

J G ANNANDALE
AJ VAN DER WESTHUIZEN
FC OLIVIER

DIE FASILITERING VAN TEGNOLOGIE OORDRAG
DEUR VERBETERDE BESPROEIINGSRIGLYNE
VIR GROENTE
EN
'N MEGANISTIESE
GEWASMODELERINGSBENADERING

Verslag aan die
WATERNAVORSINGSKOMMISSIE
deur die
DEPARTEMENT PLANTPRODUKSIE EN GRONDKUNDE
UNIVERSITEIT VAN PRETORIA
WVK VERSLAG No 476/1/96
ISBN 1 86845 223 9

INHOUDSOPGAW

	BESTUURSOPSOMMING	i
	DANKBETUIGINGS	ix
1	INLEIDING	1
2	DIE IDENTIFISERING VAN NAVORSINGSPRIORITEITE VIR HIERDIE PROJEK	4
2.1	Inleiding	4
2.2	Ondersoekprosedure	5
	Tegnieke	5
	Ewekansigheid van steekproewe	5
	Monstergroottes van steekproewe	5
	Vraelyste	5
2.3	Resultate en bespreking	6
	Algemene bestuur	6
	Kennis aangaande besproeiingskedulering	7
	Watervoorsiening	8
	Toepassing van besproeiingskedulering	9
	Kontrolering van toedieningshoeveelhede	14
	Funksionele doeltreffendheid van besproeiingstelsels	14
	Verwagte voordeel uit skedulering	15
	Redes wat deur boere verskaf is vir die feit dat hulle nie skeduleer nie ..	17
2.4	Gevolgtrekkings	19
2.5	Voorligtingkundige behoeftes geïdentifiseer	22
2.6	Navorsingsprioriteite geïdentifiseer vir hierdie projek	22

**AFDELING A: DIE FASILITERING VAN TEGNOLOGIE OORDRAG DEUR
VERBETERDE BESPROEIINGSRIGLYNE VIR GROENTE 24**

3	BESPROEIINGSRIGLYNE VIR GROENERTE	25
3.1	Inleiding	25
3.2	Ondersoekprosedure	25
	Prosedure vir die 1992-groenerte:	25
	Prosedure vir die 1993-groenerte:	27
3.3	Resultate en bespreking	28
	Waterverbruik en opbrengs	28
	Blaredak ontwikkeling	30
	Wortelontwikkeling	31
3.4	Gevolgtrekking en aanbevelings	33
3.5	Verwysings	33
4	BESPROEIINGSRIGLYNE VIR AGURKIES, BEET, GROENBONE, GEELWORTELS EN SUIKERMIELIES.	34
4.1	Inleiding	34
4.2	Doelstellings	34
4.3	Ondersoekprosedure	35
4.4	Resultate en bespreking	36
	Gewasfaktore	36
	Blaredakontwikkeling	40
4.5	Aanbevelings	43
4.6	Verwysing	44
5	PRAKTIESE BESPROEIINGSSKEDULERING MET BEHULP VAN MATRIKSPOTENSIAAL LESINGS	45
5.1	Inleiding	45
5.2	Beskrywing van die model	46
	Opstel van insetdata	47

	Data invoere	50
	Berekeninge	51
	Besproeiings aanbeveling	53
5.3	Model evaluering	53
5.4	Praktiese skedulering met TENSMOD en tensiometers	55
5.5	Gevolgtrekkings	58
5.6	Verdere ontwikkeling	58
5.7	Verwysings	59

6 NAVORSINGSBEHOEFTE GIDENTIFISEER BY

	FABRIEKSTAMATIES	60
6.1	Inleiding	60
6.2	Situasie ontleding	60
6.3	Navorsingsbehoefte	62
6.4	Verwysings	63

AFDELING B: DIE FASILITERING VAN TEGNOLOGIE OORDRAG DEUR 'N MEGANISTIESE MODELERINGSBENADERING 64

7	NEW SOIL WATER BALANCE : 'n MEGANISTIESE SIMULASIE MODEL VIR BESPROEIINGSKEDULERING.	65
7.1	Inleiding	65
7.2	Doel	66
7.3	Model beskrywing	66
7.4	Inset data benodig	70
7.5	Eksperimentele metodes	71
7.6	Model evaluering	73
7.7	Gevolgtrekkings	81
7.8	Verwysings	83

8	BEPALING VAN DIE TERMIESE TYD BENODIG VIR DIE ONTWIKKELING VAN GROENERTE	85
8.1	Inleiding	85
8.2	Doel	86
8.3	Ondersoekprosedure	86
	Groeikas-proewe	86
	Veldproewe	87
8.4	Resultate en bespreking	87
	Ontkieming	88
	Groeistadiums	92
	Vergelyking met veldproewe	94
8.5	Gevolgtrekkings	96
8.6	Verwysings	97
9	BEPALING VAN ATMOSFERIESE VERDAMPINGSAANVRAAG	98
9.1	Inleiding	98
9.2	Insameling van weerdata	98
	Hatfield	98
	Marble Hall	99
9.3	Berekening van atmosferiese verdampingsaanvraag	99
9.4	Verwysings	103
AFDELING C: GEVOLGTREKKINGS EN AANBEVELINGS		104
10	OPSOMMING VAN BYDRAË VAN HIERDIE PROJEK TOT DIE FASILITERING VAN TEGNOLOGIE-OORDRAG	105
10.1	Inleiding	105
10.2	Bespreking	106
	'n Tweerigting kommunikasiekanaal tussen navorsers en die groentebedryf . . .	106
	Die fasilitering van die toepassing van skedulering in die praktyk	107
	Nuwe besproeiingsriglyne vir sekere gewasse	108
	Verfyning van bestaande besproeiingsriglyne	108

	'n Rekenaarmodel vir praktiese skedulering met behulp van	
	matrikspotensiaallesings	109
	Ontwikkeling en programmering van die NEWSWB-skeduleringsmodel	109
	Kardinale temperature vir berekening van termiese tyd by groenerte	109
	Kortkursus in besproeiing vir landboukundiges.	110
	Bevordering van voorligting	110
10.3	Gevolgtrekking	110
10.4	Behoeftes geïdentifiseer wat verdere aandag vereis	111
	 BYLAAG A 1986 Vraelys	113
	 BYLAAG B 1993 Vraelys 1	129
	1993 Inligtingstuk	133
	1993 Vraelys 2	138
	 BYLAAG C Turbo Pascal bronkode vir die NEWSWB-Model	139

BESTUURSOPSOMMING

Die hoofdoelstelling van hierdie navorsingsprojek was *om die effektiewe gebruik van beskikbare besproeiingswater te bevorder, ten einde die koste/voordeel-verhouding van besproeiing vir die groenteproducent te optimaliseer*. Ten einde die oorhoofse doelstelling van die projek te bereik, is navorsingsprioriteite vir hierdie projek bepaal deur 'n situasie-analise in die Loskop besproeiingsgebied uit te voer.

Tydens die situasie-ontleding is bevind dat slegs sowat 5% van die boere in die Loskop besproeiingsgebied skedulering op hul somergewasse toepas, terwyl slegs sowat 11.5% hul wintergewasse skeduleer. Die behoefte om te skeduleer bestaan tans by nagenoeg 60% van die boere. Die belangrikste rede waarom so baie boere tans nie skeduleer nie en waarom soveel as 40% van die boere ook nie belangstel om te skeduleer nie, is omdat hul persepsie van die kostes en voordele van skedulering sodanig is dat hulle nie voldoende voordeel bo koste verwag nie. Die aanname word gemaak dat aangesien boere winste nastreef, hulle deur hul eie winsdoelwitte gemotiveer sal word om skedulering toe te pas, indien hulle 'n redelike voordeel bo koste sou verwag. Dit blyk uit die situasie-ontleding dat indien die finansiële waarde van die boere se verwagte opbrengsverhogings, waterbesparings en geleentheidskoste van die bespaarde water gekwantifiseer word, daar selfs by 'n gewas soos koring, wat relatief tot groentes 'n lae geleentheidskoste vir water het, wel 'n voordeel bo koste van nagenoeg R1000 per hektaar per jaar verwag kan word. Die verwagte voordeel bo koste is dus reeds positief, maar boere verwag nie hierdie voordeel nie omdat hulle dit nie finansiël gekwantifiseer het nie. Ten einde hierdie verkeerde persepsie reg te stel, sal boere die kostes en voordele van skedulering moet kwantifiseer. *Die huidige wanpersepsies by boere aangaande die finansiële implikasies van skedulering, behoort dus vanuit 'n voorligtingskundige kant ondersoek te word en die nodige aksies beplan en uitgevoer te word om die probleem op te los.*

Vanaf navorsingskant kan die voordeel bo koste vergroot word deur enersyds die kostes van skedulering te verlaag, terwyl daar ook gepoog kan word om die voordele van skedulering te verbeter.

Die belangrikste *kostes* van skedulering, wat deur navorsing verlaag kan word, is onder andere die volgende:

- * **Verlaging van kundigheidsvereistes:** Aangesien daar tydens die situasie-ontleding bevind is dat boere se kennis aangaande skedulering gebrekkig is en huidige skeduleringstegnieke 'n relatief hoë vlak van kundigheid van skeduleerders vereis, moet skeduleringstegnieke sodanig ontwikkel word dat die kundigheidvereistes by die eindverbruiker (boere) verlaag word. Programme kan sodanig ontwikkel word dat waar kundigheid wel nodig is, dit deur landboukundiges of konsultantes verskaf kan word.
- * **Vermindering van benodigde bestuurstyd:** Huidige skeduleringstegnieke vereis te veel bestuurstyd van die boer om daaglik die nodige insetdata te bekom en die roetine berekenings uit te voer. Om hierdie probleem op te los kan rekenaarprogramme ontwikkel word om alle roetine berekenings en besluitneming akkuraat te doen.
- * **Uitskakeling van verliese:** Deur akkurate skedulering kan verliese in veskeie opsigte uitgeskakel word. Water kan bespaar word deur verminderde verdampings- en dreinasieverliese. Waterbesparings gaan altyd gepaard met energie- en dikwels ook arbeidsbesparings. Indien dreineringsverliese uitgeskakel word, word kunsmisverliese verminder en besoedeling van ondergrondse water vermy.

Die *voordele* van skedulering, wat deur navorsing verbeter kan word, is onder andere die volgende:

- * **Verhoging van finansiële waarde:** Deur skeduleringprogramme so te ontwikkel dat meer bruikbare bestuursinligting daaruit beskikbaar kom, kan die waarde wat boere aan skedulering heg, verhoog word. In gevalle waar tensiometers byvoorbeeld gebruik word om mee te skeduleer en waar daar besproei word sodra 'n sekere kritiese matrikspotensiaal bereik word, kan dit waardevol wees indien 'n rekenaarprogram 'n vooruitskatting kan doen van wanneer die kritiese matrikspotensiaal na verwagting bereik sal word. Deur die verwagte watergebruik van gewasse vooruit te skat, kan daar met behulp van dié inligting beter vooruit beplan word ten opsigte van die oppervlakte wat aangeplant kan word met die beskikbare hulpbronne. Sodoende kan die risiko vir skade, as gevolg van te groot aanplantings waarvan piekwaterbehoefte nie voorsien kan word nie, verlaag word.

- * **Opbrengs- of kwaliteitsverbeterings:** Deur meer akkurate skedulering word opbrengsverhogings en kwaliteitsverbeterings dikwels behaal en sodoende word inkomstes verhoog.

Deur gepaste navorsing kan die akkuraatheid van skedulering op die volgende maniere verbeter word, nl:

- * *Bepaling van nuwe besproeiingsriglyne.* Deur besproeiingsriglyne, wat as inset by die bestaande empiriese gewasfaktor-benadering gebruik word, te bepaal vir gewasse waarvoor daar geen riglyne bestaan nie, kan daar meer akkuraat met die bestaande tegnieke geskeduleer word;
- * *Verfyning van besproeiingsriglyne.* Deur besproeiingsriglyne, wat as inset by die bestaande empiriese gewasfaktor-benadering gebruik word, te verfyn, kan daar meer akkuraat met die bestaande tegnieke geskeduleer word.
- * *Verbeterde akkuraatheid van skeduleringsprogramme.* Deur die ontwikkeling van meer meganistiese modelle, waardeur die groei, ontwikkeling en waterbehoefte van gewasse asook die grondwaterbalans meer akkuraat gesimuleer kan word kan die waarde van skedulering verhoog word.

Aangesien die boere se kundigheidsvlak ten opsigte van skedulering tans te laag is om self gevorderde skeduleringsprogramme toe te pas, word hierdie behoefte ten opsigte van skeduleringsprogramme as volg geïnterpreteer: Daar is 'n behoefte aan 'n akkurate skeduleringsprogram wat gebruikersvriendelik is vir die eindgebruiker, nl die boer. Ten einde aan hierdie behoefte te voldoen, word beplan om programme so te ontwikkel dat dit deur 'n boer, onder direkte leiding van 'n landboukundige of 'n skeduleringskonsultant, gebruik kan word. Boere sal dus, totdat hulle voldoende kundigheid verwerf het, deur landboukundiges of skeduleringskonsultantes bygestaan moet word om die programme te gebruik.

Tydens die situasie ontleding is bevind dat besproeiingstelsels oor die algemeen swak onderhou word. Aangesien dit onmoontlik is om optimaal te skeduleer met 'n stelsel wat water ondoeltreffend versprei, behoort boere daartoe gelei te word om hul besproeiingstelsels behoorlik in stand te hou. Dit sal waarskynlik nodig wees om eers die finansiële implikasies

van swak stelselinstandhouding behoorlik te kwantifiseer, aangesien boere nie bloot ter wille van funksionele doeltreffendheid uitgawes sal aangaan om besproeiingstelsels beter te onderhou nie. Hierdie behoefte val ook op die voorligtingsterrein.

Na aanleiding van die behoeftebepaling is die prioriteite vir hierdie projek as volg gestel:

Die **korttermyn doelstelling** van die projek was om die doeltreffendheid van skedulering met behulp van bestaande skeduleringsstegnieke (gewasfaktor-panverdampingsbenadering en tensiometers) te bevorder deur:

- * Gewasfaktore vir beet, geelwortels, agurkies en suikermielies te bepaal, sodat die akkuraatheid van skedulering by hierdie gewasse verbeter kan word;
- * Gewasfaktore vir groenerte en groenbone te verfyn, sodat die akkuraatheid van skedulering by hierdie gewasse verbeter kan word;
- * 'n Rekenaarprogram vir skedulering op grond van matrikspotensiaal lesings te ontwikkel sodat voordeel bo koste van skedulering op grond van matrikspotensiaal lesings verhoog kan word deur besproeiingshoeveelhede te bereken en volgende besproeiingsdatums vooruit te skat.

Met die oog op bepaling en/of verfyning van gewasfaktore, is die volgende gewasse as hoogste prioriteite vir hierdie projek geïdentifiseer :

Groenerte	Agurkies	Beet
Groenbone	Geelwortels	Suikermielies.

Die **langtermyn doelstelling** was om besproeiingskedulering te fasiliteer deur die ontwikkeling van 'n gebruikersvriendelike skeduleringsprogram wat op 'n meganistiese simulasiemodel gebaseer is en wat van intydse klimaatdata gebruik maak, om die groei, ontwikkeling en watergebruik van gewasse te simuleer. Ten einde hierdie langtermyn doelstelling te bereik, is die volgende doelwitte gestel:

- * Om, met die oog op die ontwikkeling van 'n akkurate, gebruikersvriendelike skeduleringsprogram, 'n geskikte meganistiese simulasiemodel te ontwikkel en te toets.
- * Om vir groenerte, as 'n voorbeeld, die gewasparameters wat as inset vir die simulasiemodel benodig word, te bepaal.

Die feit dat daar in hierdie projek 'n bydrae gemaak is tot korttermyn behoeftes deur gewasfaktore vir die gewasfaktor-panverdampingsbenadering te bepaal en te verfyn, moet nie verwar word met die langtermyn doelstelling soos in die tweede navorsingsprioriteit hierbo beskryf nie. Die benadering wat vir toekomstige skedulering voorgestaan word, is om hoë vlak tegnologie in 'n gebruikersvriendelike formaat vir toepassing op plaasvlak te ontwikkel.

By fabriekstamaties is twee ernstige en omvangryke navorsingsbehoefte geïdentifiseer. Dit word aanbeveel dat die behoeftes in 'n opvolgprojek aangespreek word. Die behoeftes is:

- * Produsente benodig hulp met, of 'n hulpmiddel vir, die vasstelling van optimum opbrengs/kwaliteit mikpunte;
- * Produsente benodig bestuursriglyne, en veral besproeiingsriglyne, om hulle te help om spesifieke opbrengs/kwaliteit mikpunte te behaal.

Die resultate van navorsing aangaande die korttermyn doelstellings, soos in Afdeling A van die verslag gerapporteer, word as volg opgesom:.

Akkuraatheid van skedulering is bevorder deur die daarstelling en verfyning van besproeiingsriglyne vir groenerte, groenbone, agurkies, beet, geelwortels en suikermielies. Alhoewel gewasfaktore normaalweg oor minstens 'n paar jaar se data bereken word, kon hierdie gewasfaktore slegs op grond van een jaar se data bereken word, aangesien daar so 'n dringende behoefte bestaan vir riglyne om dadelik toegepas te word en omdat die projek beëindig word. Die riglyne behoort dus later verder verfyn te word, maar is intussen die beste wat beskikbaar is en kan as sulks aanbeveel word.

Gewasfaktore (F) vir panverdamping word saam met blaredakontwikkeling, soos weerspieël deur fraksionele stralingsonderskepping (FI) vir groenerte, agurkies, beet, groenbone, geelwortels en suikermielies opgesom in die onderstaande tabel.

Persentasie van seisoen	Dae tot oes	0-20%		20-40%		40-60%		60-80%		80-100%	
		F	FI	F	FI	F	FI	F	FI	F	FI
Groenerte	103	0.4	.01	0.4	0.16	0.4	0.45	0.7	0.79	0.6	0.92
Agurkies	72	0.4	.01	0.6	0.30	0.8	0.80	0.8	0.90	0.8	0.80
Beet	85	0.8	.01	0.5	0.16	0.6	0.47	0.8	0.71	0.6	0.83
Groenbone	63	0.6	.01	0.6	0.18	0.9	0.61	0.9	0.95	0.7	0.98
Geelwortels	125	0.3	.01	0.5	0.17	0.7	0.58	0.7	0.88	0.6	0.93
Suikermielies	68	0.4	.01	0.8	0.08	0.9	0.53	0.8	0.73	0.7	0.79

Die effektiewe worteldiepte van groenerte is bepaal en daar is gevind dat alhoewel die huidige aanbeveling van 450mm 'n veilige norm is, kan 'n effektiewe worteldiepte van soveel as 1m gebruik word. Indien dieper worteldieptes egter gebruik word, moet die werklike onttrekkingspatroon vir die dieper grondlae bepaal en in ag geneem word. Met die oog op skedulering met behulp van matrikspotensiaallesings is 'n rekenaarmodel (TENSMOD), wat al die nodige berekenings vir die gebruiker doen en meer bestuursinligting beskikbaar stel, deurdat dit bereken wanneer die volgende besproeiing behoort plaas te vind en hoeveel dan besproei sal moet word.

TENSMOD bied die volgende voordele aan die gebruiker:

- * Minder kundigheid word van die gebruiker geverg;
- * Dit verminder die benodigde bestuurstyd vir roetine skeduleringsbesluite;
- * Slegs maklik beskikbare insetdata word gebruik;
- * Die hoeveelheid en tyd van die volgende besproeiing word vooruitgeskat;
- * Gebruikersvoorkeure ten opsigte van skedulerings-strategieë word geakkomodeer;
- * Die model is akkuraat en veilig.

Die resultate van die evaluering toon 'n goeie ooreenkoms tussen die tensiometerdata en die grondwaterinhoud soos dit met die neutronvogmeter gemeet is. Die akkuraatheid van die model word dus as bevredigend beskou.

TENSMOD is tans in die formaat van 'n Lotus 123 sigblad geprogrammeer en is as sulks nie gebruikersvriendelik nie. Verdere ontwikkeling van die model word benodig om dit in 'n gebruikersvriendelike formaat te programmeer.

Die resultate van navorsing aangaande die langtermyn doelstellings, soos in Afdeling B van die verslag gerapporteer, word as volg opgesom:

Goeie vordering is gemaak ten opsigte van die ontwikkeling van 'n akkurate en gebruikersvriendelike skeduleringsprogram. 'n Meganistiese gewassimulasiemodel, wat gebaseer is op die "New Soil Water Balance Model" is ontwikkel. Die NEWSWB model van G.S.Campbell (Washington State University) is aangepas om waterverbruik van groenertjies te voorspel. Dit is gedoen deur gewasparameters vir groenerte, as 'n voorbeeld, te bepaal sodat 'n ertjie-blaredak en -wortelstelsel realisties gesimuleer word. Gemete en gesimuleerde wateropname het besonder goed vergelyk en gevolglik kan die simulasiemodel as geskik beskou word vir toepassing in 'n skeduleringsprogram. Die groot voordeel van dié benadering is dat die meganistiese aard daarvan dit tot 'n groot mate universeel toepasbaar maak. Die simulasiemodel word tans, in samewerking met Dr Nico Benadé van die Randse Afrikaanse Universiteit, in 'n gebruikersvriendelike skeduleringsprogram omskep.

Die kardinale temperature en die hoeveelheid termiese tyd, wat benodig word vir ontwikkeling van groenerte tot by verskillende ontwikkelingsstadia, is ook in detail ondersoek. Blaredak-ontwikkeling, wortelverspreiding en wateronttrekkingspatrone gedurende die groeiseisoen is ook gekwantifiseer. Die resultate toon dat die termiese tyd benadering wel gebruik kan word om die ontwikkeling van groenerte te beskryf. Een stel kardinale temperature kan gebruik word vir al vyf die cultivars wat getoets is, aangesien onderlinge verskille weglaatbaar klein was. Die basistemperatuur is $3,5^{\circ}\text{C}$, die optimum is 28°C en die maksimum $37,5^{\circ}\text{C}$.

Die benodigde termiese tyd (in daggrade) tot en met verskillende groeistadia word in die onderstaande tabel weergegee. Dit kan duidelik gesien word, dat die termiese tydbehoeftes vir vroeë en laat cultivars identies was vir al die vegetatiewe groeistadia. Die termiese tydbehoeftes van laat cultivars is slegs vir blom hoër as by vroeë cultivars:

Ontwikkelingsstadium	Daggrade	
	Novella (vroeg)	Puget (Laat)
Opkoms	121	121
4-blaar stadium	304	304
7-blaar stadium	409	409
14-blaar stadium	725	725
Blom	824	947

Hierdie data kan deur modelleerders as insetdata vir meganistiese groeimodelle gebruik word.

Tydens hierdie projek is tegnologie-oordrag dus gefasiliteer op die volgende terreine:

- * 'n Tweerigting kommunikasiekanaal tussen navorsers en die groentebedryf;
- * Fasilitering van die toepassing van skedulering in die praktyk
- * Nuwe besproeiingsriglyne vir sekere gewasse;
- * Verfyning van bestaande besproeiingsriglyne;
- * 'n Rekenaarmodel vir praktiese skedulering met behulp van tensiometers;
- * Ontwikkeling en programmering van die NEWSWB-skeduleringsmodel;
- * Kardinale temperature vir berekening van termiese tyd by groenerte;
- * Bevordering van voorligting.

In die lig van bogenoemde vordering wat gemaak is ten opsigte van elk van die doelstellings, kan die gevolgtrekking gemaak word dat die oorspronklike doelstellings van hierdie projek verwesentlik is.

DANKBETUIGINGS

Die navorsing waaroor in hierdie verslag gerapporteer word, spruit voort uit die volgende navorsingsprojek wat deur die Waternavorsingskommissie (WNK) gefinansier is: Die oordrag na die praktyk van resultate van navorsing oor die besproeiing van groentegewasse. Die loodskomitee wat vir die projek verantwoordelik was, het uit die volgende lede bestaan:

Dr G C Green	WNK (Voorsitter)
Dr P C M Reid	WNK
Mnr F P Marais	WNK (Sekretaris)
Prof T J Bembridge	Universiteit van Fort Hare
Prof M S Burgers	Universiteit van die Noorde
Prof J J Human	UOVS
Dr R Mottram	UOVS
Dr N Benadé	RAU
Mnr M G du Toit	Dept van Landbou-ontwikkeling
Mnr G de Lange	Langeberg Voedsel
Mnr J M Steyn	Landbounavorsingsraad
Mnr P S van Heerden	Dept van Landbou-ontwikkeling

Die finansiering deur die WNK en die bydraes van die loodskomitee word met dank erken. Dankie aan Langeberg Voedsel en die twee produsente, by name Mnr Evert du Plessis en Walter Jakobson, vir hul noue samewerking.

Mnr MG du Toit, die staatsvoorligter van die Departement van Landbou in die betrokke gebied, word ook hiermee bedank vir die data van die 1986-opname wat hy beskikbaar gestel het asook vir die hulp met die 1993-opname. Sy praktiese ervaring en kennis van die betrokke gebied word waardeer.

Opregte dank aan die volgende persone vir hul entoesiasme tydens die tegniese uitvoering van die projek:

Kobus le Roux	Jakobus Geldenhuys	William Sefara
Hardus Hern	Paul Malan	Sandra van Eeden
Klaas Molala	Solly Ditshego	Cornelis van der Waal.

HOOFSTUK 1

INLEIDING

Die hoofdoelstelling van hierdie projek was *om die effektiewe gebruik van beskikbare besproeiingswater te bevorder, sodat die koste/voordeel-verhouding van besproeiing vir die groenteprodusent ge-optimaliseer kan word*. Ten einde die gebruik van besproeiingswater te optimaliseer, moet verseker word dat besproeiings akkuraat geskeduleer word om aan gewaswaterbehoeftes te voldoen.

