

A
1
00
4
83

Simulatie van het CO₂-verbruik in de glastuinbouw

Modelopzet

G. Houter

februari 1988

Proefstation voor Tuinbouw onder Glas
Naaldwijk

Intern verslag 06

Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek
Wageningen

222 0600

INHOUDSOPGAVE

DEFINITIES

1. INLEIDING	1
2. BESCHRIJVING VAN MODEL MET MODULES	2
2.1. Globaal schema	2
2.2. Overzicht modelstructuur	3
2.3. Detaillering van modelstructuur	4
3. BESCHIKBARE MODULES	15
4. INVENTARISATIE VAN DATABESTANDEN MET KLIMAATGEGEVENS	18
BIJLAGE: Brief van Breuer aan Nederhoff	

DEFINITIES

dampdrukdeficit: verschil tussen verzadigde en actuele dampdruk.

gasbehoefte: hoeveelheid aardgas in $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ per tijdseenheid.

gebruikers parameters: simulatieelementen die door de gebruiker veranderd kunnen worden, bijv. gewas, temperatuurregime, warmteuitrusting.

kasinhoud: kaslucht+gewas+bodemoppervlak. Aangenomen wordt dat deze drie objecten niet in temperatuur van elkaar verschillen.

module: funktie of subroutine.

permanente parameters: simulatieelementen die niet door de gebruiker veranderd kunnen worden, bijv. max. fotosynthese, lichtefficiëntie.

simulatieelementen: elementen zoals gewas, LAI, verwarmingsuitrusting en temperatuurregimes waarmee de simulatiesituatie wordt gekenmerkt. De waarde van de simulatieelementen wordt d.m.v. COMMON-blocks aan het overige deel van het model doorgegeven.

simulatiesituatie: uitgangssituatie waarvoor de simulatie wordt uitgevoerd, beschreven door simulatieelementen.

situatiefile: file met waarden van simulatieelementen

ventilatietemperatuur: temperatuur van kasinhoud waarboven geventileerd wordt (raamstand > 0).

ventilatietraject: temperatuurtraject waarbinnen het openen van de luchtramen van 0 tot 100 % wordt gerealiseerd.

verwarmingstemperatuur: temperatuur van kasinhoud waaronder het verwarmingssysteem voor extra warmteaanvoer zorgt.

verwarmingsuitrusting: installatie waarmee in de warmtebehoefte kan worden voorzien zoals ketel, restwarmte, warm water uit opslagtank.

warmtebehoefte: hoeveelheid warmte in $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ die nodig is volgens het gekozen temperatuurregime.

1. INLEIDING

De modelopzet voor de simulatie van het CO₂-verbruik in de glastuinbouw die in deze notitie is beschreven, zal als leidraad dienen voor de ontwikkeling van het model (hoofdstuk 2). In de beschreven opzet wordt m.n. aandacht geschonken aan het algoritme waarmee warmte- en CO₂-verbruik en produktie worden berekend voor op te geven gewas, kas, verwarmings-uitrusting en aan te houden kasklimaat (temperatuur- en CO₂-regime).

Tevens wordt een overzicht van de beschikbare modules c.q. programmatuur gegeven (hoofdstuk 3).

Tot slot volgt er een overzicht van de beschikbare en bruikbare bestanden met klimaatgegevens (hoofdstuk 4).

Het simulatiemodel wordt geschreven in Fortran, zal een modulaire opbouw hebben en moet interactief, door niet-ingewijden, gerund kunnen worden. Aangenomen wordt dat het gewas vanaf een op te geven dag zonder aanlooffase stationair produceert.

Het model wordt Top-Down verfijnd. Per trap van verfijning wordt een overzicht van naam, functie en in- en output gegeven. De keuze voor de wijze van verfijning van enkele trappen wordt in het kort gemotiveerd.

2. BESCHRIJVING VAN MODEL MET MODULES

2.1. Globaal schema

programma: CO2-model
functie: Berekenen van fysieke en economische kengetallen m.b.t. produktie en CO2- en warmteverbruik, a.d.h.v. op te geven gewas, kas, verwarmingsuitrusting en aan te houden kasklimaat.
input: Kengetallen van gewas, kas, verwarmingsuitrusting, aan te houden kasklimaat en namen van datafiles met gegevens over buitenklimaat en met economische gegevens. Dit gebeurt via een interface (module voor het interaktief invoeren van deze gegevens). Vervolgens worden de datafiles ingelezen.
output: Fysieke en economische kengetallen m.b.t. produktie en CO2- en warmteverbruik.
auteur: Bert Houter
datum: 3 december 1987

PROGRAM CO2_MODEL

*(1): opgeven van simulatiesituatie (OPTIES)
*(2): inlezen van datafiles (LEESIN)
*(3): simulatieberekeningen (SIMBER)
*(4): wegschrijven van simulatieresultaten (WEGSCH)
END (* CO2_MODEL *)

