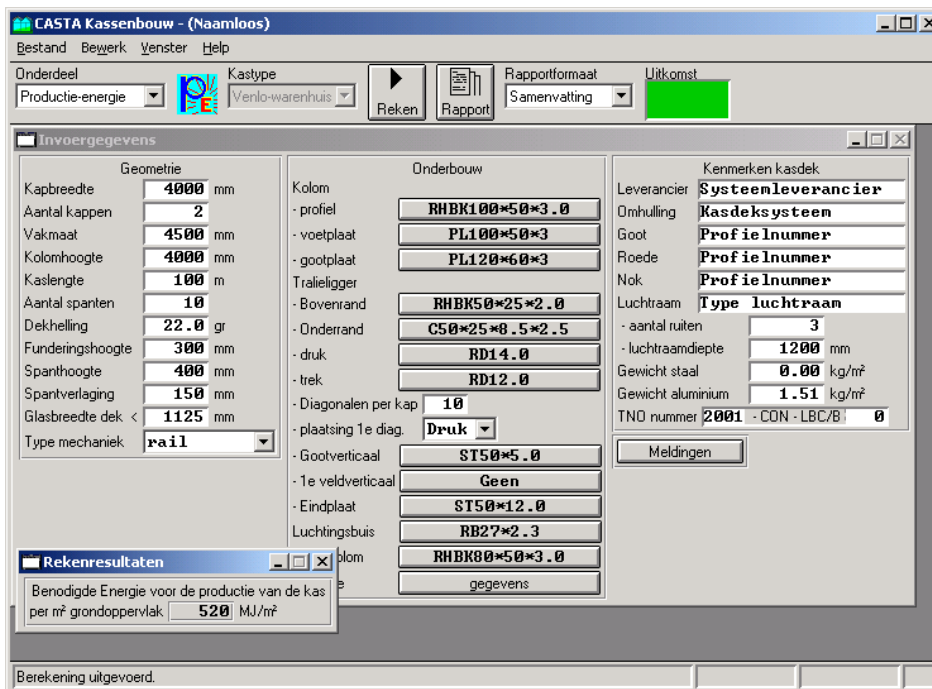
Figuur 3: Berekening van de U-waarde met CASTA/Kassenbouw

4. Productie energie

Voor de bepaling van de benodigde productie-energie van de kas zijn de benodigde materiaalmoevelheden nodig alsmede de energie-inhoud van de gebruikte materialen. Evenals bij de andere Energie-indicatoren is er een splitsing gemaakt tussen het kasdek en de onderbouw van de kas. De benodigde materiaalmoevelheden van het kasdek worden door de kasdekleverancier bepaald en kunnen door de gebruikers van CASTA/Kassenbouw ingevoerd worden. CASTA/Kassenbouw berekent de materiaalmoevelheden van de onderbouw van de kas en combineert deze gegevens tot de energie-inhoud van de complete kas. De berekeningsmethode in CASTA/Kassenbouw heeft de volgende beperkingen:

- De productie energie van de gevel wordt niet meegenomen
- De methode kan vooralsnog alleen gebruikt worden voor met (gecoat) glas omhulde kassen.

Hieronder is een voorbeeldberekening van de productie energie in CASTA/Kassenbouw weergegeven.



Figuur 4: Bepaling van de productie-energie van de complete kas met CASTA/Kassenbouw

5. Ventilatie opening

De complete methodiek voor de bepaling van de ventilatie opening van de kas is ingebouwd in CASTA/Kassenbouw. De berekeningsmethodiek komt overeen met de methode zoals voorgesteld in de Europese kassenbouwnorm (EN 103031-1).

In de onderstaande afbeelding is een voorbeeldberekening weergegeven. Er is gekozen voor een doorlopend luchtraam. CASTA/Kassenbouw is geschikt voor het bepalen van de ventilatie opening van tweeruits, drieruits en doorlopende luchtramen. Ook het al dan niet toepassen van luchtramen ter plaatse van de kopgevels kan in de berekening worden meegenomen.

The screenshot displays the 'CASTA Kassenbouw - (Naamloos)' software interface. The main window is titled 'Invoergegevens' (Input Data) and is divided into two columns: 'Geometrie' (Geometry) and 'Luchtramen (doorlopend)' (Glazing (continuous)).

Geometrie (Geometry) parameters:

- Kapbreedte: 4000 mm
- Aantal kappen: 2
- Vakmaat: 4500 mm
- Kolomhoogte: 4000 mm
- Kaslengte: 100 m
- Aantal spanten: 10
- Dekhelling: 22.0 gr
- Funderingshoogte: 300 mm
- Spanthoogte: 400 mm
- Spantverlaging: 150 mm
- Glasbreedte dek <: 1125 mm
- Glas kopgevel <: 800 mm
- Glas zijgevel <: 750 mm
- Type mechaniek: doorlopend

Luchtramen (doorlopend) parameters:

- In de kap
 - lengte: 88 m
 - luchtraamopening: 1200 mm
 - zwaaihoek: 44.0 gr
 - aantal: 2

Rekenresultaten (Calculation Results) summary:

- Grondoppervlak van een kap: 400 m²
- Ventilatieoppervlak: 148 m²
- Capaciteit per kaplengte: 37.04 %

The interface also includes a menu bar (Bestand, Bewerk, Venster, Help), a toolbar with buttons for 'Optimaliseer', 'Reken', and 'Rapport', and a 'Uitkomst' (Output) field showing 'Samenvatting' (Summary).

Figuur 5: Bepaling van de ventilatie opening met CASTA/Kassenbouw

Bijlage I: Berekeningen energiebalans voor tomatenbedrijf

Bijlage J: Workshop Energie II