Dit is ongelukkig 'n realiteit in die besproeiingsbedryf regdeur die wêreld dat besproeiingskedulering nie algemeen toegepas word nie en dat tegnologie oordrag op hierdie terrein baie stadig plaasvind. Met hierdie projek is 'n bydrae gemaak tot die bevordering van tegnologie-oordrag as sulks, deur te identifiseer dat tegnologie-oordrag so stadig plaasvind, omdat die boere nie besproeiingskedulering as koste-effektief sien nie. Die projek se hoofbydrae was egter om voordele van skedulering te verbeter en die kostes daarvan te verlaag, sodat die voordeel bo koste kan vergroot. Dit is gedoen deur die akkuraatheid van skedulering te bevorder deur verbeterde besproeiingsriglyne vir bestaande skeduleringstegnieke en 'n bydrae tot die ontwikkeling van 'n akkurate en meer universeel toepasbare skeduleringsprogram. Deur watergebruiksdoeltreffendheid van besproeiing deur akkurate skedulering te optimaliseer, word die besproeiingskoste per eenheid eindproduk geminimiseer en ekonomiese voordeel per eenheid water verhoog. Tydens die projek is egter nie slegs aandag gegee aan die verbetering van die tegniese akkuraatheid van skeduleringstegnieke nie, maar is ook gepoog om die kostes aan kundigheid en bestuurstyd, wat vir skedulering vereis word, te verlaag. Sodoende word die uiteindelijke voordeel van skedulering bo koste vergroot en word die waarskynlikheid dat boere skedulering as koste-effektief sal sien, en sal toepas, vergroot.

Ten einde die oorhoofse doelstelling van die projek te bereik, is die volgende doelwitte gestel:

- 1 Om 'n tweerigting kommunikasiekanaal tussen die projekspan en die groentebedryf tot stand te bring;
- 2 Om prioriteite vir die projek te bepaal aan die hand van die behoeftes van die praktyk;
- 3 Om korttermynoplossing vir behoeftes van die praktyk te vind deur gepaste bestaande tegnologie te gebruik;
- 4 Om in die langer termyn besproeiingspraktyke te verbeter deur gepaste navorsing te doen en die toepassing daarvan te fasiliteer;
- 5 Om vordering en bevindings te rapporteer.

Ten einde te verseker dat die beskikbare tyd en fondse ten beste aangewend word om die probleme, wat die hoogste prioriteit in die praktyk geniet, aan te spreek, is dit ten doel gestel *om 'n tweerigting kommunikasiekanaal tussen die projekspan en die groentebedryf tot stand te bring.*

Samesprekings is met die volgende instansies gehou ten einde hul behoeftes te bepaal en hulle in te lig oor die navorsing wat in hul omgewing vir hul bedryf gedoen kon word. Die volgende instansies is betrek:

- * Departement Landbou;
- * Langeberg Voedsel Beperk;
- * Irvin & Johnson;
- * Die Loskop Besproeiingsraad;
- * Departement van Waterwese;
- * Oos Transvaalse Koöperasie.

Bogenoemde kommunikasie tussen die projekspan en die praktyk is aangevul deur 'n situasiebepaling aangaande besproeiingsskedulering in die Loskop besproeiingsgebied te onderneem. Deur dié kommunikasie is prioriteite vir die projek bepaal aan die hand van die behoeftes van die praktyk. Voorbeelde hiervan is die volgende:

- * Prioriteite ten opsigte van gewaskeuse is deur die bedryf gestel en sodoende is verseker dat die navorsing eerste op die probleem-gewasse toegespits is. *Groenerte* is as die belangrikste wintergewas geïdentifiseer en daar is versoek dat die gewasfaktore daarvoor hersien en verfyn moet word. *Agurkies, beet, groenbone, geelwortels en suikermielies* is geïdentifiseer as gewasse waarvoor daar nie voldoende riglyne bestaan nie. Hierdie prioriteite is aangespreek deur die gewasfaktore vir al bogenoemde gewasse te bepaal en/of te verfyn. In die geval van groenerte is die termiese tyd wat benodig word vir ontwikkeling bepaal, ten einde van die insetdata vir gewasgroei simulasiemodelle beskikbaar te stel .
- * 'n Behoefte vir 'n gebruikersvriendelike skeduleringsmodel of -program, wat in die praktyk gebruik kan word, is geïdentifiseer. Hierdie behoefte is aangespreek deur die "New Soil Water Balance Model" aan te pas vir die skedulering. Groenerte, as 'n voorbeeld, is met die model geskeduleer. 'n Rekenaarmodel is ook ontwikkel ten einde skedulering met behulp van tensiometers te vergemaklik en om die benutting en die potensiële voordele daarvan te verbeter.

HOOFSTUK 2

DIE IDENTIFISERING VAN NAVORSINGSPRIORITEITE VIR HIERDIE PROJEK

2.1 INLEIDING

Een van die doelwitte wat verwesentlik moes word, ten einde die oorhoofse doelstelling te bereik, was *om prioriteite vir die projek te bepaal aan die hand van die behoeftes van die praktyk*. Ten einde hierdie doelwit te verwesentlik, is die volgende subdoelwitte gestel:

- * om te bepaal tot watter mate boere ervaar dat hulle besproeiingsbestuur na wense is, al dan nie;
- * om te bepaal tot watter mate gesonde besproeiingsbestuursbeginsels deur besproeiingsboere in die Loskop besproeiingsgebied toegepas word;
- * om vas te stel wat die redes is waarom boere nie besproeiingskedulering algemeen toepas nie;
- * en om behoeftes en probleme van besproeiingsboere te identifiseer sodat oplossings daarvoor gevind kan word.

Vir die doel van hierdie verslag word die begrippe skedulering en programmering vervolgens gedefinieer:

- * **Besproeiingskedulering** is enige proses van besluitneming waarin die hoeveelheid en tydsberekening van besproeiing aangepas word by in-tydse veranderings in klimaats- en/of gewastoestande.
- * **Besproeiingsprogrammering** is enige proses van besluitneming waarin die hoeveelheid en tydsberekening van besproeiing op 'n vooraf uitgewerkte program gebaseer word en waar die program nie gereeld aangepas word om voorsiening te maak vir veranderings in klimaats- en/of gewastoestande nie.

2.2 ONDERSOEKPROSEDURE

Tegnieke

Deur samewerking met mnr M.G. (Basie) du Toit, die voorligtingsbeampte van die Departement van Landbou, wat vir besproeiingsvoorligting in die Loskop-besproeiingsgebied verantwoordelik is, is die resultate van 'n 1986-opname, wat deur mnr Du Toit gedoen is, bekom. 'n Verdere opname is gedurende 1993 as deel van hierdie projek in samewerking met mnr Du Toit uitgevoer. In beide opnames is van vraelyste, wat tydens persoonlike onderhoude ingevul is, gebruik gemaak. Die voltooide vraelyste is deur mnr Du Toit nagesien. Daar is slegs gepoog om tendense en verskynsels te identifiseer en geen statistiese verwerking van resultate is gedoen nie. Die inligting is aangevul met praktiese kennis, wat mnr Du Toit gedurende jare se ervaring in die betrokke gebied opgedoen het.

Ewekansigheid van steekproewe

In 1986 is nommers aan die name van al die boere in die gebied toegeken en die nommers is in 'n hoed gegooi. Die name van 100 boere is uit die hoed getrek en 'n afspraak is met elk van hulle gemaak. Wanneer 'n boer nie vir 'n onderhoud beskikbaar was nie, is 'n ander nommer uit die hoed getrek ten einde 'n volgende boer te kies.

Die 1993 boere is ewekansig geselekteer deurdat daar van studente, wat nie die gebied vooraf geken het nie, gebruik gemaak is. Die studente was elk vir 'n deel van die gebied verantwoordelik en het sonder afspraak persele (boere) voor die voet besoek. Slegs enkele boere wat wel tuis gevind is, het nie belang gestel om die vraelys te voltooi nie.

Monstergroottes van steekproewe

In 1986 is 100 vraelyste voltooi, terwyl 107 boere in 1993 ondervra is. Hierdie monstergroottes verteenwoordig byna 25% van die populasie van ongeveer 420 besproeiingsboere in die gebied.

Vraelyste

Met die 1986 vraelys is algemene inligting ten opsigte van boere se bestuursprobleme en hul eie persepsies van hul bestuursvermoë ingewin. Die vraelys het ook die boere se algemene kennis aangaande besproeiing getoets. Die vraelys verskyn in Bylaag A.

Die 1993-vraelys het uit twee gedeeltes bestaan, naamlik :

- * die eerste gedeelte het inligting ingewin aangaande boere se tevredenheid oor hul huidige besproeiingsbestuur, hul algemene kennis aangaande besproeiingsbestuur, hul huidige toepassing van besproeiingskedulering, die toestand van besproeiingstelsels en hul behoeftes ten opsigte van skedulering.
- * Die tweede gedeelte het bestaan uit 'n inligtingstuk wat inligting aangaande skeduleringstegnieke vervat het en 'n meegaande vraelys het dan hoofsaaklik ten doel gehad om die boer se toename in kennis en verandering in houding teenoor besproeiingskedulering te toets. Die 1993-vraelyste en inligtingstuk verskyn in Bylae B.

2.3 RESULTATE EN BESPREKING

Bevindings van die opnames word onder die volgende hoofde gerapporteer en bespreek:

- * Algemene bestuur;
- * Kennis aangaande besproeiingskedulering;
- * Watervoorsiening;
- * Toepassing van besproeiingskedulering;
- * Kontrolering van toedieningshoeveelhede;
- * Besproeiingstelsels;
- * Verwagte voordeel uit skedulering;
- * Redes waarom nie geskeduleer word nie.

Algemene bestuur

Resultate:

1986:

- * Die meeste boere het nie besproeiing as 'n ernstige probleem beskou nie. Vanuit 'n lys van 13 bestuursvelde, is besproeiing slegs as die sewende grootste probleem aangewys.

1993 (Vraelys 1):

- * 70 % van die respondente was baie tevrede met hul besproeiingsbestuur.

1993 (Vraelys 2):

- * Die boere wat die inligtingstuk ontvang het, het verwag om 86% van die besparing in watergebruik en verhoging in opbrengs (soos in die inligtingstuk voorgestel) te behaal indien hulle wel skedulering sou toepas. Die verwagte waterbesparing per hektaar beloop 86 mm by koring en 172 mm by groenerte, terwyl 'n opbrengsverhoging van 0.73 ton per hektaar by koring verwag word.

Bespreking:

Uit beide die opnames blyk dit dat boere nie besproeiingsbestuur as 'n ernstige probleem beskou nie. Die feit dat boere besproeiing nie as 'n probleem sien nie, is nie versoenbaar met die verwagting wat hulle uitspreek aangaande moontlike waterbesparings en opbrengsverhogings wat met beter besproeiingskedulering behaal kan word nie. Hieruit kan afgelei word dat boere se persepsie dat die voordeel relatief tot die koste (ingesluit faktore soos moeite, benodigde bestuurstyd, benodigde kennis en werklike finansiële kostes) nie voldoende is om skedulering die moeite werd te maak nie, verkeerd is.

Volgens hierdie situasie-ontleding word die behoefte aan verbeterde besproeiingsbestuur gevolglik wel as 'n hoë prioriteit geïdentifiseer. Die feit dat boere nie besef dat hulle die behoefte het nie, neem nie die behoefte weg nie, maar dui op 'n verdere behoefte aan inligting. Hierdie situasie dui ook op 'n verdere voorligtingskundige navorsingsbehoefte, wat gedoen moet word ten einde die persepsie-diskrepansie te bepaal.

Kennis aangaande besproeiingskedulering

Resultate:

1986:

- * Boere het hul eie kennis aangaande tegniese aspekte van besproeiingskedulering aansienlik hoër aangeslaan as wat hul antwoorde op vrae aandui.
- * Slegs 2% van respondente kon die waterhouvermoë van hul gronde kwantifiseer.

1993 (Vraelys 1):

- * Tagtig persent van die respondente slaan hul kennis aangaande besproeiing hoër as 80% aan, terwyl geen een homself laer as 60% aangeslaan het nie.

- * Waar respondente se kennis aangaande waterhouvermoë van hul gronde en skedulering in die algemeen getoets is, het hulle gemiddeld slegs 50% behaal.
- * Slegs 30 % van die respondente kon min of meer aandui wat die piek waterbehoefte is van die gewasse wat hulle verbou.

Bespreking:

Boere is oor die algemeen tevrede met hul kennis aangaande besproeiing. Hierdie persepsies van die boere stem egter nie ooreen met resultate van die evaluering van hul kennis aangaande basiese begrippe en beginsels van besproeiingskedulering nie. Kennis aangaande die grond se stoorkapasiteit vir plantbeskikbare water en gewasse se piekbehoefte kan as minimum vereiste gestel word vir sinvolle skedulering. Slegs sowat 2% van die boere kon in 1986 by benadering aandui wat die waterhouvermoë van hul grond is, terwyl slegs 30% van die 1993-respondente die piek waterbehoefte van die gewasse wat hul verbou, kon kwantifiseer. Dit blyk dus dat die meerderheid boere nie oor voldoende tegniese kennis beskik om enige vorm van skedulering wat berekenings van hom sou vereis, self toe te pas nie.

Watervoorsiening

Resultate:

1986:

- * Volgens 90% van die boere word skedulering tydens piektye belemmer deurdat kanale dan te min water lewer.
- * Minstens 60% van die boere plant in die somer tot 20% groter oppervlakte aan, as wat hulle behoorlik kan besproei.

1993 (Vraelys 1):

Slegs 15% van die respondente het gekla dat die watervoorsiening tydens piektye beperkend is. Dit is veral boere in 'n spesifieke deel van die skema (J- en G-persele), wat probleme in die verband ondervind het.

Bespreking:

Ten spyte daarvan dat soveel as 90% van die boere in 1986 van mening was dat die

watervoorsiening deur die kanaalstelsel nie in staat was om gedurende die somer in die piekbehoefte van gewasse te voorsien nie, het 50% van die boere sowat 20% meer grond bewerk as waarvoor hulle watertoekenings voorsiening maak. By verdere navrae oor die redes vir die groter aanplantings het dit geblyk dat boere se optimisme vir reën, asook finansiële druk, verantwoordelik is vir die groter aanplantings. Volgens die 1993-opname het slegs 15% van die respondente die watervoorsiening tydens piektyd beskou as 'n faktor wat skedulering belemmer. Dit blyk dus dat watervoorsiening in die oorgrote meerderheid van gevalle bevredigend is om skedulering suksesvol toe te pas. Hierdie verbetering word daaraan toegeskryf dat die besproeiingsrade die watervoorsieningstelsel meer doeltreffend bestuur.

Toepassing van besproeiingskedulering

Resultate:

1986:

- * Alhoewel bykans 60 % van die respondente in 1986 tensiometers besit het, het slegs sowat 6 % van hulle dit vir skedulering gebruik.
- * 25% van die boere het aangedui dat hulle verdampingsyfers en gewasfaktore gebruik om besproeiing te bestuur. Hierdie syfer sluit boere in wat programme, wat op langtermyn gemiddelde verdamping gebaseer is, gebruik, sowel as boere wat werklike verdamping vir skedulering gebruik.

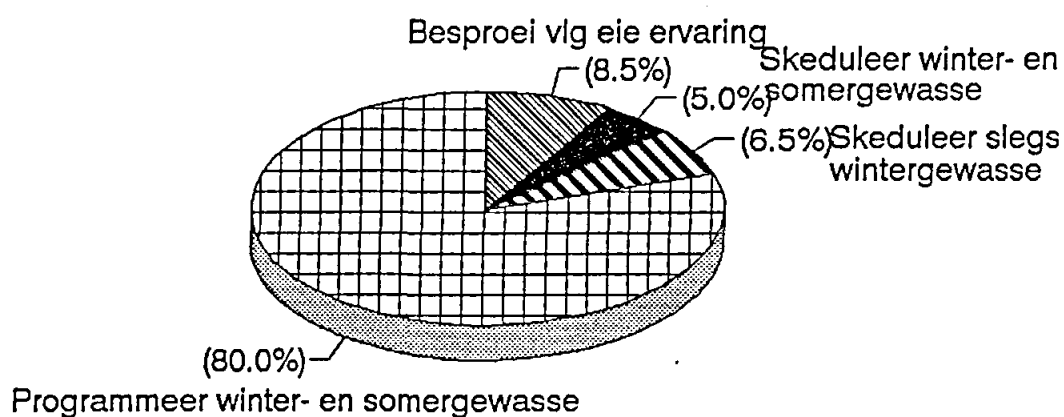
1993 (Vraelys 1):

- * Nagenoeg 80% van respondente maak van programme met 'n vaste sikluslengte gebruik. Hierdie programme is vooraf uitgewerkte resepte wat toegepas word sonder om aanpassings te maak vir intydse variasies in klimaatstoestande of gewasbehoefte.
- * 15.5% van die respondente het tensiometers gebruik.
- * In al die gevalle waar tensiometers wel gebruik is, is dit slegs gebruik vir kontrole en nie om te besluit hoeveel en wanneer om te besproei nie.
- * Geen respondente het retensiekrommes saam met tensiometers gebruik om besproeiingshoeveelhede te bereken nie.
- * 12% van die respondente het van werklike klas-A-panverdampingsyfers en gewasfaktore gebruik gemaak. Hierdie boere skeduleer op hul eie rekenars en gebruik

'n rekenaarprogram wat deur mnr M.G. du Toit in 'n Lotus 123 sigblad geskryf is. Die program pas die beginsels van die verdampingspan en gewasfaktore toe. 'n Eienskap van die program wat dit besonder gebruikersvriendelik maak, is die feit dat die boere tydelik van langtermyn gemiddelde verdampingsyfers gebruik maak. Die kumulatiewe afwyking van langtermyn gemiddelde verdamping vanaf werklike verdamping word daaglik deur die voorligtingskantoor bepaal. Die boere korrigeer dan nagenoeg elke twee weke hul skedules deur die werklike verdampingsyfers telefonies vanaf die voorligtingskantoor aan te vra. Indien skielike groot afwykings ontstaan, stel die voorligter die boere daarvan in kennis.

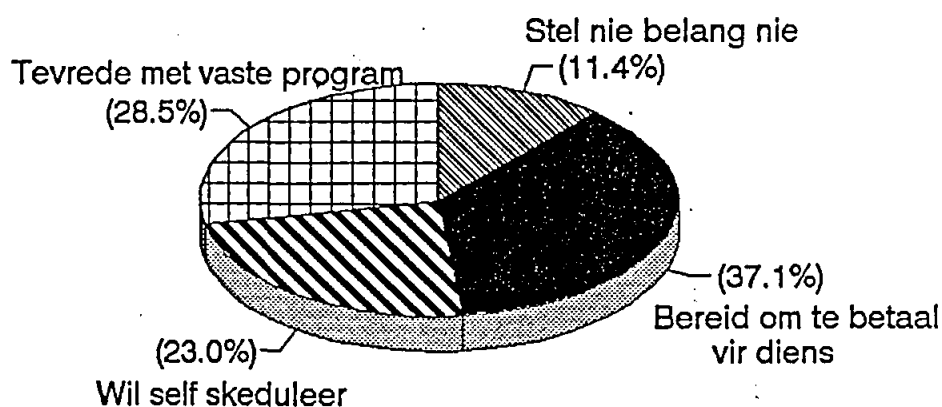
Volgens mnr Du Toit was daar wel 12% boere in die 1993-steekproef wat van werklike panverdampingssyfers gebruik maak en daarvolgens skeduleer, maar is dit onwaarskynlik dat daar soveel boere in die totale populasie is wat so skeduleer. Na sy mening is daar waarskynlik nie meer as 5% van die totale populasie wat so skeduleer nie. Daar moet dus volgens mnr du Toit eerder aanvaar word dat slegs 5% boere volgens werklike verdampingsyfers skeduleer.

- * Geen respondent het 'n eie verdampingspan gebruik nie en die wat wel volgens werklike verdampingsyfers skeduleer, bekom die verdampingsyfers via die voorligtingskantoor vanaf die proefplase van die Landbounavorsingsraad (LNR) en die Oos Transvaalse Koöperasie (OTK).
- * Uit bogenoemde resultate kan die persentasie boere wat verskillende wyses van skedulering of programmering volg, beraam word. Die persentasie wat oorbly, nadat die ander groepe gesameer is, is beskou asof hulle volgens eie ervaring skeduleer. Die resultate word in Figuur 2.1 getoon.



Figuur 2.1 Persentasie boere wat verskillende skeduleringsbenaderings volg.
1993 (Vraelys 2)

- * Op 'n vraag aangaande boere se voorkeure aangaande die wyse van toepassing van skedulering, het boere hul voorkeure aangedui soos in Figuur 2.2 getoon. Die boere wat aangedui het dat hulle self wil skeduleer het 51.5% van die totaal uitgemaak. Hierdie groep is deur mnr Du Toit volgens sy ervaring opgedeel in twee groepe, nl:
 - die wat self sal wil skeduleer en
 - die wat 'n vaste program sal wil gebruik.



Figuur 2.2 Boere se voorkeure van die wyse waarvolgens hulle sal wil skeduleer.

Bespreking:

By die interpretasie van hierdie resultate moet daar deeglik onderskei word tussen skedulering en programmering. Skedulering sluit alle besluitnemingstegnieke, waardeur die boer in staat gestel word om te reageer op wisselings van atmosferiese verdampingsaanvraag, in. Programmering aan die ander kant, maak nie voorsiening vir korttermyn aanpassings van besluite op grond van wisselings in gewas- of atmosferiese toestande nie.

Uit die opnames blyk dit dat 80% van die boere van programme gebruik maak. Die meerderheid van hierdie programme is gebaseer op langtermyn gemiddelde verdampingsyfers en gewasfaktore. Hierdie programme het meestal 'n vaste siklus ten einde die toepassing daarvan te vergemaklik.

Sowat 15% van die boere gebruik tensiometers om hul besproeiingsprogramme te kontroleer. Dit is belangrik om daarop te let dat hierdie boere onder die indruk is dat hulle skeduleer, terwyl hulle in werklikheid programmeer (programme gebruik). Hulle programmeer want hulle baseer nie hul besluit van wanneer of hoeveel om te besproei op die tensiometerlesings nie. Die redes waarom boere nie voluit met behulp van tensiometers skeduleer nie, asook die oplossing vir die probleem (minstens vir dié boere wat wel met tensiometers wil skeduleer) word in meer besonderhede in hoofstuk 5 bespreek.

Sowat 5% van die boere pas skedulering reg deur die jaar op grond van werklike panverdamping en gewasfaktore toe. Hierdie boere gebruik die rekenaarprogram wat deur mnr MG du Toit geskryf is en wat al die berekenings doen. Reën en besproeiing word daaglik deur die boer ingelees. Die rekenaarprogram verminder die benodigde tyd vir die verkryging van verdampingsyfers deurdat die berekenings aanvanklik op grond van langtermyn verdampingsyfers gedoen word. Elke twee weke word die gemiddelde van die werklike verdampingsyfers, soos gemeet by die twee proefplase in die gebied (Die Oudestad-proefplaas van die Oos Transvaalse Koöperasie en die Groblersdal navorsingsstasie van die Landbounavorsingsraad), telefonies vanaf die voorligtingskantoor aangevra en ingelees. Die skedule word sodoende gekorrigeer met werklike verdampingsaanvraag. Dit is hierdie korreksie, tesame met die feit dat werklike reën en besproeiing ingelees word, wat hierdie

stelsel onderskei van programmering. Alhoewel die huidige formaat van die Lotus program nog lomp is, doen dit die nodige berekenings outomaties en sodoende verminder dit die kennis wat van die boer vereis word en bespaar dus tyd omdat dit aansienlik vinniger werk as om die berekenings met die hand te doen. Die feit dat al die insetdata vir die program beskikbaar is, bevorder ook die toepassing daarvan.

'n Verdere 27 boere (6.5% van die totale aantal besproeiingsboere in die gebied) wat nie deel van die 1993-steekproef was nie, gebruik die rekenaarprogram van mnr Du Toit, slegs in die winter. Vir hierdie toepassing word die boer se inligting aangaande grondeienskappe, begin grondwaterinhoud en plantdatum tesame met langtermyn gemiddelde verdamping en gewasfaktore gebruik om die benodigde hoeveelhede en tye van besproeiings vir die hele seisoen vooruit te bereken. In die berekening word aanvaar dat die aanbevole besproeiings wel akkuraat toegedien sal word en dat geen reën sal voorkom nie. Wanneer reën voorkom, pas die boer die hoeveelheid van die eerste besproeiing, wat na die reën volg, aan. Hierdie boere doen dus geen berekenings nie, gebruik nie eie rekenars nie en gee ook nie terugvoer na die program aangaande reën en besproeiing nie. Die enigste aspek wat hierdie boere se skedulering onderskei van programmering is die feit dat kumulatiewe afwyking tussen werklike verdamping en die langtermyn gemiddelde verdamping deur die voorligtingskantoor gemonitor word en dat die boere dan in kennis gestel word sodra die afwyking meer as 10 mm beloop. Die boere pas dan die volgende besproeiing volgens die afwyking aan en daarna word voortgegaan met die oorspronklike "program"

Opsommend blyk dit dus dat:

- * Slegs 5% van die boere die besproeiing van hul winter en somergewasse volgens werklike verdampingsyfers skeduleer.
- * 'n Verdere 6.5% van die boere hul wintergewasse skeduleer.
- * Minstens 80% boere besproei volgens vaste programme wat op langtermyn gemiddelde watergebruik gebaseer is.
- * Geen boere skeduleer volgens tensiometers nie, maar 15% van die boere gebruik dit om besproeiing te kontroleer.
- * Geen boere gebruik weerdata vanaf outomatiese weerstasies vir skedulering nie.