2.2. Overzicht modelstructuur

PROGRAM CO2_MODEL

```

*(1): opgeven van simulatiesituatie (OPTIES)
  (1.1): vraag om naam van oude situatiefile en lees
         situatiedata in; indien geen oude situatie-
         filenaam wordt opgegeven, wordt de standaard-
         situatie gebruikt.
  (1.2): wijzigen van situatie
    (1.2.1): geef overzicht van groepen van elementen
    (1.2.2): vraag gebruiker in welke groep
              wijzigingen moeten worden aangebracht.
    (1.2.3): roep module aan waarmee de elementen
              van de groep gewijzigd kunnen worden.
              Hierbij beveiligen op niet-realistische
              waarden van parameters.
  (1.3): indien geen wijzigingen meer nodig zijn, kan de
         situatie opgeslagen worden in een op te geven
         situatiefile.
  (1.4): set aan de hand van de opgegeven situatie de
         overige parameters (permanente parameters).

*(2): inlezen van datafiles (LEESIN)

*(3): simulatieberekeningen (SIMBER)
  (3.1): berekening zonsopkomst en -ondergang (ZONBER)
  (3.2): berekening setpoints kastemperatuur
         (kasklimaatregeling; SETTEMP)
  (3.3): berekening kasklimaat (fysisch kasmodel; FYSKAS)
    (3.3.1): berekening van stralingsniveau in kas
              (RADIN)
    (3.3.2): berekening van temperatuur kasdek
              (KASDEK)
    (3.3.3): berekening van vochthuishouding kaslucht
              (VOCHTHH)
              (3.3.3.1): berekening van transpiratie
                        (TRANSP)
  (3.4): berekening CO2-setpoints (SETCO2)
  (3.5): berekening warmte- en CO2-voorziening (WARMC02)
    (3.5.1): berekening CO2-verbruik door gewas
              (gewasmodule; GEWAS)
    (3.5.2): berekening CO2 afkomstig van verbranding
              (GASCO2)
    (3.5.3): berekening CO2-verliezen t.g.v.
              ventilatie (VENC02)
    (3.5.4): berekening van CO2-concentratie in kas
              (STATCO2)
  (3.6): berekening van oogstbare produktie (KGPROD)
  (3.7): verwerking van resultaten (RESULT)

*(4): wegschrijven van simulatieresultaten (WEGSCH)
END (* CO2_MODEL *)

```

2.3. Detaillering van modelstructuur

***(1): opgeven van simulatiesituatie (OPTIES)**

naam: OPTIES
 functie: interactief binnenhalen van uitgangssituatie voor de simulatie
 input: waarden van gebruikers parameters
 output: simulatiesituatie (waarden van parameters, die middels COMMON-statements aan overige deel van model bekend worden gemaakt).

- *(1.1): vraag om naam van oude situatiefile en lees situatie-data in; indien geen oude situatiefilenaam wordt opgegeven, wordt de standaardsituatie gebruikt.
- *(1.2): wijzigen van situatie
 - (1.2.1): geef overzicht van groepen van elementen.
 - (1.2.2): vraag gebruiker in welke groep wijzigingen moeten worden aangebracht.
 - (1.2.3): roep module aan waarmee de elementen van de groep gewijzigd kunnen worden. Hierbij beveiligen op niet-realistische waarden van parameters.
- *(1.3): indien geen wijzigingen meer nodig zijn, kan de situatie opgeslagen worden in een op te geven situatiefile.
- *(1.4): set aan de hand van de opgegeven situatie de overige parameters (permanente parameters).

Vanuit de module OPTIES kunnen interactief modules worden aangeroepen waarmee de uitgangssituatie voor de simulatie kenbaar kan worden gemaakt. De kengetallen van de uitgangssituatie, de zgn. gebruikers parameters, worden opgeslagen in een file zodat bij een nieuwe run van het model niet alles opnieuw moet worden ingevoerd. Eventueel kunnen wijzigingen in de opgeslagen uitgangssituatie worden aangebracht, die dan vervolgens onder een nieuwe naam kan worden weggeschreven. Ook kan een standaarduitgangssituatie worden aangeroepen. De uitgangssituatie wordt in groepen van elementen onderverdeeld. Aan de hand van de opgegeven situatie worden automatisch de grootte van enkele andere parameters bepaald, de zgn. permanente parameters. Dit zijn parameters, bijv. gewasafhankelijke kengetallen m.b.t. de fotosynthese, die niet direkt interactief veranderd kunnen worden. Door het veranderen van het gekozen gewas (bijv. tomaat i.p.v. komkommer) veranderen automatisch alle gewasafhankelijke parameters.

Overzicht van de groepen met simulatieelementen die interactief gewijzigd kunnen worden:

- a. kaseigenschappen:
 - orientatie van kas t.o.v. noord-zuid
 - kashoogte
 - verhouding tussen beteeld en onbeteeld oppervlak
 - transmissiecoëfficiënt van kasdek voor diffuse straling
 - reflectiecoëfficiënt van bodemoppervlak voor diffuse straling
- b. gewaseigenschappen:
 - soort gewas (komkommer/tomaat)
 - LAI
 - begintijdstip van produktie
- c. verwarmingsuitrusting:
 - gebruik restwarmte of aardgas
 - aanwezigheid warmwatertank (ja/nee) en evt. capaciteit
- d. setpoints m.b.t. temperatuurregime:
 - verwarmingstemperatuur (dag/nacht)
 - ventilatietemperatuur (dag/nacht)
 - ventilatie-traject
 - minimum buistemperatuur
 - lichtinvloeden op ventilatie- en verwarmingstemperatuur
- e. CO₂-dosering:
 - regime
 - niveau(s)
 - aanvullend zuivere CO₂ doseren (ja/nee)
- f. datafile:
 - weer (buitenklimaat)
- g. economische gegevens:
 - prijsverloop van oogstbare produkten
 - prijzen van aardgas en zuiver CO₂
 - kosten die samenhangen met toename van produktie
- h. verwerkingsmethode:
 - simulatieperiode
 - wijze van weergave van resultaten
 - bijv. van dag, week, maand, seizoen of jaar,
 - en opslaan van resultaten in files of/en weergeven op beeldscherm

Wanneer geen specifieke waarden worden opgegeven, wordt de standaard situatie gebruikt. Deze is als volgt opgebouwd:

- a. gemiddelde waarden van een Venlo-warenhuis
- b. producerend komkommengewas met bep. LAI en bep. begindatum voor oogst
- c. aardgas, zonder warmtetank
- d. vaste verwarmings- en ventilatietemperaturen
- e. vaste CO₂-setpoints voor dag en nacht
- f. vaste datafile met klimaatgegevens
- g. bepaalde files met economische gegevens
- h. bepaalde periode met standaardoutput

De groep van de permanente parameters omvat bijvoorbeeld:

- kengetallen m.b.t. bladfotosynthese
- gegevens over distributie van assimilaten (% naar oogstbare delen)
- tijd tussen vruchtzetting en oogst

***(2): inlezen van datafiles (LEESIN)**

naam: LEESIN (LEES datafiles IN)
 functie: inlezen van opgegeven datafiles met klimaatgegevens
 en economische data
 input: namen van in te lezen datafiles
 output: arrays met data

De module LEESIN leest de onder (1) opgegeven datafiles in. De klimaatgegevens komen in array(s) te staan; voor de economische gegevens (prijsverwachting) moet nog worden bekeken hoe dit aangepakt gaat worden (in een array of m.b.v. een relatie).

***(3): simulatieberekeningen (SIMBER)**

naam: SIMBER (SIMulatie BERekeningen)
 functie: uitvoeren van simulatieberekeningen
 input: simulatiesituatie (via COMMON-blocks)
 simulatieperiode (via COMMON-blocks)
 arrays met klimaat- en economische gegevens
 output: nader te bepalen kengetallen m.b.t. produktie en CO2-
 en warmteverbruik

De module SIMBER voert de simulatieberekeningen elk uur uit voor de opgegeven simulatiesituatie, -periode en met de opgegeven datafiles.

De module SIMBER is op te delen in:

- * (3.1): berekening zonsopkomst en -ondergang (ZONBER)
- * (3.2): berekening setpoints kastemperatuur
 (kasklimaatregeling; SETTEMP)
- * (3.3): berekening kasklimaat (fysisch kasmodel; FYSKAS)
- * (3.4): berekening CO2-setpoints (SETCO2)
- * (3.5): berekening warmte- en CO2-voorziening (WARMC02)
- * (3.6): berekening van oogstbare produktie (KGPROD)
- * (3.7): verwerking van resultaten (RESULT)

In detail:

***(3.1): berekening zonsopkomst en -ondergang (ZONBER)**

naam: ZONBER (BERekening ZONsopkomst en -ondergang)
 functie: berekening van zonsopkomst en -ondergang
 input: dagnummer
 output: tijdstip van zonsopkomst en -ondergang

Voor berekening van de temperatuursetpoints zijn de tijdstippen van zonsopkomst en -ondergang van belang. Eens per dag zullen die tijdstippen door ZONBER worden berekend. Dit wordt berekend voor een plaats in Nederland (geografische gegevens).

***(3.2): berekening setpoints kastemperatuur (kasklimaat-regeling; SETTEMP)**

naam: SETTEMP (SET kasTEMPeratuur)
 functie: berekening van setpoints voor verwarming en ventilatie
 input: dagnummer
 tijdstip op dag
 momentane instraling (buiten kas)
 tijdstippen van zonsopkomst en -ondergang
 output: setpoints voor verwarming en ventilatie

De module voor de kasklimaatregeling, SETTEMP, bepaalt de verwarmings- en ventilatiesetpoints. Dit zijn resp. de temperaturen van de kasinhoud waaronder verwarmd en waarboven geventileerd wordt. Die temperaturen kunnen afhankelijk zijn van het tijdstip op de dag en van het seizoen. De verwarmings-temperatuur kan tevens afhankelijk zijn van de instraling. De keuze van het temperatuurregime is gemaakt bij de vaststelling van de uitgangssituatie onder (1).

***(3.3): berekening kasklimaat (fysisch kasmodel; FYSKAS)**

naam: FYSKAS (FYSisch KASmodel)
 functie: berekening van kasklimaat, ventilatievoud en warmtebehoefte
 input: globale straling buiten kas
 windsnelheid
 hemeltemperatuur
 temperatuur van buitenlucht
 dampdruk buitenlucht
 setpoints voor verwarming en ventilatie
 tijdstip (uur, dagnummer)
 output: stralingsniveau in kas
 temperatuur van kasinhoud
 ventilatievoud/raamstand
 warmtebehoefte
 stomataire weerstand

De module voor het fysisch kasmodel, FYSKAS, berekent de warmtebehoefte die nodig is om de inhoud van de kas op de gewenste temperatuur (verwarmingstemperatuur) te houden in een stationaire situatie. Een stationaire situatie wil zeggen dat de berekende warmteuitwisselingen tussen bijv. kasinhoud en kasdek, en tussen kasdek en buitenlucht constant zijn (evenwichtssituatie).

Bij een stationaire situatie is de netto-warmteflux van de inhoud van de kas (kaslucht, gewas en bodem) gelijk aan nul. De netto-warmteflux van de kasinhoud is als volgt gedefinieerd:

netto-warmteflux kasinhoud = input - output

input = instraling (globale straling)
+ verwarming

output = overdracht van warmte van kaslucht aan kasdek door convectie
+ overdracht door warmtestraling van gewas en bodem aan kasdek
+ warmteflux door ventilatie (incl. lekkage) van voelbare warmte
+ transpiratie door gewas (omzetting warmte in latente warmte)

Hierbij is verondersteld dat:

- temperatuur van kaslucht, bodemoppervlak en gewas aan elkaar gelijk zijn;
- warmteafgifte door verwarming geheel ten goede komt aan kasinhoud (dus geen warmtestraling van verwarmingspijpen naar kasdek).

Allereerst wordt de netto-warmteflux van de kasinhoud berekend bij een temperatuur van de kasinhoud gelijk aan de verwarmingssetpoint. Indien de netto-warmteflux negatief is, moet het verwarmingssysteem zorgen voor de aanvoer van extra warmte.

Bij een positieve netto-warmteflux is de temperatuur van de kasinhoud hoger dan de verwarmingstemperatuur en eventueel zelfs hoger dan de ventilatietemperatuur. In de volgende iteratie wordt de veronderstelde temperatuur van de kasinhoud verhoogd en wordt opnieuw de netto-warmteflux berekend. De temperatuur van de kasinhoud en evt. de raamstand worden net zo lang iteratief bijgesteld tot dat een stationaire situatie wordt bereikt.

Binnen FYSKAS worden enkele modules aangeroepen waarin de grootte van enkele kengetallen worden berekend, die belangrijk zijn voor de netto-warmteflux van de kasinhoud.

De berekening van de instraling in de kas vindt plaats in de module RADIN. De grootte van de warmteoverdracht door convectie en door warmtestraling van de kasinhoud naar het kasdek wordt mede bepaald door de temperatuur van het kasdek. Die temperatuur wordt berekend in de module KASDEK. De transpiratie volgt uit berekeningen in de module VOCHTHH.

Bij het aanhouden van een minimum buistemperatuur is de grootte van de warmteaanvoer van de pijpen te berekenen. Deze flux maakt deel uit van de netto-warmteflux van de kasinhoud. Daardoor zal temperatuur van de kasinhoud eerder de ventilatietemperatuur bereiken. Bij het hanteren van een minimum raamstand zal de warmteafvoer door ventilatie groter zijn, waardoor de warmtebehoefte toe zal nemen.

De hierboven beschreven klimaatregeling vindt plaats op grond van de temperatuur van de kasinhoud. Regeling van het kas-klimaat op grond van de luchtvochtigheid (of dampdrukdeficit) kan echter niet rechtstreeks met dit algoritme. Daartoe moet om de berekening van temperatuur van de kasinhoud een extra loop worden geschreven, waarin bijv. de minimum buistempe-
 ratuur iteratief zo aangepast kan worden dat de luchtvochtig-
 heid niet boven een in te stellen waarde uitkomt. Vooralsnog
 wordt hier geen rekening mee gehouden.

Overzicht van de modules binnen FYSKAS:

***(3.3.1): berekening van stralingsniveau in kas (RADIN)**

naam: RADIN (RADiation IN kas)
 functie: berekening van stralingsniveau in kas
 input: globale straling buiten kas
 tijdstip (uur, dagnummer)
 output: stralingsniveau in kas

***(3.3.2): berekening van temperatuur kasdek (KASDEK)**

naam: KASDEK
 functie: berekening van temperatuur van kasdek
 input: globale straling buiten kas
 windsnelheid
 hemeltemperatuur
 temperatuur van buitenlucht
 temperatuur van kasinhoud
 output: temperatuur kasdek
 warmteflux van kasinhoud naar kasdek

De temperatuur van het kasdek is o.a. bepalend voor de mate van warmteafgifte van kasinhoud aan kasdek, en wordt zelf mede bepaald door de afgifte van warmtestraling van kasdek aan hemel en door de convectieve overdracht van warmte van kasdek aan de buitenlucht.

De temperatuur van het kasdek zal iteratief worden berekend uitgaande van een evenwichtstoestand waarbij warmteafgifte van kasinhoud aan kasdek door convectie, warmtestraling en condensatie gelijk is aan warmteafgifte van kasdek aan buitenlucht en hemel. Omdat bij de berekening van de kasdektemperatuur de dampdruk van de kaslucht nog niet bekend is (berekening vindt in (3.3.3) plaats), wordt gewerkt met de dampdruk die berekend is voor het voorafgaande tijdstip.

***(3.3.3): berekening van vochthuishouding kaslucht (VOCHTHH)**

naam: VOCHTHH (VOCHTHuisHouding)
 functie: berekening van dampdruk van kaslucht en daarmee
 van transpiratie en stomataire weerstand
 input: temperatuur kasinhoud
 temperatuur kasdek
 stralingsniveau in kas
 ventilatievoud
 dampdruk buitenlucht
 output: transpiratie
 stomataire weerstand
 dampdruk kaslucht (dampdrukdeficit)

Bij de aanname dat de dampdruk van de kaslucht stationair is, geldt:

$\text{transpiratie} = \text{condensatie (kasdek)} + \text{vochtafvoer (ventilatie)}$

De transpiratie is afhankelijk van de stomataire weerstand en van het dampdrukdeficit (verzadigde - actuele dampdruk van kaslucht). Ook de condensatie en de afvoer van vocht door ventilatie is afhankelijk van de dampdruk. Daarom kan de dampdruk van de kaslucht alleen d.m.v. iteratieve berekeningen worden bepaald.

De berekening van de transpiratie vindt plaats in de module TRANSP (TRANSPiratie).