Kontrolering van toedieningshoeveelhede

Resultate:

1993 (Vraelys 1):

- * Slegs 6% van die respondente het aangedui dat hulle telkens meet hoeveel besproei is, terwyl die ander 94% aanvaar dat die beplande toedieningshoeveelhede wel korrek toegedien is.

Bespreking:

Bogenoende resultate is aangevul deur ongepubliseerde gegewens van twee ander ondersoeke waarby mnr Du Toit gedurende 1987 en 1989 betrokke was. Gedurende 1987 is gevind dat slegs een uit twintig boere van die betrokke steekproef gekontroleer het dat nuwe stelsels wat hulle laat installeer het, wel die toedienings, waarvoor dit ontwerp is, kon toedien. Gedurende 1989 is agt spilpunte ondersoek en was die gemiddelde slytasie (gemeet as toename in deursnitoppervlakte) van die spuitstukke meer as 50%.

Die resultate toon dus dat boere in die oorgrote meerderheid van gevalle nie met sekerheid kan sê dat hulle wel soveel water toedien as wat hulle beplan om toe te dien nie. *Hierdie gebrek aan kontrole is een van die grootste probleme, aangesien selfs 'n goeie aanbeveling wat onakkuraat toegepas word, nie die gewenste resultate sal lewer nie.*

Funksionele doeltreffendheid van besproeiingstelsels

Resultate:

1986 en 1993:

- * Volgens die boere beskik die meeste besproeiingstelsels nie oor die vermoë om aan gewasse se piekbehoefte te voldoen nie.
- * Ekstra lyne is by ongeveer 50% van die stelsels bygevoeg sonder dat pompe se vermoëns verhoog is.
- * Besproeiingstelsels word swak of glad nie in stand gehou nie.

Bespreking:

Die meeste besproeiingstelsels, veral handlyne, beskik volgens die boere nie oor die vermoë

om in gewasse se piekbehoefte te voorsien nie. Hierdie stelsels is meestal ontwerp om 50 mm water elke twee weke toe te dien. Die ontwerp is gebaseer op twee skuiwe per dag, 8 ure per skuiw en 5½ dae per week. Dit impliseer dat die stelsels dan slegs vir 52% van die tyd benut word. Dit is duidelik dat indien dit die moeite werd is, dit moontlik sal wees om die "vermoë" van die stelsels byna te verdubbel deur net langer ure te besproei. *Die gevolgtrekking word dus gemaak dat die meeste stelsels wel aan gewasse se piekbehoefte kan voldoen.*

Verdere bevindings wat aangaande die kapasiteit van besproeiingstelsels in ag geneem moet word, is dat stelsels (veral handlynstelsels en spilpuntstelsels met addisionele handlyne wat later in die uitvalhoek bygevoeg is) aangewend word op groter oppervlaktes as dit waarvoor hulle ontwerp is. By baie stelsels is addisionele lyne bygevoeg sonder om die pompe aan te pas. By hierdie stelsels is nie net die lewering te laag nie, maar is verspreidingsdoeltreffendheid swak as gevolg van sub-optimale druk en is die energieverbruik per eenheid water hoër as nodig.

Waarskynlik die grootste enkele probleem wat ten opsigte van besproeiingstelsels geïdentifiseer is, is dat stelsels nie na wense onderhou word nie.

Dit blyk dat boere nie werklik besef wat die implikasies van oormatige spuitstuk-slytasie op die energieverbruik, lewering en verspreidingsdoeltreffendheid van stelsels is nie. In een ondersoek wat deur mnr Du Toit gedurende 1992 in die Loskop besproeiingsgebied uitgevoer is, is agt stelsels geëvalueer. Die stelsels was almal tussen 5 en 8 jaar oud. Die spuitstuk-slytasie (oppervlakte) het tussen 40% en 50% gewissel en daar was nog geen spuitstukke by enige van die agt stelsels vervang nie. Indien hierdie resultaat vergelyk word met die riglyn dat spuitstukke na 10-15% slytasie vervang behoort te word, is dit duidelik dat die onderhoud van die stelsels heeltemal verwaarloos word.

Verwagte voordeel uit skedulering

Resultate:

1993 (Vraelys 1):

- * Boere het gemiddeld 'n opbrengsverhoging van 7 % verwag, indien akkuraat geskeduleer sou word.
- * Die verwagte waterbesparing met meer akkurate skedulering was gemiddeld 12%.

1993 (Vraelys 2):

- * Nadat boere die inligtingsstuk gelees het, het die groep boere verwag om 'n gemiddelde opbrengsverhoging van 11% en 'n gemiddelde waterbesparing van 14% by koring te behaal.

Bespreking:

Volgens resultate van die 1993-opname verwag boere aansienlike opbrengsverhogings en besparing van water met akkurate skedulering. Die vraag wat ongelukkig nie in hierdie opname beantwoord is nie, is of die boere die geldwaarde van die verwagte voordele van skedulering besef.

Die geldwaarde vir 'n boer by wie water die beperkende produksiemiddel is en wat 'n gemiddelde koringopbrengs van 5 t ha^{-1} met 620 mm water produseer teen 'n besproeiingskoste van $R 0.90 \text{ mm}^{-1}$ water, word as volg beraam:

Opbrengsverhoging:	7% van 5 ton ha^{-1} @ $R 750 \text{ ton}^{-1}$	= R 262
Waterbesparing:	12% van 620 mm @ $R 0.90 \text{ mm}^{-1}$	= R 67
Geleentheidskoste van gespaarde water:	12% van 620 mm @ $R 3.46 \text{ mm}^{-1}$	= R 257

Totaal = Verwagte waarde van skedulering per hektaar		R 586

Hierdie waarde geld slegs ten opsigte van een hektaar koring as wintergewas en 'n soortgelyke waarde behoort te realiseer vir die somergewas wat op dieselfde hektaar verbou word. Die jaarlikse waarde van goeie skedulering kan dus as nagenoeg R1000 per hektaar beraam word. Aangesien boere besproeiing nie as 'n ernstige probleem beskou nie, kan afgelei word dat hulle nie besef dat hulle 'n potensiële addisionele inkomste van nagenoeg R1000 per hektaar verbeur nie. Indien boere wel die waarde van goeie skedulering besef, moet daar goeie redes wees waarom hulle nie meer moeite doen om meer akkuraat te skeduleer nie.

Redes wat deur boere verskaf is vir die feit dat hulle nie skeduleer nie

Resultate:

1986:

- * Boere het die beperkte vermoëns van hul besproeiingstelsel as die belangrikste rede beskou waarom hulle nie kan skeduleer nie.
- * Boere het dit as te veel moeite beskou om besproeiingskedulering toe te pas.
- * Boere meen dat hul balanseerdamme te klein is om sinvol te skeduleer.

1993 (Vraelys 1):

- * Boere het die beperkte vermoë van hul besproeiingstelsels (veral handlyne) as die belangrikste rede beskou waarom hulle nie skeduleer nie. Hul redeneer dat hulle in die somer in elk geval nie voldoende water kan toedien nie en dus verplig is om soveel te besproei as wat die stelsels kan.
- * Baie boere was van mening dat dit te veel moeite is om te skeduleer.

Bespreking:

Boere het tydens die opnames drie redes, waarom hulle nie skedulering toepas nie, genoem. Elkeen van hierdie redes is ontleed ten einde oplossings te vind of onderliggende probleme te identifiseer.

Rede 1: Boere beskou die beperkte vermoëns van hul besproeiingstelsels as die belangrikste rede waarom hulle nie kan skeduleer nie.

Waar 'n stelsel se vermoë beperkend is, behoort juis dit te dien as 'n motivering om akkuraat te skeduleer. Deur akkuraat te skeduleer kan die lengte van besproeiingsiklusse tot die maksimum gerek word. Sodoende word dreineringsverliese uitgeskakel en word verdampingsverliese tot die minimum beperk. Die druk op die stelsel kan gevolglik verlaag word deur akkurate skedulering. Aangesien die meeste stelsels wel in staat is om gedurende die periodes van piekbehoefte aan gewasbehoefte te voldoen, geld bogenoemde rede nie as 'n geldige verskoning vir die meerderheid van boere nie.

Rede 2: Boere beskou dit as te veel moeite om besproeiingskedulering toe te pas.

Hierdie rede beteken dat die boere se beraming van die verwagte voordeel uit skedulering relatief tot die koste van skedulering nie 'n bevredigende positiewe resultaat lewer nie. Die belangrike beginsel wat hier geld is dat die boer sy besluit baseer op sy eie persepsie van die kostes en voordele. Daar mag sekere kostes en voordele wees wat nie direk in geldwaarde uitgedruk kan word nie, maar wat die besluit beïnvloed. Dit mag byvoorbeeld wees dat een of meer van die volgende situasies die resultaat negatief beïnvloed:

- * Die boer glo nie dat die waterbesparings en/of opbrengsverhogings haalbaar is nie en daarom is die verwagte waarde van die voordeel gelyk aan nul.
- * Die boer glo dat die waterbesparings en/of opbrengsverhogings haalbaar is, maar besef nie wat die geldwaarde daarvan is nie.
- * Die boer se verwagting aangaande die waarde van die voordeel van skedulering is positief, maar aangesien hy nie oor voldoende kennis beskik nie plaas hy 'n baie groot premie op die hoeveelheid kennis wat hy sal moet inwin om te skeduleer.
- * Die boer se verwagting aangaande die waarde van die voordeel van skedulering is positief, en hy beskik reeds oor die kennis om te skeduleer, maar hy is te besig om van sy eie waardevolle bestuurstyd af te staan vir die roetine berekenings en besluite wat met skedulering gepaard gaan.
- * Dit mag wees dat die boere se persepsie aangaande skedulering is dat die akkuraatheid daarvan nie voldoende is nie. Indien 'n boer byvoorbeeld groente verbou en die besproeiingsriglyne is nie beskikbaar nie, of is duidelik ontoereikend, dan kan sy verwagting aangaande die akkuraatheid daaronder ly.

Teen die agtergrond van dié resultate blyk dit dat boere wel die fisiese besparing en opbrengsverhogings verwag en dat hulle dus ook voldoende vertroue in die akkuraatheid van skedulering by die meeste gewasse het. Die gevolgtrekking word dus gemaak dat boere nie die potensiële voordele in finansiële terme kwantifiseer nie en/of dat hulle nie oor voldoende kennis beskik nie en/of dat hul bestuurstyd beperkend is.

Rede 3: Boere voer aan dat hul balanseerdamme te klein is om sinvol te skeduleer.

Net soos in die geval by Rede 1, sal akkurate skedulering die behoefte aan groter balanseerdamme eerder verlig as vergroot, aangesien die uitskakeling van verliese sal lei tot 'n verhoging van besproeiingsdoeltreffendheid. Sodoende sal die waterbehoefte (stoorkapasiteit in die balanseerdam) verklein of sal produksie met die beskikbare water of stoorkapasiteit verhoog kan word.

2.4 GEVOLGTREKKINGS

Slegs die bevindings van die situasie-ontleding, wat belangrik is ten opsigte van hierdie projek, word hier opgesom, nl:.

Slegs sowat 5% van die boere in die Loskop besproeiingsgebied pas skedulering op hul somergewasse toe, terwyl slegs sowat 11.5% hul wintergewasse skeduleer. Minstens 80% van die boere pas vaste programme toe. Tensiometers word deur 15% van die boere gebruik om besproeiing te kontroleer, maar die besluite aangaande hoeveel en wanneer om te besproei word nie op grond van die tensiometerlesings geneem nie;

Sowat 37% van die boere het 'n behoefte aan 'n skeduleringsdiens en is bereid om daarvoor te betaal terwyl 'n verdere 23% self wil skeduleer. Die behoefte om te skeduleer bestaan dus wel by nagenoeg 60% van die boere;

Die meerderheid boere beskik nie oor voldoende tegniese kennis aangaande besproeiingskedulering om enige vorm van skedulering wat berekenings van hom sou vereis, self toe te pas nie;

Besproeiingstelsels word oor die algemeen nie na wense onderhou nie en dit kan die mate waartoe die potensiële waarde van skedulering benut kan word, ernstig belemmer.

Die belangrikste rede waarom so baie boere tans nie skeduleer nie en waarom soveel as 40% van die boere ook nie belangstel om te skeduleer nie, is omdat hul persepsie van die kostes en voordele van skedulering sodanig is dat hulle nie voldoende voordeel bo koste verwag nie. Die gevolgtrekking word dus gemaak dat, behalwe vir die bydrae wat van voorligtingskant gemaak moet word ten opsigte van die kwantifisering van die koste/voordeel van skedulering, daar vanuit navorsingskant die volgende bydraes gemaak kan word om die voordeel na kostes te vergroot:

Die belangrikste kostes van skedulering, wat deur navorsing verlaag kan word, is onder andere die volgende:

- * **Verlaging van kundigheidsvereistes:** Aangesien huidige skeduleringstegnieke 'n relatief hoë vlak van kundigheid van skeduleerders vereis, moet skeduleringstegnieke sodanig ontwikkel word dat die kundigheidvereistes by die eindverbruiker (boere) verlaag word. Programme kan sodanig ontwikkel word dat waar kundigheid wel nodig is, dit deur landboukundiges of konsultantes verskaf kan word.
- * **Vermindering van benodigde bestuurstyd:** Huidige skeduleringstegnieke vereis te veel bestuurstyd van die boer om daaglik die nodige insetdata te bekom en die roetine berekenings uit te voer. Om hierdie probleem op te los kan rekenaarprogramme ontwikkel word om 'n groot deel van die roetine berekenings en besluitneming te doen.
- * **Uitskakeling van verliese:** Deur akkurate skedulering kan verliese in veskeie opsigte uitgeskakel word. Water kan bespaar word deur verminderde verdampingsverliese en dreineringsverliese. Waterbesparings gaan altyd gepaard met energie- en dikwels ook arbeidsbesparings. Indien dreineringsverliese uitgeskakel word, word kunsmisverliese en besoedeling van ondergrondse water verminder.

Die voordele van skedulering, wat deur navorsing verbeter kan word, is onder andere die volgende:

- * **Verhoging van finansiële waarde:** Deur skeduleringprogramme so te ontwikkel dat meer bruikbare bestuursinligting daaruit beskikbaar kom, kan die waarde wat boere aan skedulering heg, verhoog word. In gevalle waar tensiometers byvoorbeeld gebruik word om mee te skeduleer en waar daar besproei word sodra 'n sekere kritiese

matrikspotensial bereik word, kan dit waardevol wees indien 'n rekenaarprogram 'n vooruitskatting kan doen van wanneer die kritiese matrikspotensial na verwagting bereik sal word. Deur byvoorbeeld addisionele inligting, wat gebruik kan word vir vooruitbeplanning van oppervlaktes wat aangeplant kan word, beskikbaar te stel, kan die risiko verlaag word vir skade as gevolg van te groot aanplantings waarvan piekwaterbehoefte nie voorsien kan word nie. Modelle moet dus ook die waterverbruik van gewasse kan simuleer op grond van langtermyn gemiddelde of gegenereerde klimaatdata. Addisionele waarde kan sodoende tot skedulering toegevoeg word.

- * **Opbrengs- of kwaliteitsverbeterings:** Deur meer akkurate skedulering word opbrengsverhogings en kwaliteitsverbeterings dikwels behaal en sodoende word inkomste verhoog

Deur gepaste navorsing kan die akkuraatheid van skedulering kan op die volgende maniere verbeter word, nl:

Bepaling van nuwe besproeiingsriglyne: Deur besproeiingsriglyne, wat as inset by die bestaande empiriese gewasfaktor-benadering gebruik word, te bepaal vir gewasse waarvoor daar geen riglyne bestaan nie, kan daar meer akkuraat met die bestaande tegnieke geskeduleer word.

Verfyning van besproeiingsriglyne: Deur besproeiingsriglyne, wat as inset by die bestaande empiriese gewasfaktor-benadering gebruik word, te verfyn, kan daar meer akkuraat met die bestaande tegnieke geskeduleer word.

Verbeterde akkuraatheid van skeduleringsprogramme: Deur die ontwikkeling van meer meganistiese modelle, waardeur die groei, ontwikkeling en waterbehoefte van gewasse asook die grondwaterbalans meer akkuraat gesimuleer kan word kan die waarde van skedulering verhoog word.

Aangesien die boere se kundigheidsvlak ten opsigte van skedulering tans te laag is om self gevorderde skeduleringsprogramme toe te pas, word hierdie behoefte as volg geïnterpreteer: Daar is 'n behoefte aan 'n skeduleringsprogram wat akkuraat en gebruikersvriendelik vir boere is. Ten einde aan hierdie behoefte te voldoen, word

beplan om programme so te ontwikkel dat dit deur 'n boer, onder direkte leiding van 'n landboukundige of 'n skeduleringskonsultant, gebruik kan word. Boere sal dus, totdat hulle voldoende kundigheid verwerf het, deur landboukundiges of skeduleringskonsultantes bygestaan moet word om die programme te gebruik.

2.5 VOORLIGTINGKUNDIGE BEHOEFTE GEÏDENTIFISEER

Sekere van die behoeftes wat geïdentifiseer is, is voorligtingkundig van aard en behoort op voorligtingsterein aangespreek te word. Die behoeftes wat geïdentifiseer is, is die volgende:

- * Volgens hierdie ondersoek besef boere nie wat die finansiële waarde is van die waterbesparings en opbrengsverhogings, wat hulle met verbeterde skedulering verwag nie. Hul persepsie aangaande die koste/voordeelverhouding van besproeiingskedulering is dus sodanig dat hulle nie voldoende voordeel na koste verwag nie, en daarom word die nodige insette om te skeduleer nie gemaak nie. Boere moet daartoe gelei word om die koste/voordeelverhouding van besproeiingskedulering te kwantifiseer. Na verwagting sal hulle dan deur die verwagte finansiële voordeel gemotiveer word om te skeduleer. Hierdie voorligtingstaak kan moontlik voorafgegaan word met voorligtingkundige navorsing om te bepaal wat die redes vir boere se persepsies is.
- * Boere moet daartoe gelei word om hul besproeiingstelsels behoorlik in stand te hou, sodat die volle potensiële voordeel van skedulering benut kan word. Dit sal waarskynlik nodig wees om eers die finansiële implikasies van swak stelselinstandhouding behoorlik te kwantifiseer (waarskynlik deur modelleing), aangesien boere nie bloot ter wille van funksionele doeltreffendheid uitgawes sal aangaan om besproeiingstelsels beter te onderhou nie.

2.6 NAVORSINGSPRIORITEITE GEÏDENTIFISEER VIR HIERDIE PROJEK

Op grond van die situasie ontleding soos hierbo beskryf, is die volgende kort en langtermyn doelstellings vir hierdie projek gestel:

Korttermyn doelstellings:

- * Om gewasfaktore vir beet, geelwortels, agurkies en suikermielies te bepaal, sodat die akkuraatheid van skedulering by hierdie gewasse verbeter kan word;

- * Om gewasfaktore vir groenerte en groenbone te verfyn, sodat die akkuraatheid van skedulering by hierdie gewasse verbeter kan word;
- * Om 'n rekenaarprogram vir skedulering op grond van matrikspotensiaal lesings te ontwikkel sodat voordeel bo koste van skedulering op grond van matrikspotensiaal lesings kan verhoog kan word.

Daar word in Afdeling A verslag gedoen aangaande die navorsing wat gedoen is om aan hierdie korttermyn doelstellings te voldoen.

Langtermyn doelstellings:

- * Om, met die oog op die ontwikkeling van 'n akkurate, gebruikersvriendelike skeduleringsprogram, 'n geskikte meganistiese simulasiemodel te ontwikkel en te toets.
- * Om vir groenerte, as 'n voorbeeld, die gewasparameters wat as inset vir die simulasiemodel benodig word, te bepaal.

Daar word in Afdeling B verslag gedoen aangaande die navorsing wat gedoen is om aan hierdie langtermyn doelstellings te voldoen.

AFDELING A

DIE FASILITERING VAN TEGNOLOGIE OORDRAG DEUR VERBETERDE BESPROEIINGSRIGLYNE VIR GROENTE

HOOFSTUK 3

BESPROEIINGSRIGLYNE VIR GROENERTE

3.1 INLEIDING

Daar word jaarliks sowat 2000 hektaar groenerte in die Loskop besproeiingsgebied aangeplant. Na koring is groenerte die belangrikste wintergewas in die gebied. Goeie en betroubare besproeiingsriglyne sal dus 'n groot impak op besproeiing hê.

Die bestaande gewasfaktore volgens Green (1985) word algemeen gebruik in die Marble Hall gebied en daar was 'n dringende behoefte en 'n versoek vanaf landboukundiges van Langeberg Voedsel, Irvin & Johnson, asook voorligters van die Departement van Landbou dat dit gekontroleer moes word. Daar bestaan ook 'n behoefte aan plaaslike riglyne ten opsigte van die effektiewe worteldiepte of effektiewe onttrekkingsdiepte vir groenerte.

3.2 ONDERSOEKPROSEDURE

Groenerte is gedurende 1992 en 1993 in Marble Hall gemonitor ten einde datastelle te bekom vir die verfyning van gewasfaktore en vir die evaluering van die NEWSWB model.

Gedurende 1992 is 'n deel van 'n kommersiële aanplanting onder 'n spilpunt by Mnr Walter Jakobson, op perseel J9 in die Loskop besproeiingsgebied, gemonitor. Gedurende 1993 is vyf verskillende blokke groenerte by Mnr Evert du Plessis, op perseel J11 in die Loskop besproeiingsgebied, elk volgens 'n ander tegniek geskeduleer ten einde vyf verskillende datastelle te genereer. Sodoende is ses datastelle in die twee seisoene bekom.

Prosedure vir die 1992-groenerte:

Die erte is op 23 Mei 1992 geplant en op 9 September 1992 gestroop. Aangesien die projek vir alle praktiese doeleindes eers na die projekvergadering op 5 Junie 1992 in aanvang geneem het, het monitering eers teen 40 dae na plant op 1 Julie begin.

Die erte is besproei wanneer die matrikspotensiaallesing van tensiometers op 300 mm diepte -30 kPa bereik het. Die besproeiingshoeveelhede is dan op grond van grondwaterinhoudsmetings met behulp van 'n neutronvogmeter bereken.

Die volgende waarnemings is gemaak teen die frekwensie soos aangedui:

Waarneming	Frekwensie
* Reën en Besproeiing	Daaglik
* Grondwaterinhoud	Minstens voor en na elke besproeiing
* Fraksionele onderskeping, blaaroppervlakte, droëmateriaalopbrengs	Weeklik
* Wortelontwikkeling	Twee keer in seisoen
* Opbrengs	Eenmalig
* Klimaat	Uurlik

Die weerstasie was sowat 800m vanaf die land geleë en het uurlikse metings gedoen van temperatuur, humiditeit, inkomende solare straling, reën, windsnelheid en windrigting. Die weerstasie het eers vanaf 7 Julie 1992 in werking gekom. Daar was nie 'n verdampingspan gedurende 1992 by die weerstasie nie.

Die wortelverspreiding is gemonitor deur 'n profielgat te grawe en monsters op 'n roosterpatroon uit die wal te neem. Monsters is vir elke 200mm-grondlaag tot 'n diepte van 1m geneem. In die horisontale rigting is monsters reg onder die ry en halfpad tussen opeenvolgende rye geneem. Die wortellengtes is bepaal deur die wortels uit te was, dit eweredig oor 'n roosterpatroon te versprei en die aantal kruispunte, waar wortels die lyne van die roosterpatroon kruis, te tel. Die telling is dan met behulp van 'n vooraf gekalibreerde regressie-vergelyking omgerekend na wortellengte. Hierdie tegniek het baie akkurate resultate gelewer by tellings hoër as 10, maar groter foute by tellings kleiner as 10 gemaak. Wanneer daar dus min wortels (korter as 5 cm, of telling kleiner as 10) in die monster was, is die wortels se lengtes direk gemeet. Die worteldigtheid is uitgedruk in meter wortels per kubieke meter grond. Die kumulatiewe persentasie wortels wat tot by die verskillende gronddieptes voorkom, is bereken.

Prosedure vir die 1993-groenerte:

Die 1993-proef is in 'n kommersiële land van Mnr Evert du Plessis op perseel J11 uitgelê. Die aanplanting van die cultivar Markado is op 20 Mei 1993 gedoen.

Vyf verskillende skeduleringsstegnieke is toegepas, nl:

- 1 Tensiometer en gemete grondwaterinhoud (Kontrole 1);
- 2 Tensiometer en gemete grondwaterinhoud (Kontrole 2);
- 3 Tensiometermodel (Retensie);
- 4 Langtermyn panverdamping (Basie);
- 5 Evert se aanvoeling (Evert).

Daar was beplan om PUTU se skeduleringsprogram op die Kontrole 2 perseel toe te pas, maar probleme is ondervind om die program aan die gang te kry. Dit het te laat in die seisoen geword en die perseel is toe net soos in die geval by Kontrole 1, volgens gemete grondwaterinhoud en tensiometers, besproei.

By die behandelings waar 300 mm tensiometers gebruik is om aan te toon wanneer daar besproei moet word, is daar telkens by -45 kPa besproei. Die -45 kPa peil is gekies omdat dit gedurende die 1992 seisoen geblyk het dat daar by hoër spannings besproei kon word, sonder risiko vir stremming. By die tensiometermodel is daar egter op 73 dae na plant oorgeskakel na -70 kPa, aangesien dit geblyk het dat daar selfs by die -45 kPa peil ook geen sigbare teken van stremming was nie. Dit moet egter in gedagte gehou word dat daar telkens na die matrikspotensiaal op 300mm gronddiepte verwys word.

Vyf blokke van 60m x 24m is gebruik en aangrensende blokke was 18m vanaf mekaar. Elke blok is met handlyne wat permanent daar bly staan het, besproei.