***(3.3.3.1.): berekening van transpiratie (TRANSP)**

naam: TRANSP (TRANSPiratie)
 functie: berekening van transpiratie en stomataire weerstand
 input: dampdrukdeficit
 stralingsniveau in kas
 output: stomataire weerstand
 transpiratie

De transpiratie is afhankelijk van het dampdrukdeficit (berekend in module VOCHTHH) en van de stomataire weerstand. In het model wordt aangenomen dat de stomataire weerstand alleen bepaald wordt door het stralingsniveau in de kas. Daarmee wordt de invloed van de CO₂-concentratie op de stomataire weerstand verwaarloosd. Bij CO₂-concentraties tot 800 ppm is deze aanname geoorloofd. Verder wordt de invloed van de waterstatus van het gewas op de stomataire weerstand verwaarloosd.

n.b.: Ter verduidelijking van het voorafgaande:

De temperatuur van de kasinhoud wordt iteratief berekend (3.3). Binnen die berekening worden ook de temperatuur van het kasdek (3.3.2) en de dampdruk van de kaslucht (3.3.3) iteratief berekend.

***(3.4): berekening CO2-setpoints (SETCO2)**

naam: SETCO2 (SETpoints CO2)
 functie: berekening van CO2-setpoints
 input: tijdstippen van zonsopgang en -ondergang
 tijdstip op dag
 windsnelheid/ventilatievoud
 output: CO2-setpoint

De module SETCO2 berekent de gewenste CO2-concentratie van de kaslucht afhankelijk van het onder (1) opgegeven CO2-regime.

Voorbeelden van mogelijke CO2-regimes (alleen gedurende lichte uren):

- a. geen CO2-toediening
- b. CO2-dosering tot bep. niveau (onafhankelijk van raamstand)
- c. als b tot bep. raamstand, daarboven geen aanvullende dosering
- d. als b tot bep. vent.voud, daarboven geen aanvullende dosering
- e. CO2-dosering afhankelijk van raamstand (bijv. lineair verband)
- f. CO2-dosering afhankelijk van vent.voud (bijv. lineair verband)
- g. CO2-dosering afhankelijk van tijdstip op dag
- h. CO2-dosering afhankelijk van seizoen
- i. CO2-dosering afhankelijk van verscheidene factoren
- j. CO2-dosering m.b.v. economische optimalisatie

Gestart zal worden met regime a en b. De berekeningen voor elk regime zullen in aparte modules worden ondergebracht.

***(3.5): berekening warmte- en CO2-voorziening (WARMC02)**

naam: WARMC02 (WARMte- en CO2-voorziening)
 functie: berekening van warmte- en CO2-voorziening
 input: warmtebehoefte
 stralingsniveau in kas
 temperatuur van kasinhoud
 stomataire weerstand
 CO2-setpoint
 ventilatievoud
 restant aan warmte in opslagtank
 output: gerealiseerde CO2-concentratie
 netto-fotosynthese
 verbruikte hoeveelheid zuivere CO2
 verstookte hoeveelheid gas
 verbruikte hoeveelheid energie (warmte)
 nieuwe voorraad in warmteopslagtank

De berekening van de warmte- en CO2-voorziening (WARMC02) is sterk afhankelijk van de bedrijfsuitrusting (aanwezigheid van warmwatertank, mogelijkheid voor zuivere CO2-dosering). Voor elke mogelijke situatie m.b.t. bedrijfsuitrusting c.q. regime zal een aparte module worden geschreven.

Binnen elke module wordt het CO2-verbruik door het gewas berekend door de module GEWAS. Verder worden de CO2-flux afkomstig van verbranding van aardgas en de CO2-flux naar buiten als gevolg van ventilatie berekend in resp. de modules GASCO2 en VENC02.

Centraal in elke module is de aanroep van de functie STATCO2 (STATIONaire CO2-concentratie) waarmee de evenwichts-concentratie van CO2 in de kas wordt berekend.

Zowel de grootte van de ventilatieverliezen als de grootte van de netto-fotosynthese is afhankelijk van de CO2-concentratie in de kas. De CO2-concentratie in de kas kan alleen iteratief worden berekend. Daardoor ontstaat een geneste structuur die voor de verschillende bedrijfsuitrustingen sterk van elkaar kan verschillen.

Binnen elke module wordt gebruik gemaakt van dezelfde modules (volgorde van aanroepen van 3.5.1 t/m 3.5.4 is afhankelijk van bedrijfsuitrusting), namelijk:

***(3.5.1): berekening CO2-verbruik door gewas (gewasmodule; GEWAS)**

naam: GEWAS
 functie: berekening netto-fotosynthese
 input: stralingsniveau in kas
 CO2-concentratie van kaslucht
 temperatuur van kasinhoud
 stomataire weerstand
 output: netto-fotosynthese

De gewasmodule GEWAS berekent het CO2-verbruik door het gewas (fotosynthese). De permanente parameters voor gewas- en plantenfysiologische eigenschappen die van belang zijn voor de netto-fotosynthese berekeningen zullen via COMMON-blocks in GEWAS bekend zijn.

***(3.5.2): berekening CO2 afkomstig van verbranding (GASC02)**

naam: GASC02 (omzetting van aardGAS in CO2)
 functie: berekent hoeveelheid CO2 afkomstig van verbranding van aardgas
 input: warmtebehoefte
 output: CO2 afkomstig van verbranding

***(3.5.3): berekening CO2-verliezen t.g.v. ventilatie (VENC02)**

naam: VENC02 (VENTilatie CO2)
 functie: berekent de CO2-verliezen t.g.v. ventilatie
 input: ventilatievoud
 CO2-concentratie in kas
 output: CO2-verliezen t.g.v. ventilatie

***(3.5.4): berekening van CO2-concentratie in kas (STATCO2)**

naam: STATCO2 (STATIONaire CO2-concentratie)
 functie: berekening van evenwichtsconcentratie van CO2 in kas
 input: CO2 afkomstig van verbrandingsgassen
 output: CO2-concentratie in kas

In de module STATCO2 wordt via iteratieve berekeningen de stationaire CO2-concentratie (evenwichtsconcentratie) in de kas bepaald.