Die volgende waarnemings is gemaak teen die frekwensie soos aangedui:

Waarneming	Frekwensie
* Reën en Besproeiing	Daaglik
* Grondwaterinhoud	Elke weeksdag (Minstens voor en na elke besproeiing)
* Matrikspotensiaal	Elke weeksdag op behandelings 1, 2 en 3
* Fraksionele onderskeping, blaaroppervlakte,	Weeklik (Metings slegs op Evert se perseel)
* Wortelontwikkeling	Twee keer in seisoen
* Opbrengs	Eenmalig
* Klimaat	Uurlik
* Verdamping	Daaglik

3.3 RESULTATE EN BESPREKING

Waterverbruik en opbrengs

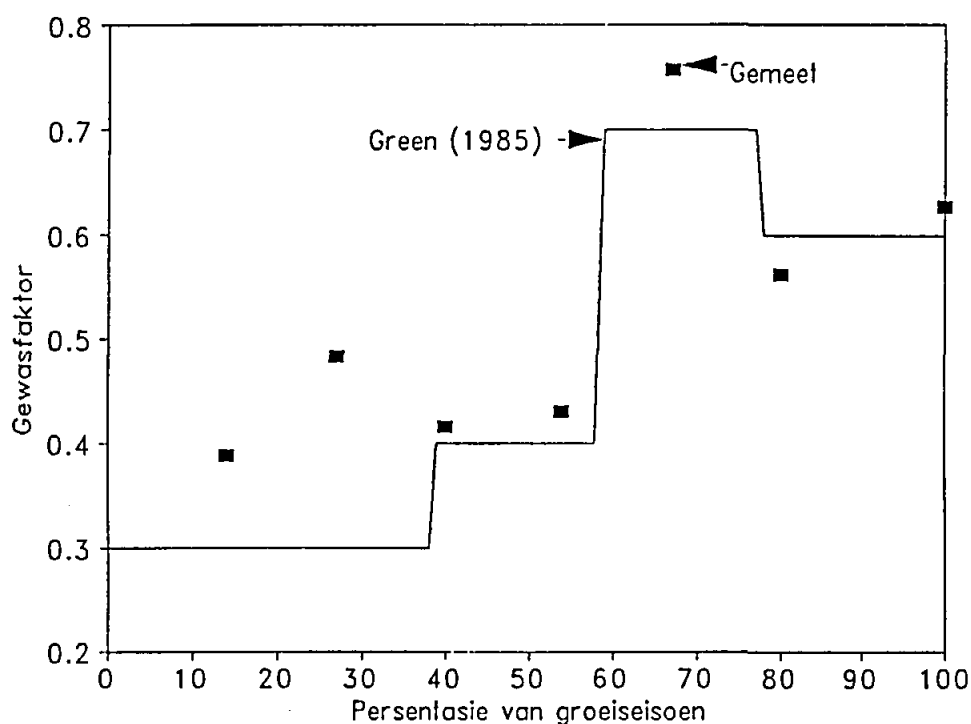
Die totale hoeveelheid water toegedien en verbruik van die verskillende aanplantings was as volg:

Aanplanting	Toegedien	Verbruik
1992-erte	302	242
1993-Evert	266	213
1993-Basie	224	181
1993-Retensie	260	243
1993-Kontrole 1	228	231
1993-Kontrole 2	256	178

Statistiese ontledings kon nie gedoen word om te bepaal of die verskille betekenisvol is nie, aangesien geen herhalings gedoen is nie. Die watergebruik per eenheid opbrengs van die verskillende behandelings kan ook nie vergelyk word nie aangesien die opbrengs slegs vir die land in sy geheel gemeet is. Alhoewel daar beplan is om opbrengste per behandeling te bepaal,

is die proewe in beide jare deur Langeberg Voedsel se oesmasjiene gestroop voordat individuele persele uitgeoes kon word. Die opbrengste is gevolglik slegs as gemiddeldes vir die proef bepaal. Daar was nie egter visueel waarneembare verskille in opbrengs tussen behandelings nie. Die verskille in watergebruik kan gevolglik nie verklaar word nie.

Die gewasfaktore vir die 1993-aanplantings teenoor dié volgens Green (1985) word in Figuur 3.1 getoon. Die gemiddelde gewasfaktore is bereken vir die twee kontrole-behandelings en die retensie-behandeling.



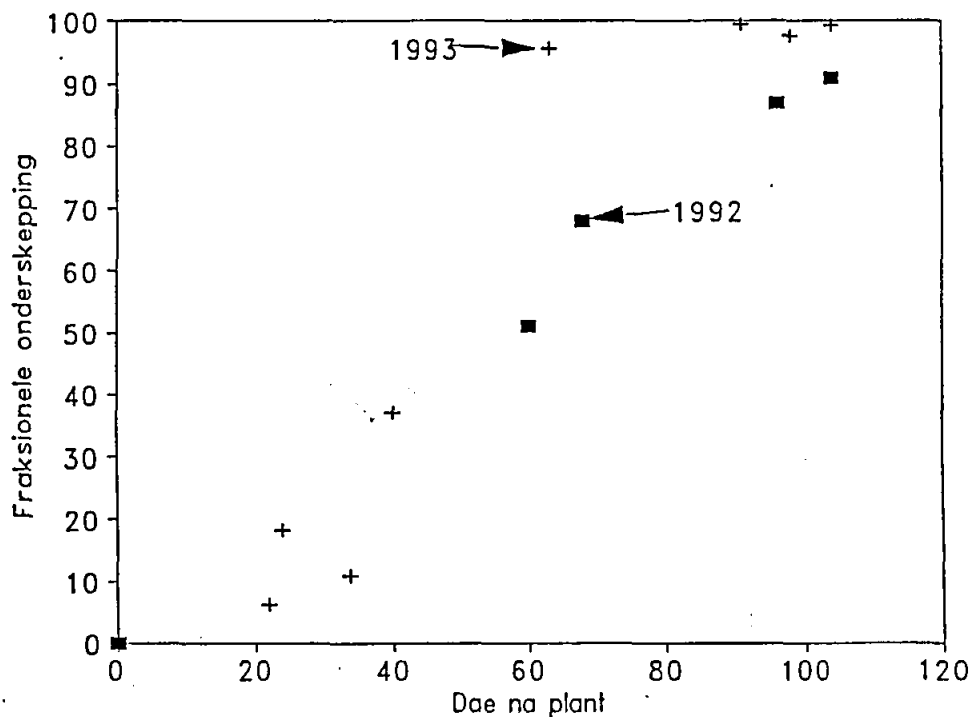
Figuur 3.1 Gewasfaktore vir die 1993-groenerte in vergelyking met dié volgens Green (1985).

Die data toon baie goeie ooreenstemming tussen die 1993-gemete gewasfaktore en dié van Green (1985). Dit moet in ag geneem word dat die gewasfaktore volgens Green (1985) vir die vegetatiewe stadium afwaarts aangepas is op grond van die bevindings van Strydom & Van Eeden (1967), dat matige stremming gedurende die vegetatiewe stadium nie opbrengste verlaag nie. Gedurende hierdie 1993-proewe is geen doelbewuste stremming gedurende enige groeistadium toegepas nie.

Dit kan egter aanvaar word dat daar wel 'n kwantifiseerbare negatiewe verband tussen matige stremming gedurende die vegetatiewe stadium en opbrengs bestaan. Afhange van dié verwantskap en die prys van die produk, die besproeiings- en ander produksiekostes, behoort dan bepaal te kan word of ertjies gedurende vegetatiewe stadia gestrem behoort te word al dan nie. Afhange van bogenoemde verband en die kostes en voordele wat daaraan verbonde is, kan daar oorweeg word om die gewasfaktore vir die eerste 40% van die groeiseisoen te verhoog na 0.4. Veiligheidshalwe word aanbeveel dat hierdie aanpassing gemaak word.

Blaredak ontwikkeling

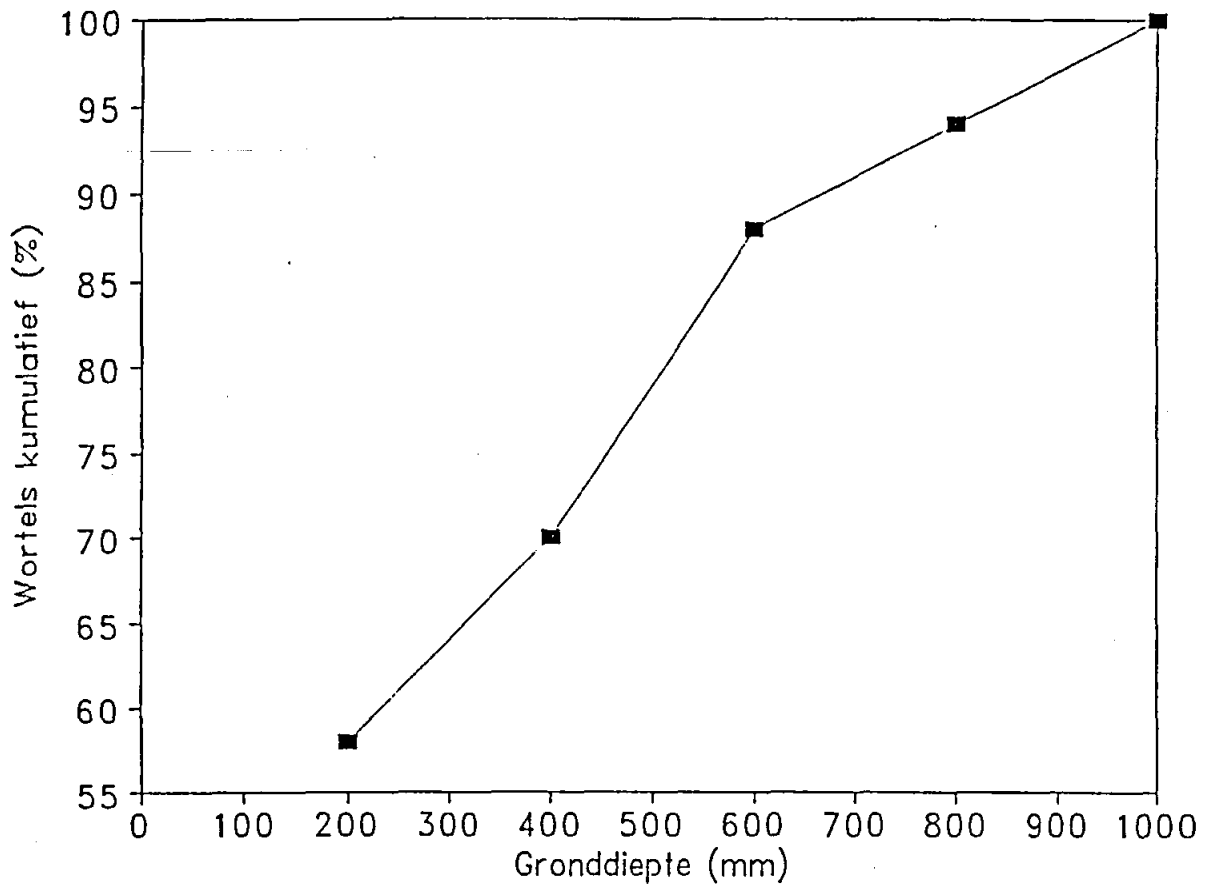
Die ontwikkeling van die blaredak is gemonitor deur fraksionele onderskepping (FI) en blaaroppervlaktes te meet. Die blaaroppervlaktes is gebruik om die verwantskap tussen blaaroppervlakte en fraksionele onderskepping te bereken en is in hoofstuk 7 gebruik. Die fraksionele onderskepping vir die 1992 en 1993 aanplantings word in Figuur 3.2 getoon. Die 1993 behandelings is nie afsonderlik gemeet nie. Daar was geen sigbare verskille tussen die verskillende behandelings nie.



Figuur 3.2 Fraksionele onderskepping van fotosinteties aktiewe straling deur groenerte vir die 1992 en 1993 aanplantings.

Wortelontwikkeling

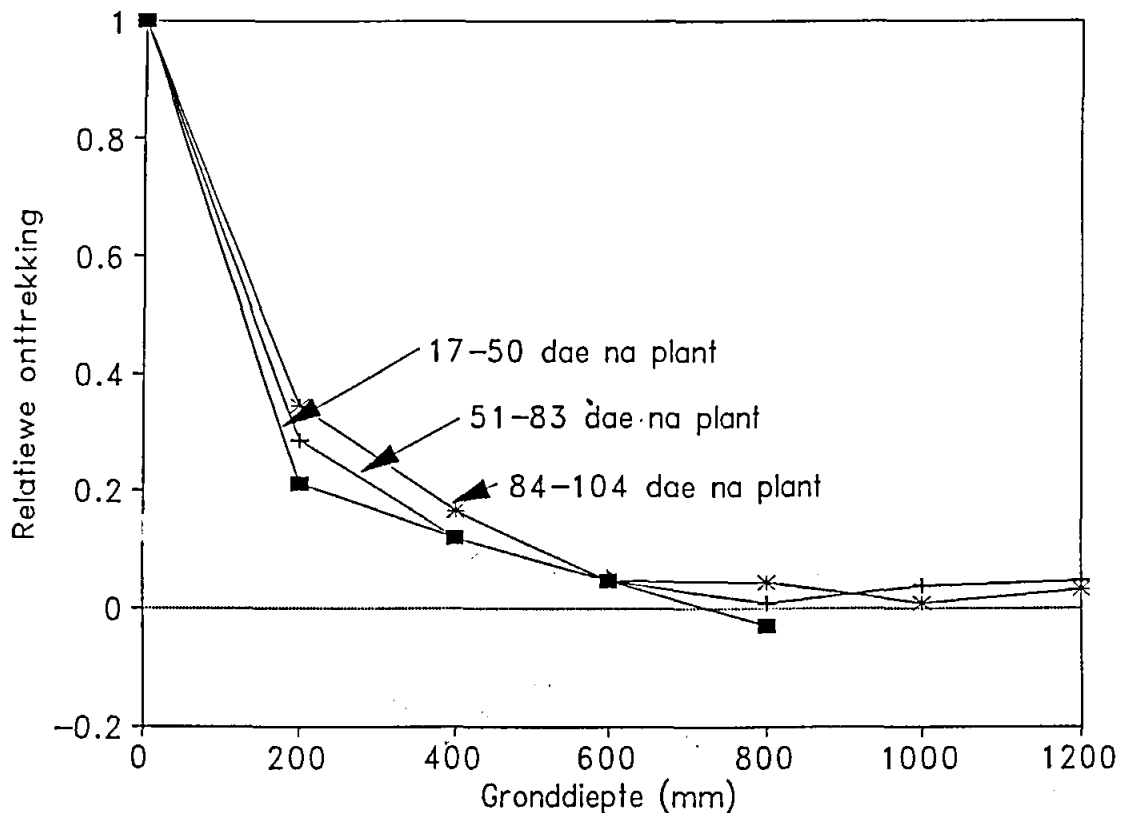
Die kumulatiewe persentasie wortels vir die verskillende gronddieptes word in Figuur 3.3 aangebied.



Figuur 3.3 Kumulatiewe persentasie wortels tot by verskillende gronddieptes net voor oes op 104 dae na plant vir groenerte in Loskop.

Hierdie gegewens dui daarop dat by groenerte daar teen die einde van die groeiseisoen nog steeds byna 90 persent van alle wortels op 'n diepte van minder as 600mm voorkom. Die data moet geïnterpreteer word teen die agtergrond daarvan dat die monsters slegs tot op 'n diepte van een meter geneem is. Die data in figuur 3.3 toon egter dat daar relatief min wortels in die 600mm tot 1000mm voorkom, aangesien die kumulatiewe persentasie wortels vir dié diepte slegs van sowat 90% tot 100% toeneem. Aangesien dié tendens na alle verwagting ook vir verdere dieptes sal geld, kan aanvaar word dat daar weinig wortels dieper as 1m sal voorkom.

Die effektiewe diepte van wateronttrekking is ook bepaal deur die kumulatiewe onttrekking uit die verskillende 200mm-grondlae vir die 1993-data te bereken. Ten einde die onttrekking tydens verskillende stadiums direk met mekaar te kan vergelyk, is die onttrekking uit die boonste laag (0-200mm) as 100% gestel en die onttrekking uit ander lae is dan as 'n persentasie van dié van die bolaag uitgedruk (kyk Figuur 3.4). Die berekenings is gedoen vir periodes wat telkens minstens die eerste twee dae na elke besproeiing uitgesluit het. Sodoende is soveel moontlik tyd vir dreinerings (veral in die dieper grondlae) toegelaat. Alhoewel dit ideaal sou wees om langer periodes vir dreinerings toe te laat, kon dit nie met hierdie data gedoen word nie, aangesien daar weekliks besproei is en die periodes waarvoor die onttrekking gemeet is dan reeds tot slegs 5 dae beperk is.



Figuur 3.4 Relatiewe onttrekking van water deur groenerte uit verskillende grondlae vir drie stadiums gedurende die 1993-groeiseisoen.

Die resultate toon dat die bydrae vanuit grondlae dieper as 450 mm minimaal is. Dit blyk dus dat die aanbeveling van 450 mm effektiewe worteldiepte van Green (1985) redelik is, veral met die oog daarop om verliese deur diep dreinerings te voorkom en om opbrengsverlagende gewasstremming te verhoed.

3.4 GEVOLGTREKKING EN AANBEVELINGS

Uit die resultate van hierdie proewe kan die gevolgtrekking gemaak word dat die gewasfaktore soos deur Green (1985) voorgestel, gebruik moet word met 'n geringe aanpassing vir die vegetatiewe stadium. Die volgende gewasfaktore word dus vir die Loskop besproeiingsgebied aanbeveel:

Gedeelte van groeiseisoen (%)	Gewasfaktor
0-60	0.4
60-80	0.7
80-100	0.6

Alhoewel 'n norm van 450mm vir effektiewe worteldiepte met 50% toelaatbare onttrekking 'n veilige norm is, kan 'n effektiewe worteldiepte van soveel as 1m gebruik word om die effektiewe stoorkapasiteit van die grond beter te benut. Sodoende kan van groter toedieningshoeveelhede en langer besproeiingssiklusse gebruik gemaak word. Indien die dieper worteldieptes egter gebruik word, moet die werklike onttrekkingspatroon vir die dieper grondlae bepaal en in ag geneem word.

3.5 VERWYSINGS

GREEN, G.C., 1985. Beraamde besproeiingsbehoefte van gewasse in Suid-Afrika. Memoirs oor die Natuurlike Landbouhulpbronne van Suid-Afrika. Nr 2. Navorsingsinstituut vir Grond en Besproeiing, Dept Landbou en Watervoorsiening, Pretoria.

STRYDOM, E. & VAN EEDEN, F.J., 1967. Besproeiingswerk met groentegewasse by die Navorsingsinstituut vir Tuinbou. Referatebundel van die Nasionale Besproeiingssimposium van die Dept. Landboutegniese Dienste.

HOOFSTUK 4

BESPROEIINGSRIGLYNE VIR AGURKIES, BEET, GROENBONE, GEELWORTELS EN SUIKERMIELIES.

4.1 INLEIDING

Tydens samesprekinge met Langeberg Voedsel Bpk is 'n dringende behoefte vir gewasfaktore vir groentes wat tans in die Loskop bespoeiingsgebied geproduseer word, aangedui. Die inligting word benodig vir advies aan hul produsente in die gebied.

Daar is spesifiek gevra vir gewasfaktore vir agurkies, beet, geelwortels en suikermielies. In die geval van agurkies is slegs algemene gewasfaktore vir rankgewasse beskikbaar (Green, 1985). In die geval van geelwortels en beet bestaan hoegenaamd geen gewasfaktore nie, terwyl daar by suikermielies ook geen gewasfaktore, behalwe dié vir gewone mielies beskikbaar is nie.

Dit moet duidelik besef word dat hierdie aanbevelings uit een jaar se data gegenereer is. Normaalweg word gewasfaktore oor minstens 'n paar jaar se data bereken. Aangesien daar egter so 'n dringende behoefte bestaan en die projek beëindig word, word die gewasfaktore wel bereken en as riglyne aanbeveel.

4.2 DOELSTELLINGS

Die doel van hierdie ondersoek was:

- * om gewasfaktore vir die besproeiingsskedulering van agurkies, beet, geelwortels en suikermielies te bepaal;
- * om gewasfaktore vir groenbone te verfyn;
- * om datastelle van watergebruik en fraksionele onderskepping te genereer vir latere gebruik in modelering.

4.3 ONDERSOEKPROSEDURE

Die proewe is in 'n kommersiële aanplanting by Mnr Evert du Plessis (perseel J11) in die Loskop besproeiingsgebied naby Marble Hall uitgevoer. Die inligting aangaande cultivarkeuse, plantdatum, oesdatum en rywydte word in Tabel 4.1 opgesom.

Tabel 4.1 Cultivarkeuses, plantdatums, oesdatums en rywydte vir die groentegewasse wat ondersoek is.

	Agurkies	Beet	Groenbone	Geelwortel	Suikermielie
Cultivar	Quest	Red Ace	Espada	Kaapse Mark	Dora
Plantdatum (93)	20/1	6/3	11/2	4/2	6/9
Oesdatum (93)	26/2 - 5/4	1/10	16/4	10/6	22/11
Rywydte (m)	1.0	0.35	0.46	0.5	0.9

By elkeen van die gewasse is 'n perseel in die kommersiële land uitgemerk en deur die projekpersoneel gemonitor en besproei. Besproeiingsbestuur was daarop ingestel om te verseker dat gewasse nooit gestrem word deur watertekorte nie en dat diep dreinerings nie plaasgevind het nie.

Die volgende waarnemings is gemaak teen die frekwensies soos aangedui:

- | | |
|----------------------------|--------------------------------------|
| * Grondwaterinhoud | Minstens voor en na elke besproeiing |
| * Frasionele onderskepping | Weekliks |
| * Reën en Besproeiing | Daagliks |
| * Verdamping | Daagliks |

Verdampingsyfers vir die periode 20/1/93 tot 31/3/93, toe verdamping nog nie op die perseel gemeet is nie, is verkry vanaf Langeberg Voedsel. Dié verdamping is by Langeberg Voedsel se fabriek, sowat 12 kilometer ver vanaf die proef, gemeet. Die verdampingsyfers vir die periode vanaf 1/4/93 tot 25/12/93 is op die perseel gemeet.

In die geval van geelwortels is die grond net na saai met 'n strooilaag bedek om uitdroging van die bolaag tydens ontkieming te beperk. By beet is daar nie 'n strooilaag gebruik nie, maar is 'n hoër aanvanklike besproeiingsfrekwensie gebruik om goeie ontkieming te bevorder.

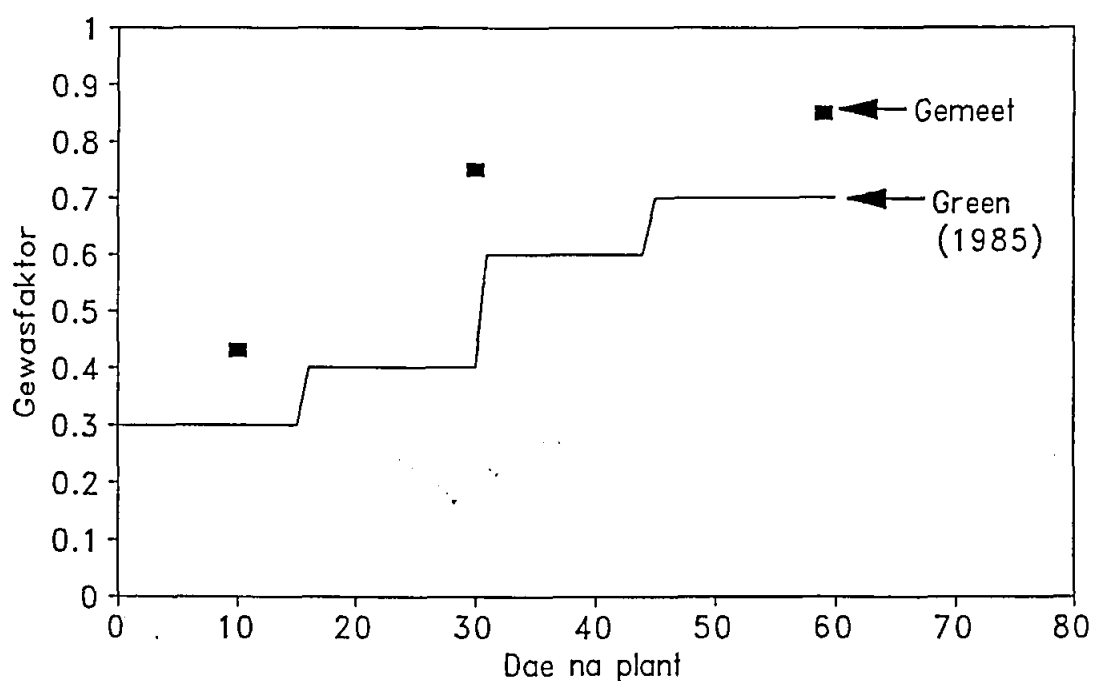
4.4 RESULTATE EN BESPREKING

Die resultate word aangebied in die vorm van besproeiingsriglyne in terme van gewasfaktore en blaredakontwikkeling teenoor dae na plant.