Voor elke gestelde CO2-concentratie in de kas wordt de netto-CO2-flux berekend volgens:

$$\text{netto-CO2-flux} = \text{CO2gas} - \text{CO2ventilatie} - \text{CO2nettofotosynthese}$$

Afhankelijk van het teken en de grootte van de netto-CO2-flux wordt de gestelde CO2-concentratie bijgesteld. Hiervoor worden de modules GEWAS en VENC02 verscheidene malen binnen STATCO2 aangeroepen.

***(3.6): berekening van oogstbare produktie (KGPROD)**

naam: KGPROD (KG PRODUktie)
 functie: berekening van de hoeveelheid oogstbare produkten
 input: netto-fotosynthese
 output: kg oogstbare produkten

De hoeveelheid oogstbare produkten kan berekend worden uit de netto-fotosynthese. De gewasspecificaties worden via COMMON-blocks aan KGPROD bekend gemaakt.

***(3.7): verwerking van resultaten (RESULT)**

naam: RESULT (RESULTaten)
functie: verwerking van de simulatieresultaten
input: nader te bepalen, o.a. netto-fotosynthese, oogstbare
produktie, warmteverbruik, verloop van de hoeveelheid
warmte in de opslagtank, aardgasverbruik, CO2-
concentratie, temperatuur van de kasinhoud
output: nader te bepalen

In de module RESULT kunnen de simulatieresultaten van 1-uur waarden worden gegroepeerd en verder worden omgerekend tot bijv. daggemiddelde en financiële opbrengst over langere perioden.

***(4): wegschrijven van simulatieresultaten (WEGSCH)**

naam: WEGSCH (WEGSCHrijven)
functie: wegschrijven van de simulatieresultaten met de
gewenste layout
input: nader te bepalen
output: nader te bepalen

De module WEGSCH zal als laatste worden ontwikkeld en is sterk afhankelijk van de vraagstelling en de uitgangssituatie. De resultaten berekend onder (3.7) kunnen worden weggeschreven naar files zodat gemakkelijk plots daarvan kunnen worden gemaakt. Deze module zal pas in het tweede jaar ingevuld worden.

3. BESCHIKBARE MODULES

***(1): opgeven van simulatiesituatie (OPTIES)**

Gestart zal worden met een zeer eenvoudige module die in de toekomst verfijnd kan worden tot een gebruikersvriendelijke interface (met menu's). Voor het maken van menu's en het wegschrijven van opgegeven data is een voorbeeld beschikbaar (onderzoek Gijzen). Vooralsnog zal hier geen hoge prioriteit aan worden gegeven.

***(2): inlezen van datafiles (LEESIN)**

Voor het inlezen van de klimaatgegevens van een databestand is een subroutine beschikbaar (onderzoek Gijzen) dat als voorbeeld kan dienen of dat letterlijk overgenomen kan worden. Voor andere datafiles met klimaatgegevens zal het inlezen waarschijnlijk geen grote problemen opleveren. Hoe de economische gegevens m.b.t. prijsverwachting zullen worden ingelezen is afhankelijk van de structuur van deze gegevens (array of relatie). Dit zal later worden bepaald.

***(3): simulatieberekeningen (SIMBER)**

***(3.1): berekening zonsopkomst en -ondergang (ZONBER)**

Hiervoor zijn enkele relaties beschikbaar (onderzoek Goudriaan en ISSO-rapport).

***(3.2): berekening setpoints kastemperatuur (kasklimaat regeling; SETTEMP)**

Voor een eenvoudige kasklimaatregeling zijn enkele relaties beschikbaar (Naamgegevensproject klimaatcomputers). Later kan een en ander in overleg worden verfijnd.

***(3.3): berekening kasklimaat (fysisch kasklimaat; FYSKAS)**

Voor de berekening van de warmteuitwisseling tussen kasinhoud en kasdek, tussen kasdek en buitenlucht, tussen kasdek en hemel, en de warmteuitwisseling als gevolg van ventilatie zijn relaties beschikbaar (onderzoek Natuur- en Weerkunde door Bot en De Jong).

***(3.3.1): berekening van stralingsniveau in kas (RADIN)**

Voor de berekening van de hoeveelheid instraling in kas kan gebruik worden gemaakt van bestaande modules (onderzoek van Bot en Gijzen).

***(3.3.2): berekening van temperatuur kasdek (KASDEK)**

Voor de berekening van de warmtestralinguitwisseling tussen kasdek en hemel is de hemeltemperatuur (of netto-straling) van belang. Echter in geen van de datafiles met klimaatgegevens is de hemeltemperatuur of de netto-straling opgenomen. Hiervoor is nog geen pasklare oplossing gevonden.

***(3.3.3): berekening van vochthuishouding (VOCHTHH)**

en

***(3.3.3.1): berekening van transpiratie (TRANSP)**

De relaties voor de berekening van de transpiratie en voor de lichtafhankelijkheid van de stomataire weerstand zijn beschikbaar (doct. onderzoeken van Marcelis en Houter).

***(3.4): berekening CO₂-setpoints (SETCO₂)**

Gestart zal worden met de twee meest eenvoudige regimes voor CO₂-dosering.

Met het opstellen van een algoritme voor de bepaling van het CO₂-setpoint voor die twee regimes worden geen grote problemen verwacht. De volgende regimes zullen pas later worden ingebracht (ieder regime in een aparte module).