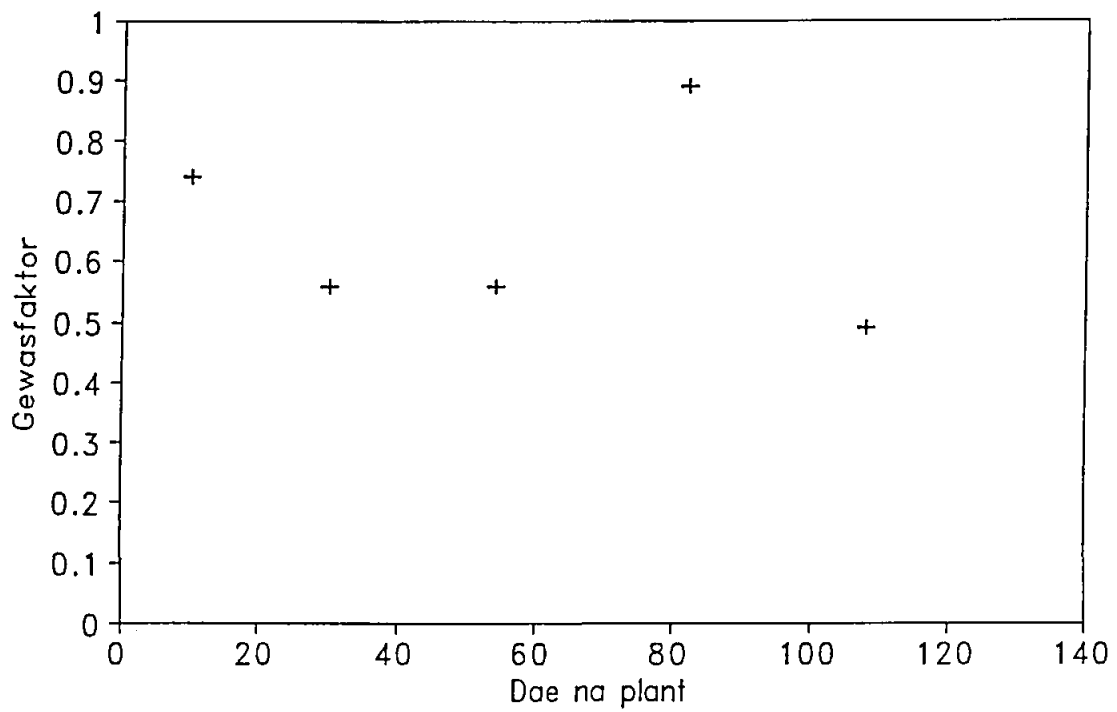
Gewasfaktore

Gewasfaktore, saam met bestaande riglyne waar beskikbaar, word in die volgende figure vertoon

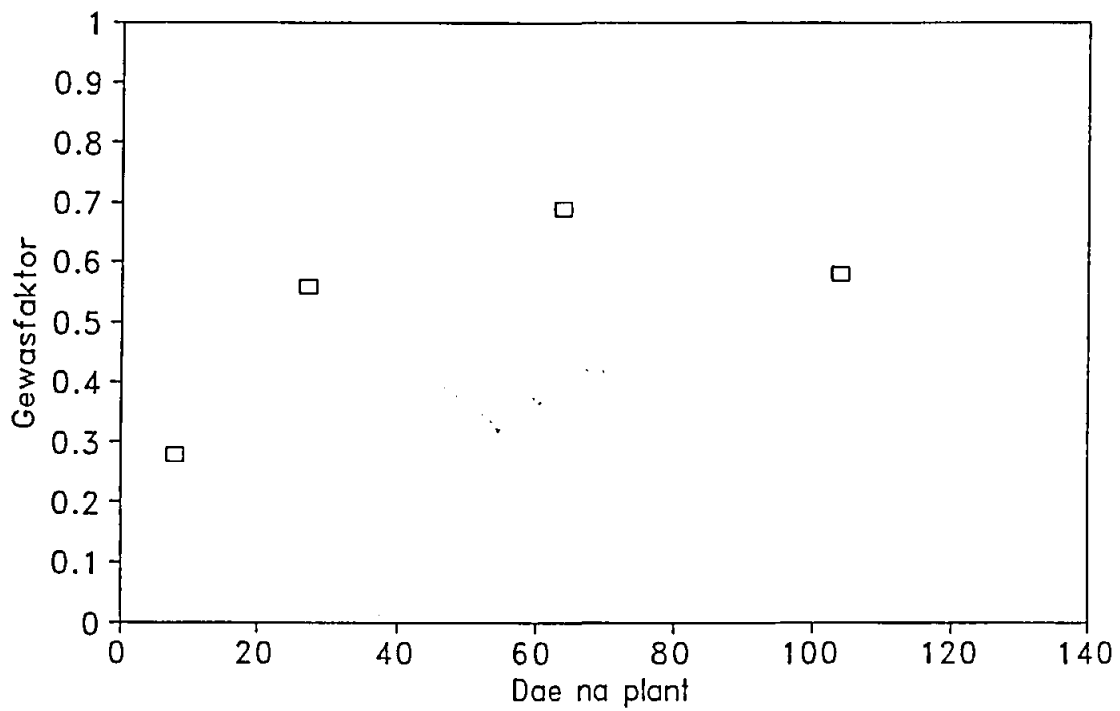
Agurkies	Figuur 4.1
Beet	Figuur 4.2
Geelwortels	Figuur 4.3
Groenbone	Figuur 4.4
Suikermielies	Figuur 4.5



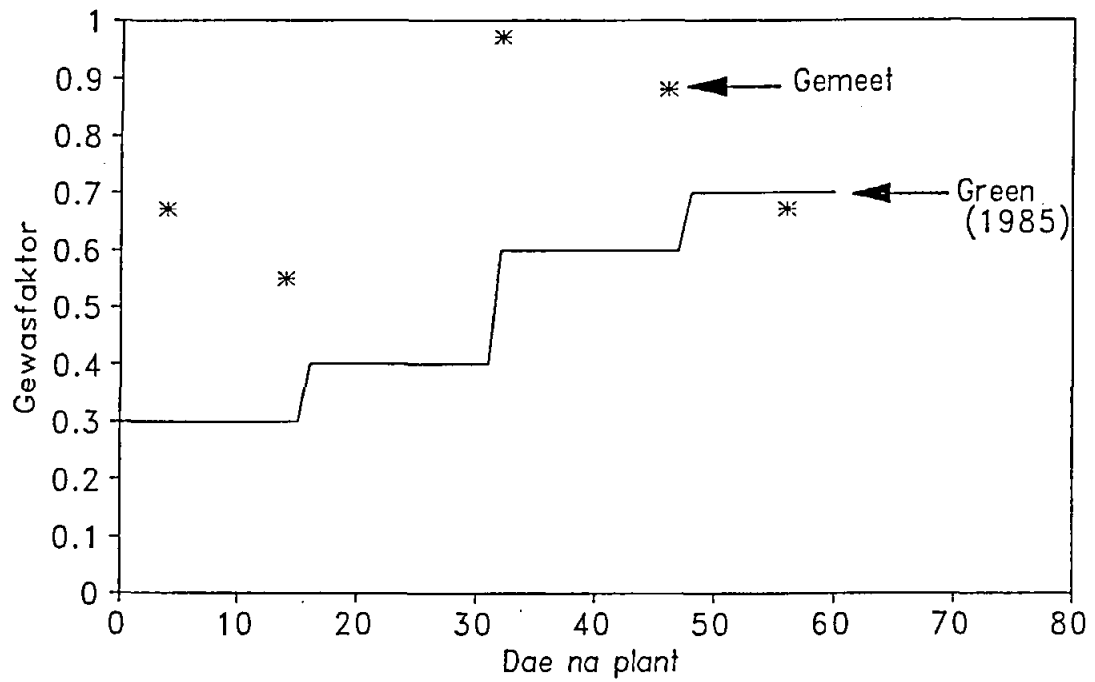
Figuur 4.1 Gemete gewasfaktore vir agurkies in die Loskop besproeiingsgebied soos bepaal teenoor riglyne vir rankgewasse volgens Green, 1985.



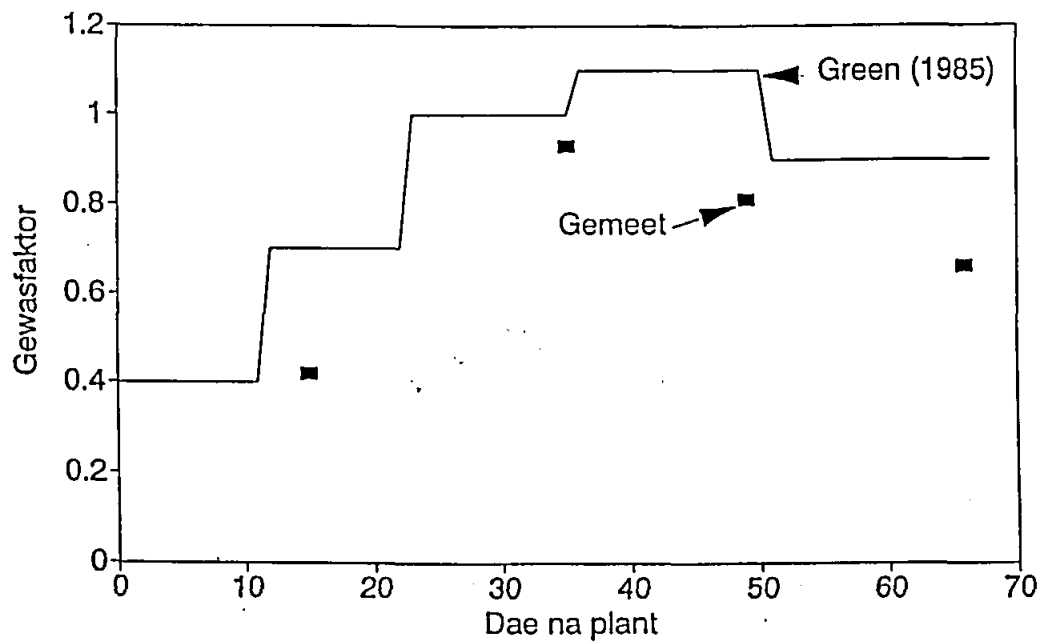
Figuur 4.2 Gemete gewasfaktore vir beet in die Loskop besproeiingsgebied.



Figuur 4.3 Gemete gewasfaktore vir geelwortels in die Loskop besproeiingsgebied.



Figuur 4.4 Gemete gewasfaktore vir groenbone in die Loskop besproeiingsgebied soos bepaal teenoor riglyne volgens Green, 1985.



Figuur 4.5 Gemete gewasfaktore vir suikermielies in die Loskop besproeiingsgebied soos bepaal teenoor riglyne wat afgelei is van riglyne vir mielies volgens Green, 1985.

Die gemete gewasfaktore vir agurkies, soos gerapporteer in Figuur 4.1, is deurgaans hoër as die riglyne wat deur Green (1985) vir rankgewasse aanbeveel is. Alhoewel slegs een seisoen se data gerapporteer word, word aanbeveel dat dit eerder gebruik word as die riglyne van Green (1985) wat geëkstrapoleer is vanaf data van ander gebiede.

By beet en geelwortels, wat bekend is daarvoor dat besonderse sorg nodig is om goeie vestiging te verseker, kan die invloed van verskillende vestigingspraktyke op gewasfaktore duidelik in die riglyne waargeneem word. Die hoër aanvanklike gewasfaktore by beet is toe te skryf aan die hoër besproeiingsfrekwensie wat gebruik is om goeie ontkieming te verseker. By geelwortels, waar die saadbed tydens ontkieming met strooi bedek is en daar teen 'n laer frekwensie besproei is, is die aanvanklike gewasfaktore laer. Hierdie resultate demonstreer die belang daarvan dat 'n empiriese benadering soos hierdie oordeelkundig toegepas moet word. Aangesien verdamping vroeg in die groeiseisoen, die oorheersende komponent van evapotranspirasie is, word die aanname gemaak dat die verskille in transpirasie tussen verskillende groente, weglaatbaar klein is. Gevolglik kan die gewasfaktore soos wat dit vir beet, sonder 'n deklaag, bepaal is, as algemene riglyn aanvaar word vir die vestigingsperiode van enige groente, wat met kort besproeiingssiklusse gevestig word. Net so word aanvaar dat 'n aanvanklike gewasfaktor van 0,4 gebruik kan word vir groentes wat met behulp van 'n strooideklaag en langer besproeiingssiklusse gevestig word.

Die gewasfaktore soos bepaal vir groenbone, is vergelyk met riglyne soos deur Green (1985) aanbeveel vir bone in die algemeen. Aangesien groenbone egter nie soos droë bone deur die rypwordingsstadium gaan nie, is die gemete gewasfaktore slegs met die gewasfaktore vir die eerste 80 persent van die groeiseisoen vergelyk. Soos in Figuur 4.3 gesien kan word, moet hoër gewasfaktore gebruik word, aangesien die bestaande gewasfaktore te laag is.

Alhoewel besef word dat een stel data nie voldoende is om betroubare gewasfaktore op te stel nie, word tog aanbeveel dat hierdie gemete gewasfaktore tydelik gebruik word tot tyd en wyl beter riglyne beskikbaar is. By suikermielies is die gemete gewasfaktore vergelyk met gewasfaktore wat afgelei is van riglyne wat Green (1985) vir laat geplante (kort groeiseisoen) mielies aanbeveel.

Tabel 4.2 Gewasfaktore vir laat geplante mielies (Green, 1985), teenoor afgeleide gewasfaktore vir suikermielies met 'n 68 dae groeiseisoen.

Green (1985)		Afgelei van Green (1985)		Gewasfaktor
% van seisoen	Dae na plant	% van seisoen	Dae na plant	
14	1-17	16	1-11	0.4
28	18-34	32	12-22	0.7
42	35-51	50	23-34	1.0
72	52-86	75	35-51	1.1
86	87-103	100	52-68	0.9
100	104-120			0.5

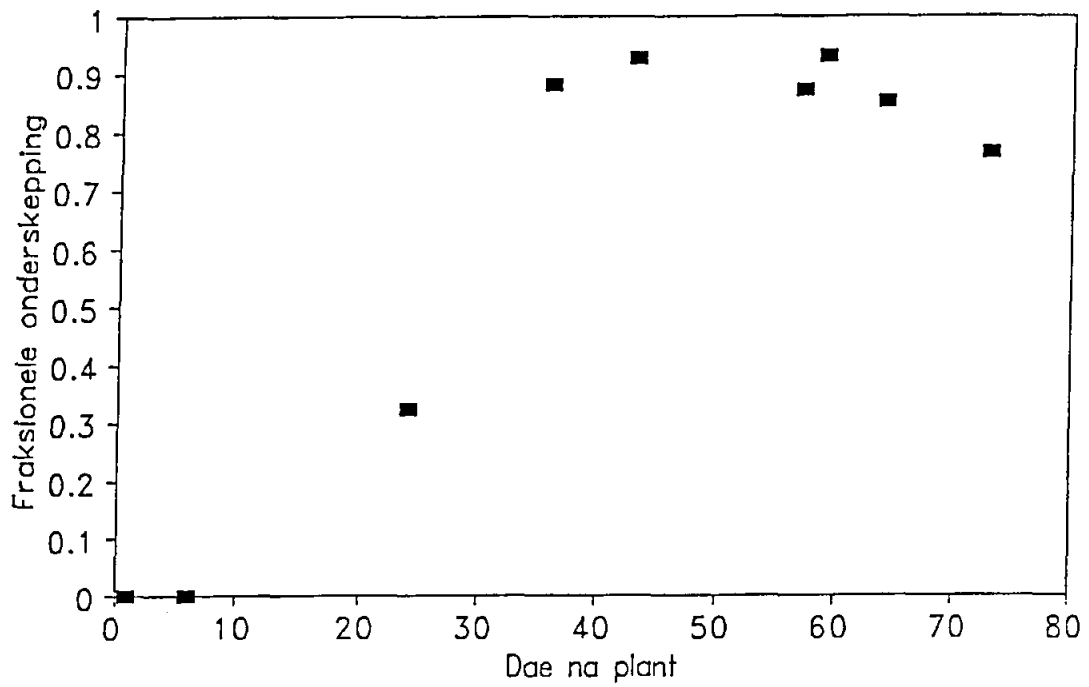
* Die afgeleide gewasfaktore, soos in Tabel 4.2 gesien word, is verkry deur slegs die eerste 86% van die groeiseisoen soos vir gewone mielies aanbeveel, te gebruik. Die rede hiervoor is dat die 104-120 dae-na-plant-periode by mielies, die rypwordingsstadium verteenwoordig en suikermielies, wat groen geoes word, nie deur die rypwordingsstadium gaan nie. Dié 86% van die groeiseisoen wat wel in berekening gebring is, is proporsioneel aangepas om die volle 100% van die groeiseisoen van suikermieleis te verteenwoordig.

Die resultate (Figuur 4.5), toon dat die gemete gewasfaktore deurgaans laer is as dié wat van bestaande riglyne afgelei is.

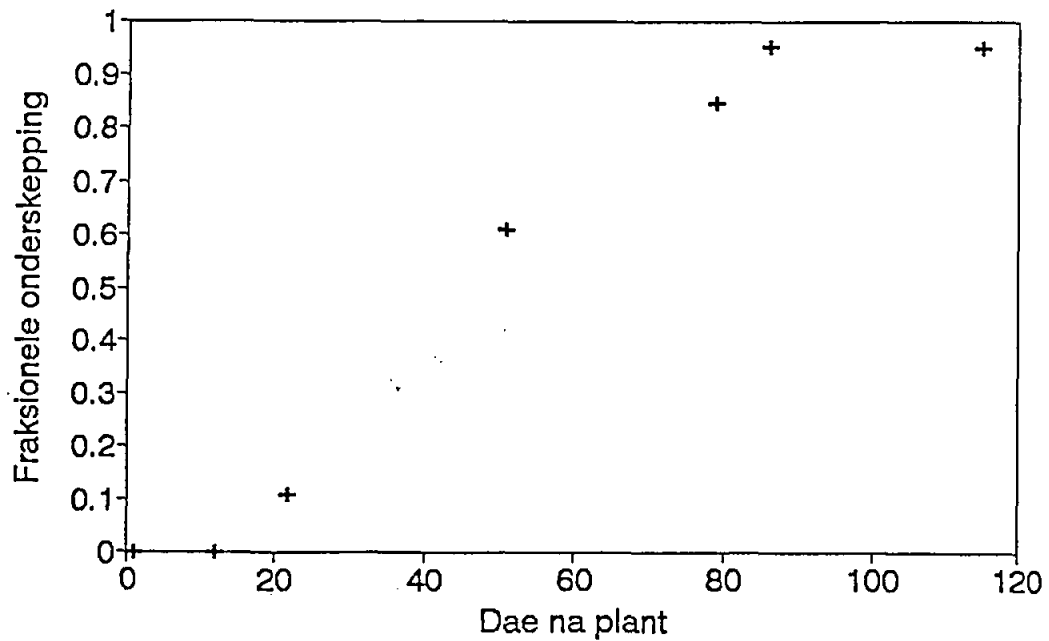
Blaredakontwikkeling

Die blaredakontwikkeling, soos weerspieël deur gemete fraksionele onderskepping (FI), word in die volgende figure getoon.

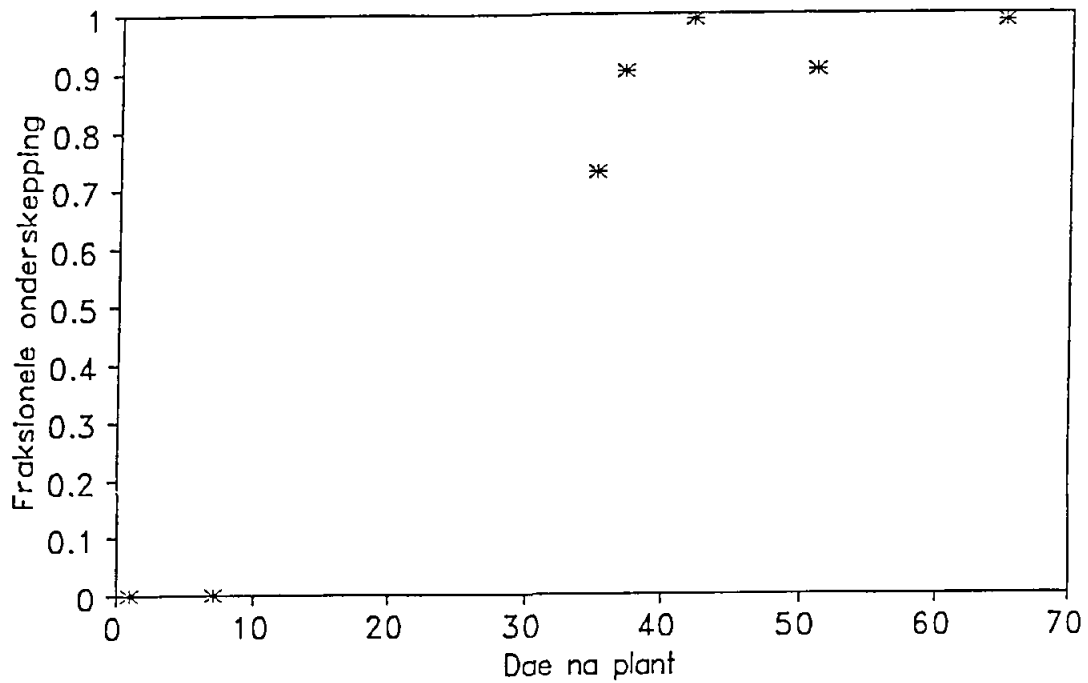
Agurkies	Figuur 4.6
Beet	Figuur 4.7
Groenbone	Figuur 4.8
Geelwortels	Figuur 4.9
Suikermielies	Figuur 4.10



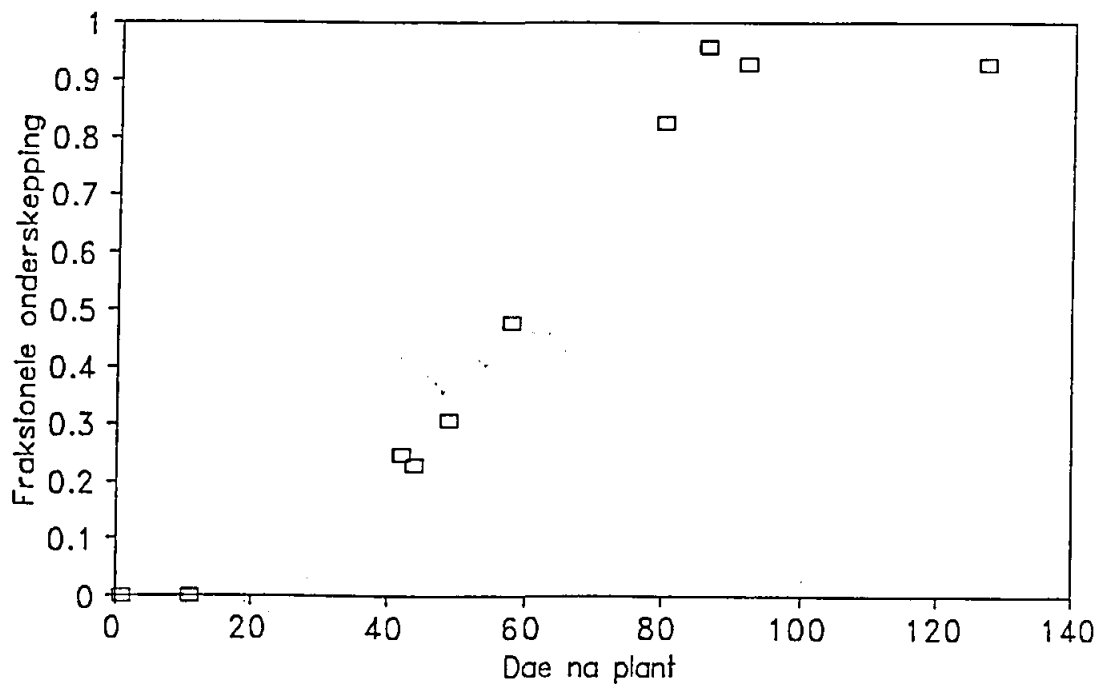
Figuur 4.6 Fraksionele onderskepping van fotosinteties aktiewe straling teenoor dae na plant vir agurkies in die Loskop besproeiingsgebied.



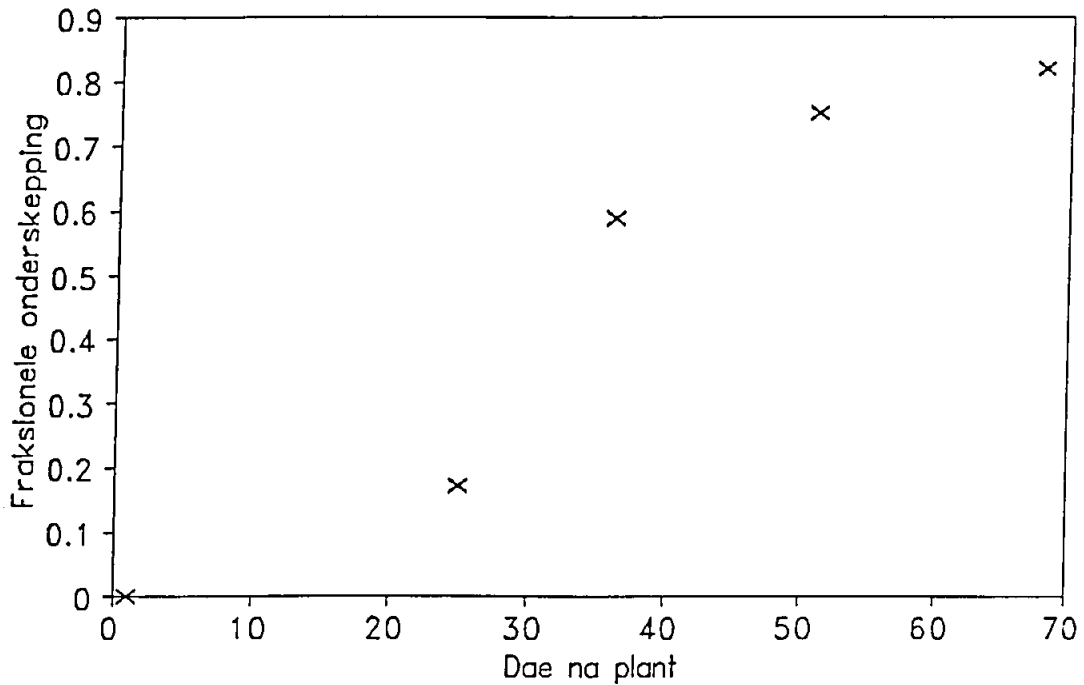
Figuur 4.7 Fraksionele onderskepping van fotosinteties aktiewe straling teenoor dae na plant vir beet in die Loskop besproeiingsgebied.