***(3.5): berekening warmte- en CO₂-voorziening (WARMCO₂)**

De warmte- en CO₂-voorziening is het cruciale punt van het model, namelijk de CO₂-behoefte versus de warmtebehoefte en de CO₂-beschikbaarheid.

De algoritmen hiervoor zijn tamelijk gecompliceerd, daarom zal voor elke situatie een aparte module worden opgesteld. Gestart zal worden met de situatie zonder warmteopslag en geen zuiver CO₂-toediening. Elke module zal voldoende getest moeten worden.

***(3.5.1): berekening CO₂-verbruik door gewas (gewasmodule; GEWAS)**

De berekening van de netto-fotosynthese kan met bestaande programmatuur gebeuren (onderzoek Gijzen). Er zal nog moeten worden bekeken in hoeverre bepaalde constanten van de fotosynthese (bijv. lichtefficiëntie) voor komkommer of voor tomaat aangepast moeten worden.

***(3.5.2): berekening CO₂ afkomstig van verbranding (GASCO₂)**

Voor de berekening van CO₂ afkomstig van verbranding van aardgas zijn eenvoudige relaties beschikbaar.

***(3.5.3): berekening CO₂-verliezen t.g.v. ventilatie (VENC02)**

Voor de berekening van de ventilatieverliezen aan CO₂, als de ventilatie bekend is, zijn eenvoudige relaties beschikbaar.

***(3.5.4): berekening van CO₂-concentratie in kas (STATCO₂)**

Het algoritme voor de bepaling van de CO₂-concentratie in de kas moet nog worden opgesteld. Hierbij worden geen grote problemen verwacht.

***(3.6): berekening van oogstbare produktie (KGPROD)**

Van de beschikbare assimilaten komt bij komkommer ongeveer 72% in de vruchten terecht (onderzoek Mulders). Die assimilaten zijn niet meteen oogstbaar. Hiervoor is de duur van de periode van vruchtzetting (bij tomaat) en bloei (bij komkommer) tot oogst, en de assimilatenverdeling naar bepaalde vrucht binnen die periode van belang. Misschien bieden de resultaten van het onderzoek van Marcelis in de toekomst aanknopingspunten voor deze verdere verfijning van de assimilatenverdeling. De noodzakelijke mate van detaillering van de fysieke opbrengst is afhankelijk van de gedetailleerdheid van de economische gegevens (prijsverwachting). Indien de gemiddelde veilingprijzen per week beschikbaar zijn, dan is het niet noodzakelijk om de fysieke opbrengst binnen een week nauwkeurig te schatten.

***(3.7): verwerking van resultaten (RESULT)**

en

***(4): wegschrijven van simulatieresultaten (WEGSCH)**

Deze twee modules zullen later in overleg met de gebruikersgroep worden ingevuld.

4. INVENTARISATIE VAN DATABESTANDEN MET KLIMAATGEGEVENS

bestaande bestanden:

1. IMAG: 12 dagen waarbij iedere dag 1 maand voorstelt voor De Bilt. Een dag bevat het gemiddelde dagverloop van een maand bepaald over een periode van 30 jaar werkelijke klimaatgegevens.
2. REF: werkelijke klimaatgegevens voor De Bilt van 1 april 1964 t/m 31 maart 1965 (365 dagen). Dit jaar bleek een representatief jaar te zijn.
3. VRJ: Verkort ReferentieJaar voor buitencondities vastgelegd in NEN5060. Dit is een bestand van klimaatgegevens dat gegenereerd is m.b.v. een klimaatmodel. Dit model heeft 4 seizoenen; elk seizoen bestaat uit 14 dagen.
4. SEL: voor tuinbouwtoepassingen geselecteerd bestand van 12 maanden (365 dagen) voor De Bilt uit periode 1971-1980 (jan '71, feb '73, mrt '74, april '80, etc.).
5. SELC: SEL-jaar, waarbij de globale straling met factor gedeeld moet worden, afhankelijk van de maand variërend van 0.855 t/m 1.055.
6. KNMI: groot aantal jaren beschikbaar.

Alle bestanden bevatten gegevens per uur.

bruikbaarheid:

In een ISSO-rapport zijn de resultaten beschreven van een onderzoek waarin de bovengenoemde bestanden (1 t/m 5) vergeleken met een 10-jarig KNMI-bestand. Gekeken is naar de totale jaarlijkse globale straling en de zonbelastingduurkromme, en naar de totale energiebehoefte van een voorbeeldkas en de jaarbelastingduurkromme daarvan. De bruikbaarheid van de bestanden voor het NEOM-project kan uit het volgende overzicht met plus- en minpunten van de bestanden worden afgeleid.

1. IMAG: zonbelastingduurkromme voldoet niet.
2. REF: bij 3 van de 12 maanden wijkt de totale hoeveelheid globale straling meer dan 10% af van de 10 jaar KNMI-gegevens. Met dit bestand wordt het jaarlijkse energiegebruik overschat.
3. VRJ: geen berekeningen per maand mogelijk; zonbelastingduurkromme geeft redelijk beeld.
4. SEL: jaarbelastingduurkromme zeer goed; zonbelastingduurkromme goed.
5. SELC: gevolgen van correctie zijn gering t.o.v. de resultaten van SEL.
6. KNMI: te omvangrijk voor simulatie, omdat dan een enkele jaren gebruikt moeten worden.

beschikbaarheid:

1. IMAG: op IMAG, bestemd voor HP-85. Toezegging voor evt. een copie.
2. REF: te bestellen bij TNO.
3. VRJ: op CABO aanwezig.
- 4/5. SEL/SELC: op CABO aanwezig. Omdat dit bestand met geldmiddelen van het Ministerie van Landbouw is gegene-reerd mag het bestand alleen binnen het Ministerie van Landbouw worden gebruikt (zie copie van schrijven van Breuer aan Nederhoff d.d. 9-11-1987).
6. KNMI: prijzig.

konklusie:

De testen van het model kunnen uitgevoerd worden met VRJ, waarmee een goed beeld van het verloop van de simulaties over een jaar kan worden verkregen. De definitieve simulaties kunnen gedaan worden met SEL, indien de simulaties niet te veel tijd vragen (SEL is 6.5 maal langer dan VRJ). Eventueel kan de globale straling van het SEL-bestand gecorrigeerd worden (SELC).

opbouw van bestanden:

VRJ: seizoennummer, dagnummer, uur van dag
 globale zonnestraling
 directe straling op horizontaal vlak
 diffuse straling
 directe straling op vlak loodrecht op zonnestralen
 relatieve zonneshijnduur
 temperatuur
 absolute luchtvochtigheid
 windsnelheid, windrichting
 zonshoogte, azimuth
 tijdstip van zonsopkomst en -ondergang
 max. zonneamplitude van die dag

SEL: jaar, maand, dag, uur
 temperatuur
 relatieve luchtvochtigheid
 dampdruk
 zonneshijnduur
 windrichting, windsnelheid
 luchtdruk
 neerslag
 globale straling
 directe straling op horizontaal vlak
 diffuse straling op horizontaal vlak

bronnen:

- J. Breuer (IMAG)
- ISSO-rapport: Energiegebruik in kassen berekend met verschillende bestanden klimaatgegevens.



Ministerie van Landbouw en Visserij
Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen
Institute of Agricultural Engineering

ansholtlaan 10-12
stadres: Postbus 43
00 AA Wageningen - Nederland
lefoon 08370-94911
legamadres: IMAG RESEARCH WAGENINGEN
lex 45330 CTWAG
ankrelatie: Algemene Bank Nederland
rekeningnummer 53.92.27.501
strekeningnummer 3514771

Proefstation voor Tuinbouw onder Glas
t.a.v. Ir. E. Nederhoff
Postbus 8
2670 AA NAALDWIJK

reikbaar met buslijnen 83 en 84
naf NS-station Ede-Wageningen

w schrijven d.d.

Uw kenmerk

Ons kenmerk
3784/Breuer/GvL

Dagtekening
1987-11-09

nderwerp Simulatie CO₂-verbruik

Doorkiesnr.

Geachte mevrouw Nederhoff,

Naar aanleiding van het onlangs ontvangen projectplan "Simulatie van het CO₂-verbruik in de glastuinbouw", een eerste gesprek met de heer B. Houter op 14 oktober j.l., enkele opmerkingen in onze brief (ref. 3784/Breuer/GV; d.d. 1987-09-17) en een gesprek met de heer Germing van de Directie Akkerbouw en Tuinbouw betreffende het gebruik van de weerdata-bestanden zouden wij het volgende onder uw aandacht willen brengen.

Er bestaan momenteel drie weerdata-bestanden, namelijk:

IMAG - KNMI-gegevens over '31/'60

(1 gemidd. dag/maand; 24 h/dag)

VRJ - Verkorte referentiejaar van TU-Delft

(14 dagen/seizoen; 24 h/dag)

SEL - "geSElecteerd" referentiejaar voor de glastuinbouw

(365 dagen/jaar; 24 h/dag)

IMAG-bestand (actuele geg. '31/'60)

Dit bestand is in uw project vrijelijk toepasbaar en verkrijgbaar bij het IMAG in de vorm van:

- data op papier weergegeven
- data op HP-85 cassette

VRJ-bestand (synthetische geg. - Nen 5060)

Dit bestand is in uw project vrijelijk toepasbaar en verkrijgbaar tegen kostprijs bij het ISSO in de vorm van:

- data op papier (rapportvorm ISSO-rapport 13)
- data op floppy (MS-DOS of CP/M-achtig)
- data op magneetband (t.b.v. Vax 750)

VRJ is ook bij het IMAG, tegen materiaalkosten verkrijgbaar in de vorm van:

- data op floppy (HP 9816)
- data op magneetband (t.b.v. Vax 750)

SEL-bestand (Referentiejaar voor de glastuinbouw; geselecteerde actuele geg. '71/'80)

Met betrekking tot het beschikbaarstellen van het bestand SEL zijn wij de mening toegedaan dat datagegevens welke met geldmiddelen van het Ministerie van Landbouw zijn gegenereerd weliswaar gebruikt kunnen worden in door derden gefinancierde projecten maar dat overdracht van dit bestand op zich gepaard zou moeten gaan met een aparte tegemoetkoming in de ontwikkelingskosten. Wij verzoeken u derhalve dit bestand uitsluitend voor gebruik binnen het Ministerie van Landbouw te reserveren.

Dit bestand is verkrijgbaar bij het ISSO, met toestemming van het IMAG, tegen kostprijs in de vorm van:

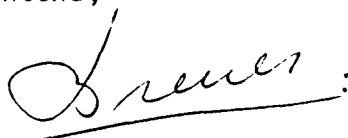
- data op floppy (MS-DOS-achtig)
- data op magneetband (t.b.v. Vax 750)

SEL is ook bij het IMAG, tegen materiaalkosten verkrijgbaar in de vorm van:

- data op floppy (HP 9816)
- data op magneetband (t.b.v. Vax 750)

Hopende u hiermee van dienst te zijn geweest.

Hoogachtend,



(Ing. J.J.G. Breuer)