Figuur 4.8 Fraksionele onderskepping van fotosinteties aktiewe straling teenoor dae na plant vir groenbone in die Loskop besproeiingsgebied.



Figuur 4.9 Fraksionele onderskepping van fotosinteties aktiewe straling teenoor dae na plant vir geelwortels in die Loskop besproeiingsgebied.



Figuur 4.10 Fraksionele onderskepping van fotosinteties aktiewe straling teenoor dae na plant vir suikermielies in die Loskop besproeiingsgebied.

4.5 AANBEVELINGS

Aanbevole gewasfaktore en riglyne vir fraksionele onderskepping (FI) word in Tabel 4.3 getoon.

Tabel 4.3 Gewasfaktore (F) en fraksionele onderskepping (FI) vir groenerte, agurkies, beet, groenbone, geelwortels en suikermielies.

Gewas Dae tot oes	Agurkies 72		Beet 115		Groenbone 63		Geelwortels 125		Suikermielies 68	
Persentasie van seisoen	F	FI	F	FI	F	FI	F	FI	F	FI
0-20	0.4	0.01	0.8*	0.05	0.6	0.01	0.8*	0.01	0.4	0.01
20-40	0.6	0.30	0.5	0.37	0.6	0.18	0.5	0.17	0.8	0.18
40-60	0.8	0.80	0.6	0.70	0.9	0.61	0.7	0.58	0.9	0.53
60-80	0.8	0.90	0.8	0.90	0.9	0.95	0.7	0.88	0.8	0.73
80-100	0.8	0.80	0.6	0.95	0.7	0.98	0.6	0.93	0.7	0.79

*Gebruik 0.4 indien 'n strooideklaag gebruik word.

Die waterbehoefte vir die verskillende gewasse is bereken deur die aanbevole riglyne en langtermyn gemiddelde verdampingssyfers te gebruik. Die piekbehoefte in mm per dag word ook aangedui tesame met die maand waarin die piek voorkom. Let daarop dat hierdie besonderhede sal wissel met plantdatum en dat onderstaande syfers net geld vir die plantdatums soos in hierdie navorsing toegepas is.

Gewas	Waterbehoefte	Piekbehoefte (Maand)
Agurkies	317	5.5 (Februarie)
Beet	342	4.8 (Maart)
Groenbone	279	5.4 (Maart)
Geelwortels	436	5.5 (Februarie)
Suikermielies	319	6.0 (Oktober)

4.6 VERWYSING

GREEN, G.C., 1985. Beraamde besproeiingsbehoefte van gewasse in Suid-Afrika. Memoirs oor die Natuurlike Landbouhulpbronne van Suid-Afrika. Nr 2. Navorsingsinstituut vir Grond en Besproeiing, Dept Landbou en Watervoorsiening, Pretoria.

HOOFSTUK 5

PRAKTIESE BESPROEIINGSKEDULERING MET BEHULP VAN MATRIKSPOTENSIAAL LESINGS

5.1 INLEIDING

Tydens 'n opname wat in 1986 in die Loskop besproeiingsgebied gedoen is, het 61 % van die respondente aangedui dat hulle tensiometers besit. Gedurende die 1993-opname is bevind dat slegs 15 % van die boere nog tensiometers gebruik. Hieruit kan afgelei word dat die tegniek van skedulering met tensiometers vir baie boere aanvaarbaar voorgekom het, maar dat die koste en moeite later volgens hul mening die voordeel oorskadu het.

Die doel met die verdere ontwikkeling van hierdie skeduleringstegniek was om die praktiese toepassing van besproeiingskedulering te bevorder. Met hierdie ontwikkeling is gepoog om die koste/voordeel-skaal voordelig te swaai deur die gebruiker te help om die volle potensiële voordeel uit die tegniek te put en deur die kostes en moeite wat dit verg tot die minimum te beperk.

Ten einde bogenoemde doelstelling te bereik is 'n rekenaarmodel, TENSMOD, ontwikkel. Die model doen al die berekenings vir die verbruiker ten einde die bereiking van bogenoemde doelstelling te bevorder. Ten einde die spoedige en algemene toepassing van die model moontlik te maak, is doeltreffend slegs van bestaande tegnologie en kennis gebruik gemaak. Die insetdata is tot die minimum beperk en daar is verseker dat slegs insetdata wat algemeen beskikbaar is, gebruik word.

Die model is gedurende die 1993-winterseisoen in die Loskop besproeiingsgebied gebruik en goeie resultate is behaal. Die model is in die vorm van 'n sigblad in Lotus 123 opgestel en gebruik.

Behoeftes vir verdere ontwikkeling van die model is geïdentifiseer en word aangetoon.

5.2 BESKRYWING VAN DIE MODEL

Die volgende beskrywing van die model het slegs ten doel om die funksionele werking daarvan te verduidelik, aangesien die model nog nie in 'n gebruikersvriendelike formaat geprogrammeer is nie.

Die model word in die vorm van 'n vloeiagram voorgestel in Figuur 5.1 . Die gebruik van die model behels aanvanklik 'n eenmalige opstelling van insetdata vir elke land of aanplanting en daarna word vir die roetine gebruik van die model slegs die matrikspotensiaallesings ingevoer. Atmosferiese verdampingsaanvraag kan opsioneel ingevoer word met die voordeel dat vooruitskattings dan meer akkuraat gedoen word. Reënval en besproeiing word nie in die model gebruik nie, maar kan opsioneel ingevoer word sodat dit dan saam met die ander data op rekord gehou word. Nadat matrikspotensiaallesings ingevoer is, word die berekening van worteldiepte en die grondwaterbalans uitgevoer. Daarna word evapotranspirasie bereken. Die model bereken dan die optimum sikluslengte en besproeiingshoeveelheid. Indien die boer 'n eie sikluslengte ingevoer het, word die besproeiingshoeveelheid daarvoor bereken.

OPSTEL VAN INSETDATA

↓

DATA INVOERE

Tensiometerlesings

Opsionele data

↓

BEREKENINGE

Worteldiepte

Grondwaterbalans

↓

BESPROEIINGSAANBEVELING

Dae voor besproei, maksimum hoeveelheid

Figuur 5.1 'n Vloeiagram van die TENSMOD skeduleringsmodel

Die verskillende stappe, soos in Figuur 5.1 getoon, word vervolgens kortliks bespreek.

Opstel van insetdata:

Die model vereis dat die nodige insetdata eenmalig vir elke land verskaf moet word. Die insetdata wat benodig word, is die volgende:

- * Plantdatum;
- * Langtermyn gemiddelde verdamping;
- * Gewasfaktore;
- * Aanvanklike worteldiepte (plantdiepte) en maksimum worteldiepte;
- * Wortelgroeitempo in mm/dag;
- * Die besproeiingstelsel se toedieningstempo;
- * Matrikspotensiaal by veldwaterkapasiteit;
- * Koëffisiënte van kwadratiese retensiekrommes vir die verskillende grondlae;
- * Besproeiingsriglyne in terme van die drumpel matrikspotensiaal in die verskillende grondlae waarby besproei moet word.

Die insetdata aangaande plantdatum, langtermyn gemiddelde verdamping, gewasfaktore, aanvanklike worteldiepte, maksimum worteldiepte, wortelgroeitempo en toedieningstempos is algemeen beskikbaar. Aangesien die insetdata aangaande matrikspotensiaal by veldwaterkapasiteit, koëffisiënte vir retensiekrommes en besproeiingsriglyne (drumpel matrikspotensiaal waarby besproei moet word), minder bekend is, word die verkryging daarvan kortliks bespreek.

Matrikspotensiaal by veldwaterkapasiteit: Die matrikspotensiaal by veldwaterkapasiteit kan baie maklik in die veld bepaal word. Die bepaling word verkieslik gedoen op 'n plek of tydstip waar daar nie 'n gewas gevestig is nie. Tensiometers word geïnstalleer en dan word daar voldoende water toegedien om te verseker dat die grond tot veldwaterkapasiteit benat word tot dieper as die diepste laag, wat gemeet moet word. Na die toediening moet die grondoppervlakte met plastiek bedek word om verdamping te voorkom en voldoende tyd word toegelaat, sodat alle oortollige vrywater kan wegdreineer. Meer tyd moet vir swaarder as vir ligter gronde, veral vir die dieper grondlae, toegelaat word, omdat die versadigde hidrouliese

geleivermoeë van swaarder gronde laer is en dit dus langer neem vir water om deur die dieper grondlae te dreineer. Na ongeveer 24 tot 48 uur kan die tensiometers van die verskillende dieptes dan geles word en hierdie matrikspotensiale verteenwoordig dan veldwaterkapasiteit.

Verkryging van koëffisiënte vir retensiekrommes: 'n Retensiekromme wat die volumetriese waterinhoud (mm water per m gronddiepte) by verskillende matrikspotensiale kwantifiseer, word benodig. Die retensie-verwantskappe van verskillende grondtipes verskil en daarom is dit belangrik om te verseker dat gepaste krommes verkry of gemeet word. 'n Voorbeeld van so 'n kromme kan in Figuur 5.2 gesien word.

Indien 'n retensiekromme reeds bekend en beproef is en hierdie kromme reeds in die vorm van 'n kwadratiese regressievergelyking beskryf is, kan die konstante en koëffisiënte van die vergelyking net so gebruik word. Indien 'n retensiekromme egter nie beskikbaar is nie, moet dit bepaal word en die ideaal is om dit *in situ* vir elke land of minstens vir elke grondtipe op die plaas te bepaal. Retensiekrommes kan as volg *in situ* bepaal word: Die bepaling moet verkieslik op 'n tydstip uitgevoer word wanneer daar 'n gewas op die land groei. Sodoende vind die uitdroging van die grond vinniger plaas en kan die bepaling, wat by verskillende waterinhoude gedoen moet word, in 'n kort periode (1-2 weke) afgehandel word. 'n Paar tensiometers (verkieslik minstens twee vir elke grondlaag) word geïnstalleer. Voldoende water word toegedien om te verseker dat die grond tot dieper as die diepste laag, wat gemeet moet word, tot veldwaterkapasiteit benat is. Datapunte van tensiometerlesings en gepaardgaande gravimetrisiese grondwaterinhoud word dan telkens gemeet sodra die matrikspotensiaallesing met 'n verdere nagenoeg 5-10 kPa gedaal het. Grondmonsters kan met 'n grondboor direk langs die tensiometer verwyder word, ten einde die waterinhoud daarvan gravimetries te bepaal. Telkens nadat twee of drie monsters so verwyder is, moet die tensiometer na 'n nuwe posisie verskuif word, aangesien die versteuring van die grond die lesings kan beïnvloed. Daar moet liefers nie tensiometerlesings onder -70 kPa ingesluit word nie, aangesien dit nie betroubaar is onder hierdie waarde nie. Die datapunte word dan ingevoer en die model bereken die retensiekoëffisiënte deur 'n kwadratiese regressie uit te voer. Die brutodigtheid van die grond moet ook vir elk van die grondlae waar tensiometers geplaas is, bepaal word, sodat die volumetriese waterinhoud bereken kan word.

Indien 'n bekende en beproefde retensievergelyking beskikbaar is, maar nie in die formaat van 'n kwadratiese retensievergelyking beskryf is nie, kan die beskikbare vergelyking gebruik word om 'n stel datapunte van matrikspotensiaal teenoor grondwaterinhoud te genereer. Hierdie datastel word dan in die model ingelees en die model bereken dan die koëffisiënte deur kwadratiese regressie.

Indien slegs die waterinhoud en matrikspotensiaal van enige twee punte op die retensiekromme bekend is, kan die model op grond daarvan die retensiekromme se koëffisiënte bereken. Veldwaterkapasiteit en 'n punt by nagenoeg -70 kPa word verkies. 'n Afsonderlike berekening vir 'n reglynige log-log-retensiekromme word dan in 'n ander deel van die model gedoen om eers die koëffisiënte van die retensiekromme te bepaal. Hierdie berekenings word volledig beskryf deur Campbell (1985). Hierdie benadering kan gebruik word om binne enkele dae 'n voorlopige retensiekromme te bepaal. Tensiometers word dan in 'n relatief droë plek in die land geïnstalleer om die data van die droë punt te verkry. Terselfdertyd word die bepaling vir die veldwaterkapasiteit na besproeiing gedoen, soos hierbo beskryf.

Indien slegs die klei-inhoud en die katioon uitruilvermoeë bekend is, kan die benodigde punte vir 'n kwadratiese regressie bereken word volgens die tegniek soos beskryf deur Botha en Eisenberg (1993).

Indien slegs die klei-inhoud bekend is, kan die benodigde punte vir die kwadratiese regressie bereken word volgens die prosedures soos beskryf deur Bennie, Coetzee, Van Antwerpen, Van Rensburg en Burger (1988).

Alhoewel daar verskeie opsies bestaan, word die gebruiker aangeraai om in die volgorde wat die opsies hier beskryf is, die eerste opsie, waarvoor hy oor al die nodige insetdata beskik, te gebruik. Alhoewel dit nie deel van hierdie ondersoek uitgemaak het om die opsies teenoor mekaar te evalueer nie, word verwag dat opeenvolgende opsies, wat telkens minder inligting gebruik om die koëffisiënte te genereer, minder akkuraat as vooraangaande opsies sal wees.

Besproeiingsriglyne: In die artikel "Tensiometers - 'n waardevolle besproeiings-hulpmiddel vir boere" gee Grobbelaar (1985) algemene riglyne ten opsigte van maksimum toelaatbare matrikspotensiaal waarby besproei moet word. Hierdie riglyne word kortliks hier opgesom en kan aanvanklik gebruik word, maar behoort vir elke gebied en gewas verfyn te word.

Gewas en situasie	kPa op 30 cm waarby besproei moet word.
Akkerbougewasse op swaar gronde met 'n goukoppel spinkelstel	70-80
Vlaktegewortelde groentegewasse op swaar gronde met 'n goukoppel sprinkelstel	30
Akkerbougewasse op swaar gronde onder 'n spilpunt	30-40
Boordgewasse onder mikrospuite	20-30
Drupbesproeiing op ligte gronde	10-15
Drupbesproeiing op swaarder gronde	20

Relatief tot ander simulasiemodelle is TENSIMOD nie baie sensitief vir foute in insetparameters nie, aangesien besluite gebaseer word op gereelde metings van die grond se matrikspotensiaal. Aangesien die vooruitskattingsperiode waarvoor die tydsberekening van die volgende besproeiing en die benodigde besproeiingshoeveelheid gedoen word, slegs een besproeiingsiklus is, kan foute nie akkumuleer nie. Empiriese benaderings kan dus met redelike veiligheid onder hierdie omstandighede gevolg word.

Data invoere

Tensiometerlesings: Vir die roetine skedulering word slegs die tensiometerlesings vir elke grondlaag ingesleutel.

Opsionele data: Die invoer van daaglikse verdamping sal die akkuraatheid van vooruitskattings bevorder, maar is opsioneel. Die model gebruik outomaties die langtermyn gemiddelde verdamping in die berekenings, indien werklike verdamping nie ingevoer word nie. Reënval en besproeiing word ook nie in die berekenings gebruik nie, maar kan vir rekorddoeleindes ingevoer word.

Die gekose sikluslengte kan ook daagliks hersien en ingevoer word.

Berekeninge

Worteldiepte: Worteldiepte word gesimuleer volgens 'n eenvoudige liniêre funksie oor tyd vanaf 'n gegewe minimum tot 'n maksimum worteldiepte. Die helling van die funksie, naamlik die wortelgroeiempo per dag, asook die minimum en maksimum worteldieptes word as deel van die insetparameters deur die gebruiker verskaf.

Grondwaterbalans: Die model bereken die waterbalans vir drie grondlae soos wat dit deur 30, 60 en 90 cm tensiometers verteenwoordig word. Die drie lae verteenwoordig die 0-45 cm, 45-75 cm en die 75-105 cm grondlae respektiewelik. Vir die doeleindes van die berekening van plantbeskikbare water word die werklike worteldiepte gebruik. Wanneer die hoeveelheid wat besproei moet word, bereken word, word die diepte tot aan die einde van dié grondlaag waarin die maksimum worteldiepte val, in ag geneem. Sodoende word die profiel dan volledig benat sonder dat water dieper as die wortelsone sal wegdreineer.

Die model bereken die werklike grondwaterinhoud (θ) en die veldwaterkapasiteit (θ_{vWK}) van elke grondlaag volgens Vergelyking 5.1. Die waterinhoud waarby besproei moet word (θ_{min}) vir elke grondlaag word ook volgens Vergelyking 5.1 bereken. θ_{min} is die waterinhoud by die matrikspotensiaal wat as besproeiingsriglyn gespesifiseer is.

$$\theta_{min} \text{ (mm/m)} = K + C1 * \psi + C2 * \psi^2 \quad (5.1)$$

waar K = konstante

$C1$ en $C2$ = koëffisiënte vir kwadratiese regressie

ψ = Matrikspotensiaal (kPa) vir θ , θ_{min} en θ_{vWK} .

Die waterinhoud word gesommeer vanaf die oppervlakte tot by die werklike worteldiepte, asook tot die maksimum gespesifiseerde worteldiepte. Die plantbeskikbare water (PBW) wat nog in die wortelsone oor is word bereken volgens Vergelyking 5.2:

$$PBW = (\theta - \theta_{min}) * WD \quad (5.2)$$

waar PBW = plantbeskikbare water in die wortelsone (mm)

WD = worteldiepte in m.

Die daaglikse waterverbruik (evapotranspirasie) word volgens die gewasfaktorbenadering bereken soos in Vergelyking 5.3 getoon word:

$$ET = E_o \times F \quad (5.3)$$

waar ET = daaglikse evapotranspirasie (mm/dag)

E_o = langtermyn gemiddelde panverdamping (mm/dag)

F = gewasfaktor

Die aantal dae waarmee besproeiing uitgestel kan word, voordat die drumpel waterinhoud bereik sal word, word volgens Vergelyking 5.4 bereken:

$$D = PBW / ET \quad (5.4)$$

waar D = Dae voor besproei

Sodra die plantbeskikbare water opgebruik is, word D gelyk aan nul en moet daar besproei word. 'n Negatiewe aantal dae beteken dan dat besproeiing reeds agterstallig is.

TENSMOD bied aan die verbruiker die opsie om 'n eie gekose besproeiingssiklus in te sleutel en dan word die volgende besproeiingsdatum bereken volgens Vergelyking 5.5.

$$VlgBD = VrgBD + S \quad (5.5)$$

waar $VlgBD$ = volgende besproeiingsdatum

$VrgBD$ = vorige besproeiingsdatum

S = gekose sikluslengte

Die hoeveelheid (B_{maks}) wat teen die einde van die voorgeskrewe siklus besproei sal moet word om die grond tot by die einde van die grondlaag waarin die maksimum worteldiepte voorkom tot VWK te benat, word bereken volgens Vergelyking 5.6:

$$B_{maks} = (\theta_{vWK} - \theta_{min}) * WD / Doelt \quad (5.6)$$

waar $Doelt$ = Besproeiingsdoeltreffendheid as 'n fraksie

Besproeiingsaanbeveling

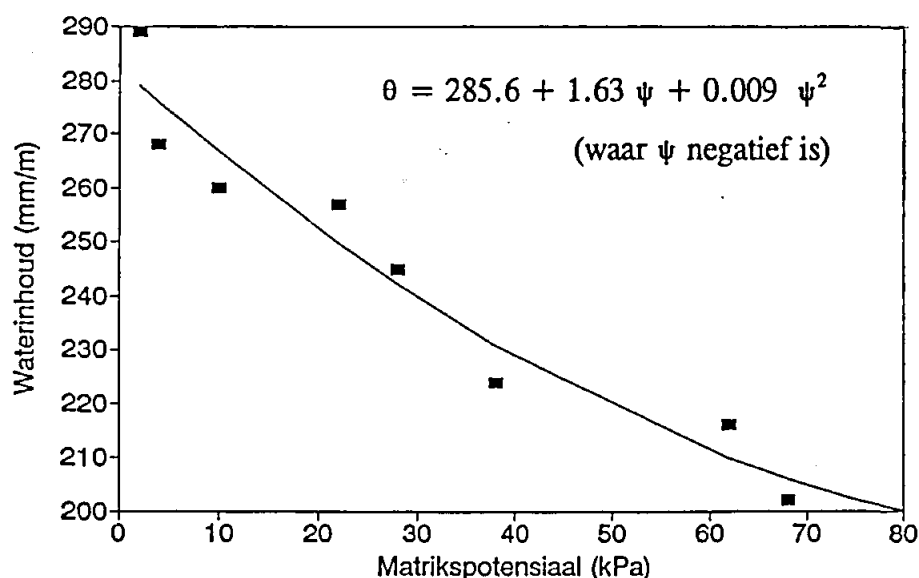
Die aanbeveling word aangetoon in die vorm van die aantal dae voordat die volgende besproeiing nodig is, die dag waarop dit moet geskied en die maksimum besproeiingshoeveelheid, asook die staantyd van die stelsel. Die besproeiingshoeveelheid wat aanbeveel word, is die hoeveelheid wat vooruitgeskat is vir die einde van die betrokke siklus. Die boer kan dus die aanbeveling as sulks gebruik vir vooruitbeplanning.

Indien die boer 'n eie siklus gekies en ingevoer het, word die dag waarop die siklus eindig aangedui tesame met die maksimum hoeveelheid en duurte van die toediening.

5.3 MODEL EVALUERING

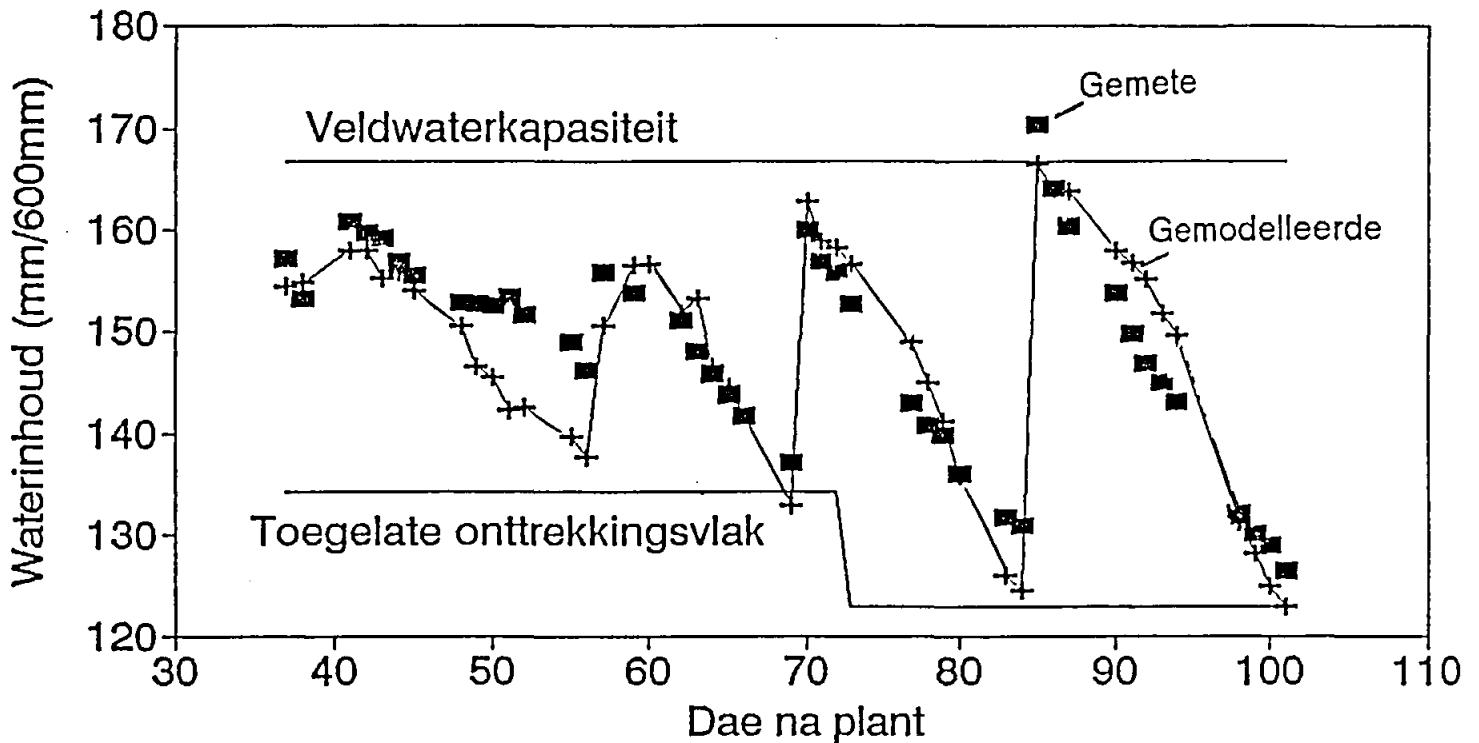
Die model is gedurende 1993 gebruik om die besproeiing van groenerte naby Marble Hall, in die Loskop besproeiingsskema, te skeduleer. Die optimum besproeiingsiklus soos deur TENSMOD bereken, is gevolg. Werklike verdamping is nie ingevoer nie en gevolglik is vooruitskattings volgens langtermyn verdamping bereken.

Die retensiekromme wat gebruik is, is *in situ* opgestel deur grondwaterinhoud gravimetries te monitor terwyl die grondwaterspanning met behulp van tensiometers gemonitor is. Die bulkdigtheid van die grond is ook vir elke grondlaag gemeet. Die retensiekromme word in Figuur 5.2 getoon.



Figuur 5.2 *In situ* grondwater retensiekromme vir Marble Hall proefterrein.

Die grondwaterinhoud is deur middel van 'n neutronvogmeter gemonitor tot 'n diepte van 1,4 meter. Die grondwaterinhoud soos gemeet en gemodelleer, word teenoor dae na plant in Figuur 5.3 getoon.



Figuur 5.3 Grondwaterinhoud, soos gemeet en gemodelleer, teenoor dae na plant

Die toelaatbare onttrekkingsvlak (volgens die 300mm tensiometers) is op 73 dae na plant vanaf -45 kPa na -70 kPa verander, nadat daar telkens voor besproeiing geen visuele tekens van stremming waargeneem kon word nie. Die berekende toelaatbare onttrekkingsvlak en die mate waartoe die model die besproeiings telkens volgens dié vlak geskeduleer het, kan in Figuur 5.3 gesien word.

Die resultate toon 'n goeie ooreenkoms tussen die grondwaterinhoud soos bereken vanaf tensiometerlesings en dié wat met die neutronvogmeter gemeet is. Die akkuraatheid gedurende

die eerste 20 dae (40 tot 60 dae na plant) was nie so goed soos later in die seisoen nie. Die rede hiervoor was dat daar op daardie stadium nog nie 'n akkurate retensiekromme beskikbaar was nie. Die retensiekromme is eers gedurende hierdie periode *in situ* bepaal. Die verdere kleinere verskille word toegeskryf aan moontlike foute in die neutronvogmeter metings en -kalibrasies. Aangesien die verskille relatief klein was, word die resultate as bevredigend beskou. Soos in Figuur 5.3 gesien kan word, is die benodigde besproeiingshoeveelhede op die tydstip waarop besproei moes word, redelik akkuraat voorspel.

5.4 PRAKTIESE SKEDULERING MET TENSIMOD EN TENSIOMETERS

Ten einde aan te toon watter voordele die model vir praktiese skedulering inhou, word die situasie met konvensionele tensiometer-skedulering kortliks opgesom.

Konvensionele skedulering met tensiometers: Die potensiële voordeel dat besproeiingshoeveelhede vanaf tensiometerlesings bereken kan word, word selde benut, aangesien tensiometers in die praktyk feitlik sonder uitsondering slegs gebruik word om aan te dui wanneer besproei moet word. Daar word meestal van 'n vaste besproeiingshoeveelheid gebruik gemaak of die hoeveelheid word geskat. Baie artikels wat die gebruik van tensiometers bevorder, het gedurende die afgelope twee dekades in die Suid Afrikaanse populêre literatuur verskyn. Dit is opvallend dat slegs een van hierdie artikels melding maak van die moontlikheid dat tensiometerlesings gebruik kan word om besproeiingshoeveelhede te bereken. In hierdie artikel bied Grobbelaar (1985) 'n uiters empiriese duimreël wat slegs 'n growwe raming van besproeiingshoeveelheid kan maak. Die voordeel dat die benodigde besproeiingshoeveelheid akkuraat vanaf tensiometerlesings bereken kan word, word dus selde benut in die praktyk. Die gebrek aan die nodige kundigheid en vaardighede is deels hiervoor verantwoordelik. Boonop kan boere wat wel die berekenings kan doen, selde dié taak delegeer na laer vlakke in sy bestuur, omdat daar selde voldoende kundigheid op die laer bestuursvlakke bestaan. Boere sal dus in hul besluit of hulle die tegniek wil gebruik al dan nie, in ag neem dat hulle telkens van hul eie bestuurstyd sal moet afstaan om die roetine berekenings te doen.

Die konvensionele toepassing van tensiometerskedulering maak nie voorsiening vir enige vooruitskatting nie. Indien 'n tensiometerlesing nog nie die toelaatbare onttrekkingspeil aandui nie, bied dit geensins 'n aanduiding van hoe lank dit nog sal duur voordat die land besproei

moet word nie. Indien die boer so 'n vooruitskatting wil doen, behels dit heelwat kundigheid en tyd vir berekenings of ekstrapolasies vanaf grafiese voorstellings van data.

Na aanleiding van bogenoemde situasie, asook die situasie-ontleding soos beskryf in Hoofstuk 2, is die volgende behoeftes wat deur die praktyk gestel word ten opsigte van 'n skeduleringsstegniek, geïdentifiseer:

- * Dit moet min kundigheid van die gebruiker verg;
- * Die hoeveelheid en tyd van die volgende besproeiing moet vooruitgeskat word;
- * Dit moet min bestuurstyd in beslag neem vir roetine skeduleringsaksies;
- * Slegs maklik beskikbare insetdata moet gebruik word;
- * Gebruikersvoorkeure en praktiese beperkings moet ge-akkomodeer word;
- * Dit moet akkuraat en veilig wees.

Praktiese skedulering met TENSMOD en tensiometers: Om TENSMOD te kan gebruik is dit slegs nodig dat die gebruiker minstens moet kan lees en skryf en minimale opleiding ondergaan om hom in staat te stel om die rekenaar en die program te aktiveer en die tensiometerlesing op die korrekte plek in te voer. Aangesien so min kundigheid of berekeningsvaardighede van die gebruiker (of operateur) vereis word, kan die taak om besproeiing te skeduleer na laer vlakke van bestuur gedelegeer word en kan bestuurstyd van die boer bespaar word. Verder word slegs 'n rekenaar met 'n Lotus- of Quatro Pro sigblad-program asook die TENSMOD-program benodig. Vir die aanvanklike opstelling van die program word insetparameters benodig en sal die hulp van 'n besproeiingskundige nodig wees of sal die boer die nodige opleiding moet ondergaan. Indien daar van 'n kundige se dienste gebruik gemaak word om die insetparameters te voorsien en die aanvanklike opstelling te doen, word daar geen kundigheid van die boer of sy operateur vereis nie.

Indien 'n boer TENSMOD saam met tensiometers gebruik, moet hy telkens wanneer hy 'n aanbeveling benodig, die tensiometerlesings in die betrokke kolom in die program invoer. Daarna kan hy vanaf die rekenaar se monitor (skerm) die aanbeveling aflees. Die aanbeveling kan ook op 'n drukker uitgedruk word en as sulks gebruik word en/of geliaseer word. 'n Voorbeeld, van hoe die huidige in- en uitvoerskerm in die program lyk, word in Figuur 5.4 getoon.

TENSMOD SKEDULERINGSPROGRAM												
Landnaam of -nommer:K1							OPTIMUM SKEDULERING				EIE GEKOSE SIKLUS	
TENSIMETER LESINGS (kPa)							WANNEER		HOEVEEL		S	
Diepte (cm)							Dae	Besp	Maks	Maks	i	k
Eo R+B							voor	op	Besp	Staan	1	Vlg
m d							besp	dag	hoev	tyd	u	besp
							dag	(mm)	(ure)	(ure)	s	dag
5	21	175	8	8	8	5	9	184	22	4.37	2	177
5	22	176	12	10	8	6	6	182	23	4.60		177
5	23	177	18	14	10	4.5	7	184	25	5.04	5	182
5	24	178	8	10	10	5.5	8	186	23	4.60		182
5	25	179	13	14	12	4.5	8	187	25	5.04		182
5	26	180	18	16	14	5	6	186	26	5.26		182
5	27	181	25	18	15	6.5	3	184	27	5.47		182
5	28	182	30	19	15	6	3	185	28	5.57	5	187
5	29	183	8	12	28	3	15	198	24	4.83		187

Figuur 5.4 'n Voorbeeld van die in- en uitvoerskerm van die huidige formaat van TENSMOD.

TENSMOD voorspel hoe lank (hoeveel dae) daar nog gewag kan word, voordat besproei sal moet word en hoeveel die maksimum hoeveelheid water is wat toegedien kan word, sonder dat dreineringsverliese sal voorkom. Aangesien TENSMOD 'n voorspelling van die volgende besproeiingsdatum maak, weet die boer vooruit wanneer die volgende besproeiing nodig sal wees en hoeveel nodig sal wees. Vooruitbeplanning kan dus gedoen word.

Die feit dat die boer 'n voorspelling van die volgende besproeiingsdatum kry, stel hom in staat om tyd te bespaar met die lees van tensiometers. Boere sal egter aangeraai word om tensiometers daaglik, of minstens elke tweede dag, te lees en die data in te voer.

Aangesien verdampingsverliese tot 'n minimum beperk kan word deur besproeiingssiklusse so lank as moontlik te maak, bereken TENSMOD die maksimum besproeiingshoeveelheid wat sonder dreineringsverliese toegedien kan word. Indien enige ander beperking die boer verhinder om die aanbevole hoeveelheid toe te dien, kan hy egter kleiner hoeveelhede toedien.

TENSMOD beveel ook die optimum sikluslengte aan, maar indien die boer om een of ander rede 'n ander sikluslengte wil volg, kan hy die gekose sikluslengte saam met die tensiometerlesings invoer. TENSMOD bereken vir die gekose siklus 'n vooruitskatting van die besproeiingshoeveelheid. Sodoende kan die boer dan weereens vooruitbeplanning doen.

5.5 GEVOLGTREKKINGS

Op grond van bogenoemde resultate word die volgende gevolgtrekkings gemaak:

- * TENSMOD verlaag die vlak van kundigheid wat van die gebruiker vereis word, indien die aanvanklike opstelling deur 'n kundige gedoen word;
- * TENSMOD sal na verwagting bestuurstyd bespaar indien dit in 'n gebruikersvriendelike formaat geprogrammeer is;
- * TENSMOD sal na verwagting die gebruiker in staat stel om die volle potensiële voordeel van skedulering met behulp van matrikspotensiaal lesings te benut.

5.6 VERDERE ONTWIKKELING

- * Die TENSMOD-program moet meer gebruikersvriendelik geprogrammeer word.
- * Die besproeiingshoeveelhede wat ingevoer word, kan in die berekenings gebruik word om die tensiometerlesings en die retensiekrommes te kontroleer.
- * Besproeiingsriglyne sal verfyn moet word, sodat die volle potensiële voordeel van die tegniek benut kan word.
- * Die gebruik van elektroniese sensore in plaas van tensiometers kan beide die kapitale- sowel as die arbeidskoste verbonde aan tensiometers verlaag. Met elektronies sensore kan ook oor 'n groter reeks van matrikspotensiale gemeet word.

5.7 VERWYSINGS

BENNIE, A.T.P., COETZEE, M.J., VAN ANTWERPEN, R., VAN RENSBURG, L.D. & BURGER, R. DU T., 1988. 'n Waterbalansmodel vir besproeiing gebaseer op profielwatervoorsieningstempo en gewaswaterbehoefte. WNK verslag no 144/1/88.

BOTHA, A.D.P. & EISENBERG, B.E., 1993. Estimation of soil water retention from clay content and cation exchange capacity values of soils. *S.Afr.J.Plant Soil* 1993, 10(3).

CAMPBELL, G.S., 1985. Soil Physics With Basic. Transport models for soil-plant systems. Elsevier Science Publishers. New York. p150.

GREEN. G.C., 1985. Beraamde besproeiingsbehoefte van gewasse in Suid-Afrika. Memoirs oor die Natuurlike Landbouhulpbronne van Suid-Afrika. Nr 2. Navorsingsinstituut vir Grond en Besproeiing, Dept Landbou en Watervoorsiening, Pretoria.

GROBBELAAR, H.L., 1985. Tensiometers - 'n waardevolle besproeiingshulpmiddel vir boere. Die O T Kaner, April 1985.

HOOFSTUK 6

NAVORSINGSBEHOEFTE GEÏDENTIFISEER BY FABRIEKSTAMATIES

6.1 INLEIDING

Tydens die projek is 'n dringende navorsingsbehoefte by fabriekstamaties geïdentifiseer. As gevolg van die omvang van die behoefte kan dit nie in hierdie projek bevredig word nie en word aanbeveel dat dit in die opvolgprojek aangespreek word. Die situasie in die fabriekstamatiebedryf en navorsingsbehoefte wat geïdentifiseer is, word hier slegs kortliks beskryf.

6.2 SITUASIE ONTLEDING

Tot onlangs is produsente van fabriekstamaties teen 'n konstante prys per ton vergoed ongeag kwaliteit. As gevolg van die hoë produsentepryse en hoë opbrengste wat behaal word, relatief tot insetkoste, is maksimum winste behaal deur maksimum opbrengste na te streef. Produsente het dus hoë opbrengste nagestreef sonder om kwaliteit in ag te neem. Dit is gedoen deur so te besproei dat watervoorsiening nooit beperkend is nie. Daar is dus 'n neiging om eerder te veel as te min te besproei en vermoedelik lei dit tot oorbesproeiing en lae waterverbruiksdoeltreffendheid.

By fabriekstamaties is opbrengste per hektaar en kwaliteit, soos weerspieël deur die opgeloste vastestof-inhoud (brix), egter oor die algemeen negatief gekorreleer. Aangesien die pasta opbrengs per eenheid varsproduk daal en die proseseringskoste per eenheid eindproduk (pasta) styg met 'n afname in vastestof-inhoud van die varsproduk, is hoë opbrengste met lae kwaliteit vir die prosesseerder nadelig. Prosesseerders het gevolglik 'n kwaliteitgebaseerde glyskaal ingestel ten einde die optimum opbrengs, waarby produsente maksimum winste behaal, te verlaag. Produsente word dus nou deur die nuwe prysstruktuur gedwing om 'n spesifieke opbrengs/kwaliteit kombinasie na te streef ten einde maksimum wins te maak.

Aangesien die opbrengsvlakke van gebied tot gebied en plaas tot plaas kan verskil en

produsente se vaste kostes verskil, sal die optimum opbrengsmikpunte ook van produsent tot produsent verskil. Produsente is aan die een kant onseker aangaande die vasstelling van die optimum opbrengsvlakke en aan die ander kant weet hulle nie hoe om 'n gegewe opbrengsmikpunt in die praktyk te behaal nie.

Baie faktore beïnvloed die opbrengs en kwaliteit van tamaties, onder andere die volgende:

- Watervoorsiening en waterstremming;
- Waterstremmings ten tye van verskillende ontwikkelingsstadiums;
- Waterkwaliteit via die invloed daarvan op waterstremming;
- Cultivar;
- Bemesting;
- Plantpopulasies en plantspasiërings;
- Klimaat (dagliglengte en solare straling);
- Oesstadium;
- Oespraktyke.

Volgens die meerderheid verslae uit 'n literatuurondersoek blyk dit dat watervoorsiening 'n oorheersende rol speel (Adams, 1990; Aljibury & May, 1970; Mitchell, Shennan, Grattan, & May, 1991; Rudich, Klamar, Geizenberg & Harel, 1977; Sanders, Hile, Hodges, Meek, & Phene, 1989). Verskeie besproeiingsbestuurspraktyke is in die literatuur voorgestel as moontlike benaderings tot die probleem. Die twee benaderings wat mees algemeen voorkom en wat ook die belofte inhou om waterverbruiksdoeltreffendheid (vastestofopbrengs per eenheidbesproeiingswater) dramaties te verhoog, is die volgende:

- * die staking van besproeiing sodra 'n sekere ontwikkelingsstadium bereik is ten einde stremming teen die einde van die seisoen te induseer; en
- * die verlenging van besproeiingsintervalle gedurende die hele groeiseisoen ten einde herhaaldelik matige stremming te induseer. Beide bogenoemde benaderings word beskryf deur verskeie navorsers, naamlik: Sanders, *et al* (1989), Mitchell, *et al* (1991), Aljibury & May (1970), Alvino, Fruschiante & Monti (1980) and Hegde & Srinivas (1990).

Indien bogenoemde benaderings egter toegepas word, sonder dat waterverbruik en die waterstatus van die grond gemonitor of gesimuleer word, kan die resulterende stremming nie beheer of voorspel word nie. Die resulterende stremmingseffek by dieselfde stadium van onttrekking van besproeiing sal verskil indien op gronde met verskillende waterhouvermoeëns toegepas word. Selfs waar dieselfde riglyne op dieselfde grond toegepas word, sal die resulterende stremming drasties beïnvloed word deur die grondwaterinhoud teen die aanvang van die ontrekkingsperiode asook deur die grootte en die toestand van die blaredak en die verdampingsaanvraag gedurende die res van die groeiseisoen. *Die beste benadering tot die probleem blyk dus 'n modelleringsbenadering te wees.* Sodoende kan die groot hoeveelheid veranderlikes wat 'n rol speel, kwantitatief in die bestuur in ag geneem word. Indien die riglyne in 'n simulasiemodel, wat die grond-, klimaat-, en gewasveranderlikes kwantitatief in ag neem, vervat kan word, sal dit oor 'n wyer verskeidenheid van toestande en gebiede toegepas kan word.

6.3 NAVORSINGSBEHOEFTE

Uit bogenoemde situasie-ontleding is die volgende twee behoeftes geïdentifiseer:

- * Produsente benodig hulp of 'n hulpmiddel met die vasstelling van ekonomies optimum opbrengs/kwaliteit mikpunte;
- * Produsente benodig bestuursriglyne, en veral besproeiingsriglyne, om hulle te help om spesifieke opbrengs/kwaliteit mikpunte te behaal.

Vanuit 'n waterhulpbron oogpunt beskou, behoort die gebruik van sulke riglyne aangemoedig te word, aangesien dit tot verhoogde waterverbruiksdoeltreffendheid behoort te lei.

Daar word beoog om met die opvolgprojek 'n modelleringsbenadering te volg ten einde beide behoeftes te bevredig. Die beoogde model(le) kan dan as bestuurshulpmiddel(s) deur produsente of adviseurs gebruik word om die behoeftes te bevredig.

6.4 VERWYSINGS

ADAMS, P. 1990. Effects of watering on the yield, quality and composition of tomatoes grown in bags of peat. *Journal of Horticultural Science*, 65(6): 667-674.

ALJIBURY, F.K. & MAY, D. 1970. Irrigation schedules and production of processed tomatoes on the San Joaquin Westside. *California Agriculture*, August: 10-11.

ALVINO, A., FRUSHIANTE, L. & MONTI, L.M. 1980. Yield and quality traits of two new tomato varieties for peeling under different irrigation regimens. *Acta Horticulturae*, 100: 173-180.

HEGDE, D.M. & SRINIVAS, K. 1990. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on yield, nutrient uptake, and water use of tomato. *Gartenbauwissenschaft*, 55(4) : 173-177.

MITCHELL, J.P., SHENNAN, C., GRATTAN, S.R. & MAY, D.M. 1991. Tomato fruit yield and quality under water deficit and salinity. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(2) : 215-221.

RUDICH, J., KLAMAR, D. GEIZENBERG, C. & HAREL, S. 1977. Low water tension in defined growth stages of processing tomato plants and their effects on yield and quality. *Journal of Horticultural Science*, 52 : 391-400.

SANDERS, D.C. HILE, M.M.S., HODGES, L., MEEK, D. & PHENE, C.J. 1989. Yield and quality of processing tomatoes in response to irrigation rate and schedule. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 114(6) : 904-908.

AFDELING B

DIE FASILITERING VAN TEGNOLOGIE OORDRAG DEUR 'N MEGANISTIESE GEWASMODELERINGSBENADERING

HOOFSTUK 7

NEW SOIL WATER BALANCE : 'n MEGANISTIESE SIMULASIE MODEL VIR BESPROEIINGSKEDULERING.

7.1 INLEIDING

Ten einde, op die langtermyn, die behoefte aan 'n akkurate en gebruikersvriendelike skeduleringsprogram te bevredig, word 'n meganistiese simulasiemodel benodig om die waterverbruik van gewasse te simuleer (sien seksies 2.4 en 2.6). Deur 'n meganistiese benadering in die kwantifisering van die faktore wat wateropname van gewasse beïnvloed, word daarna gestreef om 'n akkurate prosedure daar te stel vir die berekening van waterverbruik van gewasse. 'n Meganistiese model sal ook meer universeel toepasbaar wees as die huidige empiriese modelle.

Besproeiing word tans meestal geskeduleer met behulp van 'n verdampingspan en 'n empiriese gewasfaktor. Daar is verskeie tekortkominge met hierdie tegniek (Van Zyl, De Jager & Maree, 1989). Eerstens verskil die energiebalans van 'n oop pan merkbaar van dié van 'n gewasoppervlakte. Die pan verskil van die gewas in terme van aerodinamiese grofheid, albedo en hitte-opgaringskapasiteit. Water verdamp ook uit die pan gedurende die nag wanneer huidmondjies gewoonlik gesluit is. Dit veroorsaak dat gewasfaktore afhanklik is van die weer, en is dus nie universeel toepasbaar nie (Annandale & Stockle, 1994).

Tweedens is daar probleme met van die aannames wat gemaak word oor die grond-plant sisteem. Die gewasfaktorkromme neem aan dat gewasgroei en -ontwikkeling slegs van kalendertyd afhanklik is, terwyl dit goed bekend is dat termiese tyd en watervoorsiening, onder andere, blaardak-ontwikkeling beïnvloed. Dit beperk die moontlikheid om 'n gewasfaktorkromme in verskillende gebiede te gebruik, en selfs in dieselfde gebied vir verskillende plantdatums. Die frekwensie van benatting van die blaardak- en grondoppervlaktes, wat die hoeveelheid water wat vanaf hierdie oppervlaktes verdamp

beïnvloed, word ook gewoonlik nie in ag geneem nie met die verdampingspan benadering. Wright (1982), Hanks (1985) en Ritchie & Johnson (1990) het gepoog om hiervoor te korreger met hulle basale gewaskoeffisiente. Die grond word ook gewoonlik as 'n enkellaag beskou (Burgers, 1982), wat 'n onrealistiese beskrywing van die infiltrasie en wateropname prosesse tot gevolg het. Hierdie is belangrik omdat wateropname beïnvloed word deur grondwaterpotensiaal en bewortelingsdigtheid, wat albei met gronddiepte varieer. Om dié rede word die profiel in meeste grondwaterbalansmodelle in 'n aantal lae verdeel (Jones & Kiniry, 1986; Campbell & Diaz, 1988) en party modelle gaan sover om infiltrasie, herdistribusie en wateropname van gewasse as 'n twee-dimensionele probleem te beskou (Annandale, 1991). Derdens word dit algemeen aanvaar dat wateropname van gewasse en verdamping vanaf die grondoppervlakte of deur die atmosferiese verdampingsaanvraag of deur die voorsiening van water aan die grond-plant sisteem beperk kan word (Campbell, 1977). Die verdampingspan benadering neem aan dat waterverlies altyd deur aanvraag beperk word.

7.2 DOEL

Die doel van hierdie werk was om, met die oog op die ontwikkeling van 'n akkurate, gebruikersvriendelike skeduleringsprogramme, 'n geskikte meganistiese simulasiemodel te ontwikkel en te toets.

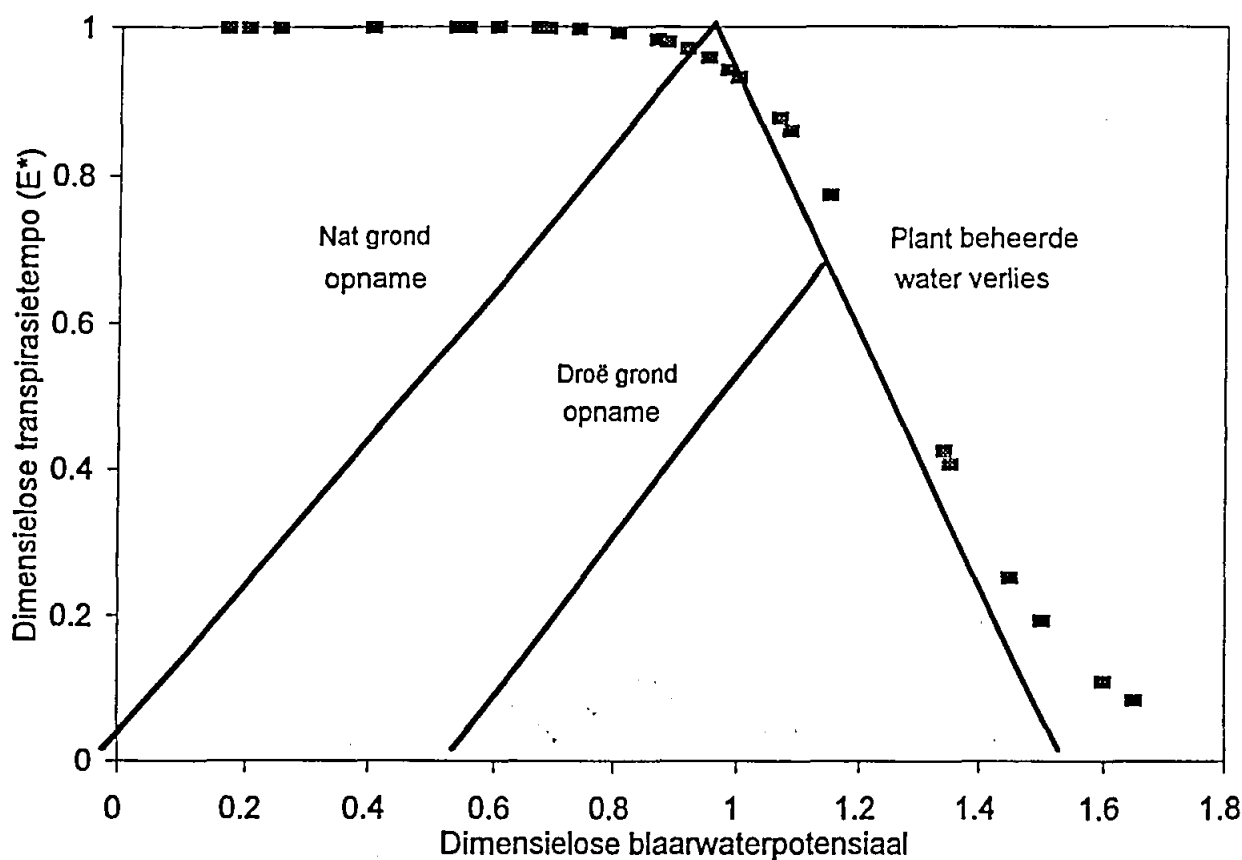
7.3 MODEL BESKRYWING

Die NEWSWB model van G.S.Campbell, Washington State University, Pullman, Washington, VSA is 'n verbeterde weergawe van die grondwater-balans model gepubliseer deur Campbell & Diaz, 1988. Die belangrikste verbeteringe is 'n meer meganistiese beskrywing van die groei van gewasse asook 'n keuse tussen die standaard oorspoel (cascading) grondwaterbalans-model en 'n een-dimensionele, matriksvloedpotensiaal, eindige-verskil (finite difference) oplossing vir die watervloed berekeninge. 'n Detail beskrywing van die matriksvloedpotensiaal oplossing word vir een dimensie gegee deur Ross & Bristow (1990) en vir twee dimensies deur Annandale (1991).

Droëmateriaalproduksie word bereken vanaf die hoeveelheid water getranspireer, deur 'n noue verband tussen transpirasie (gekorreger vir dampdruktekort) en fotosintese te aanvaar (Tanner

& Sinclair, 1983). Die droëmateriaal word dan verdeel tussen wortels, stingels, blare en peule. In die model is die ontwikkeling van die gewas afhanklik van temperatuur, eerder as van kalendertyd soos in die panbenadering.

'n Unieke eienskap van die model is 'n dimensielose oplossing van die wateropname-vergelykings. Dit elimineer die behoefte om te itereer om die blaarwaterpotensiaal te vind wat wateropname en -verlies sal balanseer (Campbell, 1985; De Jager, Botha & van Vuuren, 1981). Wateropname hang af van worteldigtheid en grondwaterpotensiaal, en opname word of deur aanvraag of deur watervoorsiening beperk. Die berekening van wateropname word grafies voorgestel in Figuur 7.1.



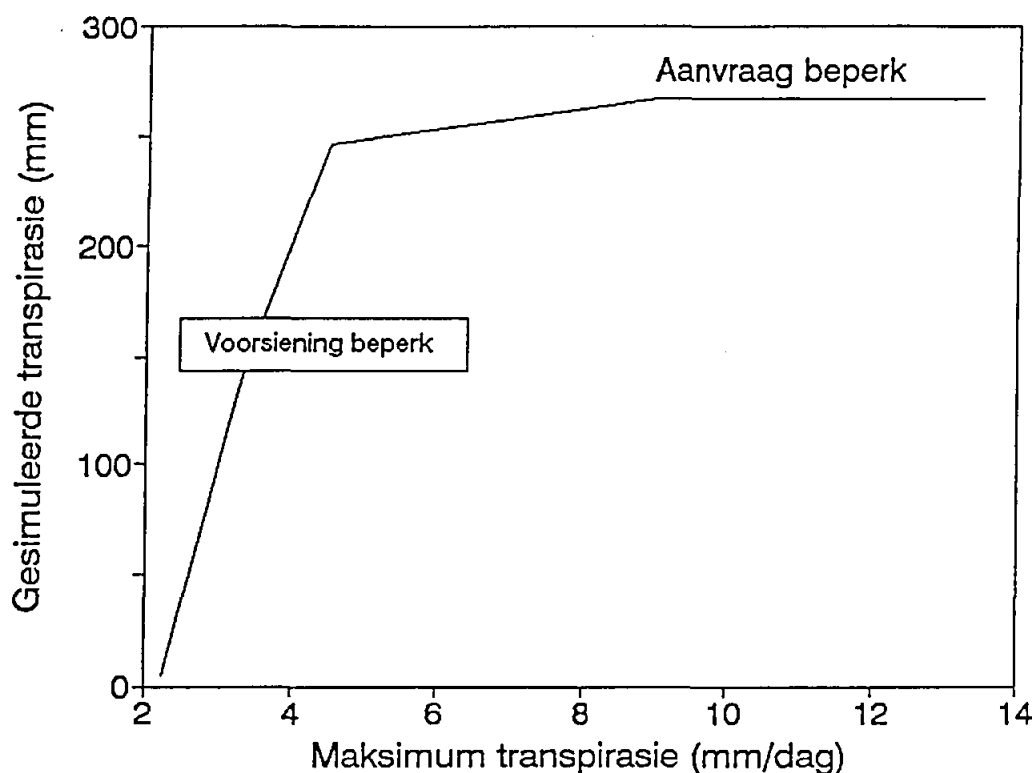
Figuur 7.1 Grafiese voorstelling van die dimensielose wateropname prosedure.

In Figuur 7.1 word dimensielose blaarwaterpotensiaal op die X-as voorgestel. Dit is gedefinieer as die blaarwaterpotensiaal gedeel deur die verbruiker-gegewe blaarwaterpotensiaal by maksimum transpirasie. Dimensielose transpirasie op die Y-as word gedefinieer as werklike transpirasie relatief tot die gebruiker-gedefinieerde maksimum transpirasietempo. Die skuins

lyne met 'n positiewe helling stel dimensielose wateropname (U^*) voor, en die lyn skuif oor na regs namate die grond uitdroog. U^* word bereken as die verskil tussen dimensielose grond- en blaarwaterpotensiaal. Die maksimum moontlike dimensielose opnametempo (U^*), word gevind by die interseksie tussen die dimensielose opnamelyn en die stomatale-sluiting-plantbeheerde waterverlieslyn. Maksimum dimensielose waterverliestempo (E^*) word bereken as potensiele evapotranspirasie gedeel deur die verbruiker-voorsiene maksimum transpirasietempo. Die maksimum dimensielose opnametempo word vergelyk met die maksimum dimensielose verliestempo, en die kleinste van die twee word gebruik om werklike wateropname te bereken. Indien maksimum dimensielose opname die kleinste is, dan word opname beperk deur watervoorsiening aan die plant. Aan die ander kant, indien dimensielose verliestempo die kleinste is, word wateropname deur atmosferiese aanvraag beperk. 'n Aanpassing word gemaak vir blaardakke wat nie die volle grondoppervlakte bedek nie, deur die volle blaardakopname te vermenigvuldig met fraksionele onderskepping van straling. Fraksionele onderskepping kan vanaf blaaroppervlakte-indeks bereken word.

Die punte in Figuur 7.1 is bepaal vanaf die gemete verband tussen huidmondjieweerstand en blaarwaterpotensiaal. Hulle vergelyk baie goed met die teoretiese kromme soos deur die model bereken. Die enigste insetparameters wat vir berekening van wateropname benodig word, is 'n skatting in mm dag^{-1} , van die maksimum transpirasietempo van 'n vol ontwikkelde blaardak, en die blaarwaterpotensiaal wat verwag kan word vir 'n blaardak wat maksimaal transpireer. Hierdie data is gemeet vir ertjies wat op 'n lisimeter gegroei het. Maksimum transpirasie was in die orde van 9 mm dag^{-1} , en die blaarwaterpotensiaal was -1250 J kg^{-1} . Die model blyk nie baie sensitief te wees vir hierdie insette nie, en 'n intelligente skatting vir 'n sekere gewas behoort voldoende te wees. Hierdie stelling word gemaak na aanleiding van 'n sensitiwiteitsanalise wat uitgevoer is vir die twee parameters. Vir 'n konstante maksimum transpirasietempo van 9 mm dag^{-1} , was die gesimuleerde transpirasie glad nie beïnvloed deur die keuse van die minimum blaarwaterpotensiaal tussen -250 J kg^{-1} en -1750 J kg^{-1} . Die keuse van maksimum moontlike transpirasietempo bo 9 mm dag^{-1} het ook geen invloed gehad op die gesimuleerde transpirasie nie, omdat wateropname dan deur aanvraag beperk word (vir hierdie stel weerdata). Deur die maksimum moontlike transpirasie te halveer na 4.5 mm dag^{-1} is die seisonale gesimuleerde transpirasie afgebring van 267 mm na 246 mm, wat dui op 'n paar dae

in die simulاسie waar wateropname deur voorsiening beperk sou wees. Verdere verlaging in die parameter het 'n drastiese verlaging in geskatte transpirasie meegebring (Figuur 7.2).



Figuur 7.2 Die effek van die keuse van die maksimum transpirasie parameter op gesimuleerde seisoenale transpirasie. Blaarwaterpotensiaal is konstant gehou op -1250 J kg^{-1} .

Dit moet beklemtoon word dat die resultate van sulke sensitiwiteitsanalises afhanklik is van die insetdata. Dit sou dus raadsaam wees, indien die gebruiker onseker voel oor die gekose waardes, om soortgelyke sensitiwiteitsanalises uit te voer vir ander gewasse en gepaardgaande stelle weerdata.

Berekening van verdamping neem ook voorsiening en aanvraag in ag in beide die oorspoel en eindige verskil grondwaterbalans modelle. Die effek van verskillende besproeiingssiklusse word dus goed beskryf.

Die bronkode vir die gemodifiseerde NEWSWB model kan in Bylaag C gevind word.

7.4 INSET DATA BENODIG

Die model is redelik eenvoudig en gevolglik is insetdata en parameters redelik maklik verkrygbaar. Insette wat ten opsigte van die verskillende grondlae benodig word, is die volgende:

- * waterinhoud by veldkapasiteit;
- * waterinhoud by verwelkpunt;
- * bulkdigtheid;
- * aanvanklike waterinhoud.

Gewas parameters sluit die volgende in:

- * kardinale temperature;
- * benodigde termiese tyd vir;
 - opkoms,
 - reproduktiewe ontwikkeling,
 - blaarveroudering, en
 - gewasvolwassenheid.
- * droëmateriaal:water verhouding (verwantskap tussen droëmateriaal
akkumulasie en transpirasie gekorrigeer vir dampdruktekort);
- * maksimum worteldiepte;
- * blaardak stralings uitdowingskoëffisient;
- * assimilaat verdelingsfaktore.

Minstens die volgende daaglikse weerdata word benodig:

- * reënval;
- * maksimum temperatuur;
- * minimum temperatuur.

Die volgende opsionele weerdata sal akkuraatheid van die model bevorder:

- * solare straling;
- * dampdruktekort (VPD);
- * potensiele evapotranspirasie (PET).

In die afwesigheid van die opsionele parameters sal die model 'n gemodifiseerde Priestley

Taylor skatting van PET bereken. Meer besonderhede hieroor word in Hoofstuk 9 gegee.

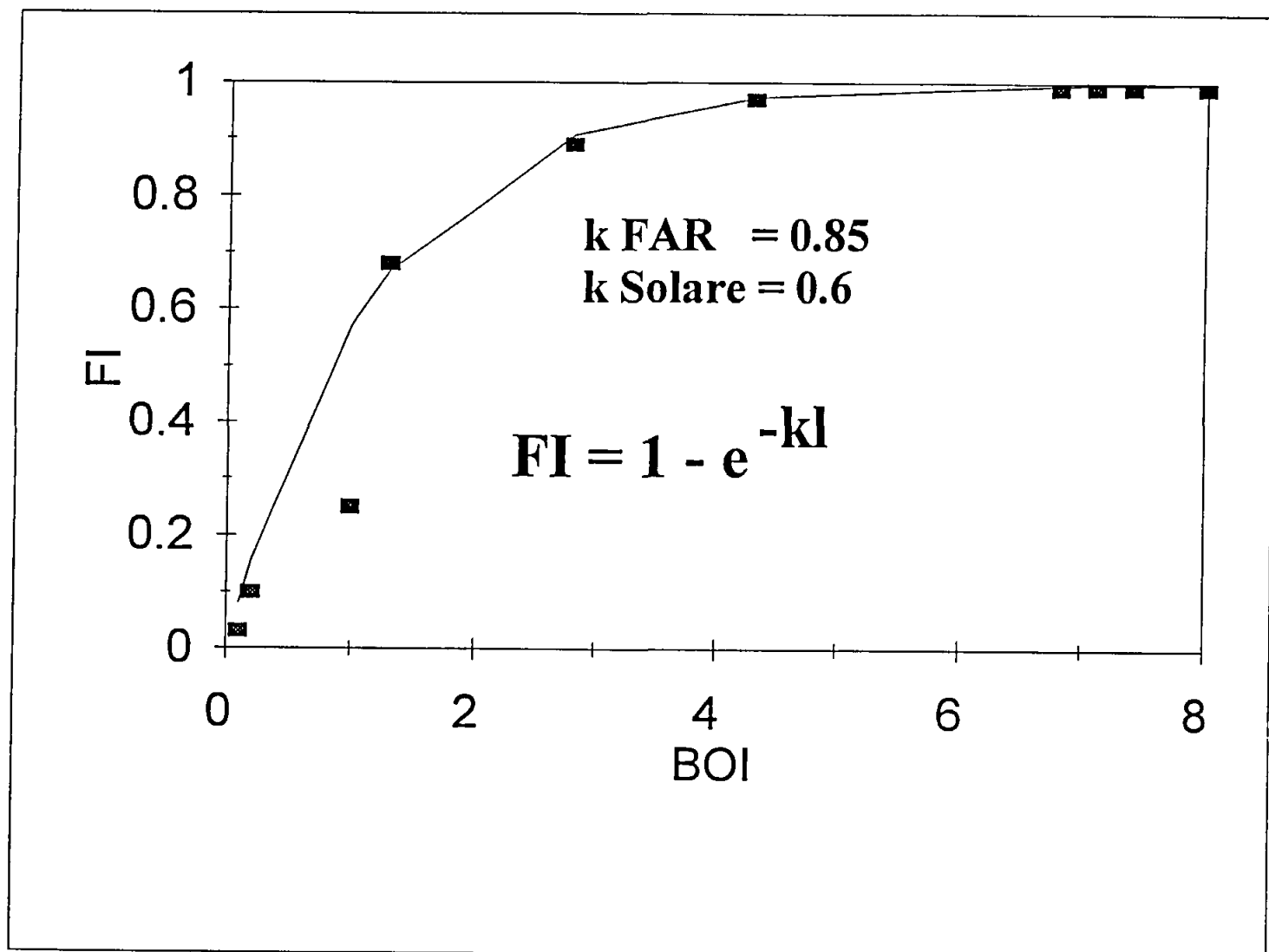
Terwyl die simulاسie gedoen word, stip die model data van gemete groei-analises of grondwaterinhoud op die rekenaar terminaal. Die gesimuleerde waardes word ook op dieselfde grafieke gestip, sodat daar van die passing tussen die gemete en gesimuleerde waardes maklik en duidelik gesien kan word hoe goed of swak die simulاسie voorspel. Hierdie eienskap maak dit gerieflik om realistiese waardes van inset-parameters te kies ten einde 'n goeie passing aan die gemete data te verseker. Die parameters gebruik in die ertjie model kan in Bylaag C gesien word.

7.5 EKSPERIMENTELE METODES

Die NEWSWB model is verkry en bestudeer en daar is besluit om dit te gebruik, aangesien dit op grondige meganistiese beginsels gebaseer is en relatief min en maklik bepaalbare insetparameters benodig. Geringe aanpassings is aan die model aangebring, voordat die dit getoets is met groenerte as 'n voorbeeld. Die insetparameters vir groenerte is bepaal op grond van data uit proewe wat op die Hatfield proefplaas van die Universiteit van Pretoria gedoen is.

Die Bepaling van parameters het die bepaling van die verwantskap tussen huidmondjieweerstand en blaarwaterpotensiaal, die meting van maksimum transpirasie met die gepaardgaande blaarwaterpotensiaal, en 'n gedetailleerde groei-analise op vyf ertjie cultivars ingesluit. Meer besonderhede hieroor word in Hoofstuk 8 gegee.

Tydens die groeianalise is droëmateriaal akkumulاسie van blare, stingels en peule gemonitor. Worteldiepte is ook 'n paar keer gedurende die seisoen bepaal. Blaredak-ontwikkeling is gemonitor deur blaaroppervlakte-indeks (BOI) en fraksionele onderskepping (FI) van straling met 'n Decagon "sunfleck ceptometer" te meet. Dié data is gebruik om die uitdowings-koëffisient te bereken. 'n Voorbeeld van die verband tussen BOI en FI kan gesien word in Figuur 7.3.



Figuur 7.3 Die verband tussen fraksionele onderskepping (FI) van straling en blaaroppervlak-indeks (BOI) vir die cultivar Novella.

Die behoeftes aan termiese tyd om tot verskillende groeistadiums te ontwikkel, is in die veld sowel as in groeikaste gemonitor. Baie meer detail hieroor word in Hoofstuk 8 gegee.

Detail metings van grondwaterinhoud is met behulp van 'n neutronvogmeter gedoen op die groei-analise persele.

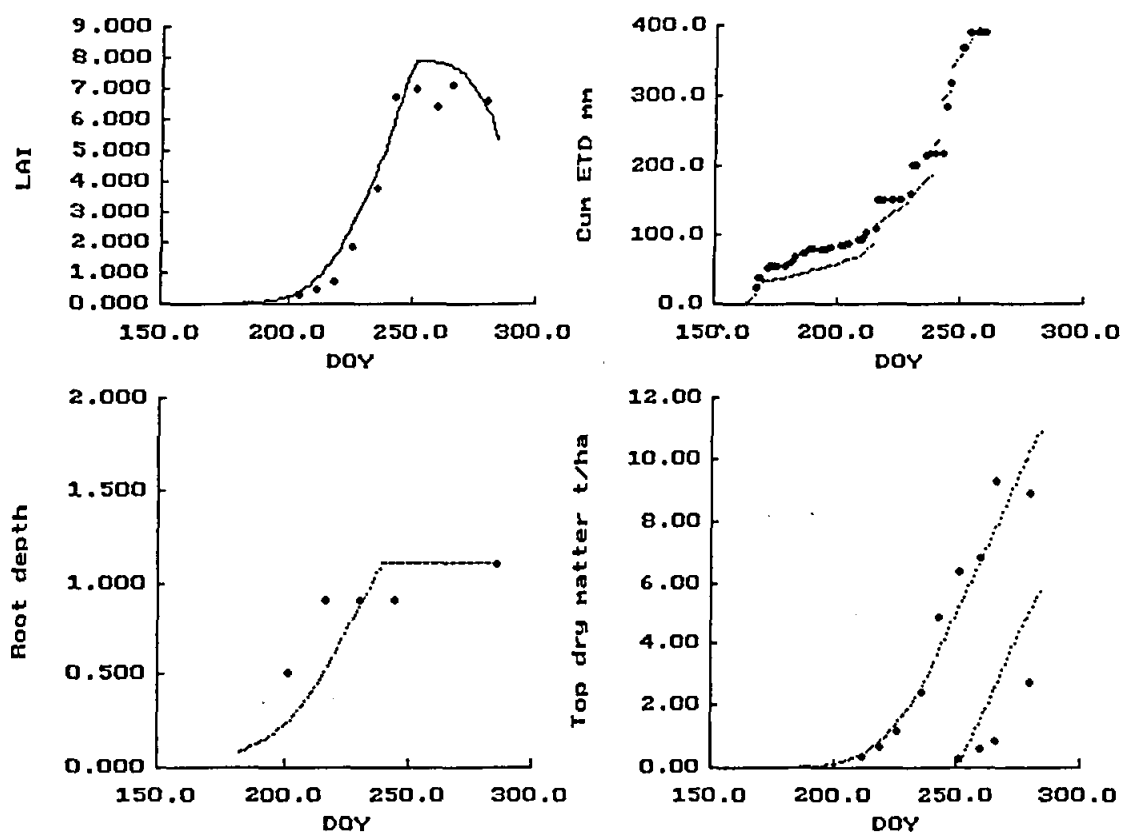
7.6 MODEL EVALUERING

Die model is geëvalueer deur te bepaal tot watter mate dit die groei, ontwikkeling en watergebruik van groenerte in die Loskop Besproeiingsgebied, naby Marble Hall kan simuleer. 'n Datastel van 'n groenerte aanplanting wat op perseel J11 van mnr Evert du Plessis ingesamel is, is gebruik. Die datastel het die volgende ingesluit:

- * Daaglikse weerdata ;
- * Aanvanklike waterinhoud;
- * Gereelde grondwaterdata;
- * Grondparameters soos veldkapasiteit, verwelkpunt en bulkdigtheid;
- * Besproeiingsdatums en hoeveelhede;
- * Fraksionele onderskepping van die blaredak.

Die gewasparameters, soos wat dit op grond van die Hatfield proewe bepaal is, is tesame met die insetparameters van die betrokke grond gebruik. Die plantdatum, beginwaterinhoud, daaglikse weerdata (maksimum- en minimum temperature en reënval) asook besproeiings, is as inset vir die simulاسie gebruik. Die model moes dan die groei, ontwikkeling en watergebruik van die groenerte simuleer. Die gesimuleerde waardes is vergelyk met die gemete data om te bepaal of die model aanvaarbaar is of nie.

'n Vergelyking tussen gemete data (punte) en die simulاسie (lyne) kan gesien word in Figuur 7.4 vir die kultivar Mercado. Hierdie data is t.o.v. die Pretoria datastel waarop die gewasparameter-ontwikkeling gedoen is.

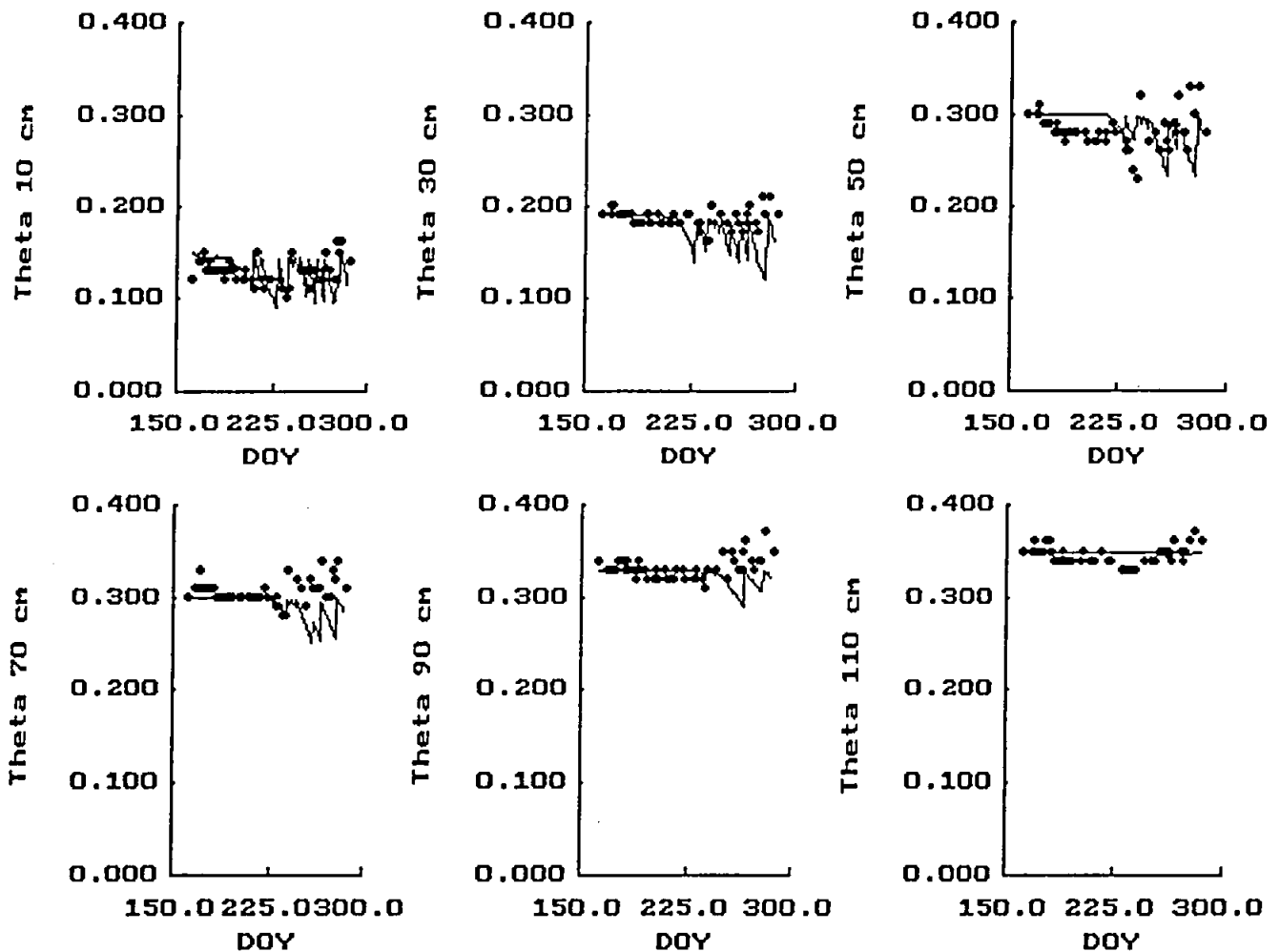


Figuur 7.4 Gemete (punte) en gesimuleerde (lyne) blaaroppervlakte indeks (LAI), kumulatiewe evapotranspirasie plus dreinasie (cum ETD), worteldiepte en bogrondse droëmateriaal akkumulasie.

Die boonste linkerkantste grafiek vergelyk gemete en geskatte blaaroppervlak indeks, terwyl die boonste regterkantste grafiek kumulatiewe evapotranspirasie plus dreinerings, bereken vanaf neutronvogneter lesings, voorstel. Die onderkantste linker grafiek toon worteldiepte in meters aan. Die onderkantste regter grafiek wys hoe totale bogrondse droëmateriaal (links) akkumuleer het sowel as die droëmateriaal van die peule (regs). Die simulering stem baie goed met die metings ooreen, behalwe vir peul-opbrengs wat nog aandag vereis. Die voorspelling van oesbare opbrengs is egter nie as 'n doelwit in hierdie model-ontwikkeling nagestreef nie.

Figuur 7.5 toon die grondwaterinhoud, gemeet en gesimuleer oor tyd, by ses 0.2 m diepte inkremente vir die kultivar Mercado met die oorspoel waterbalansmodel. Die gesimuleerde waterinhoud stem goed ooreen met metings wat hierdie 'n akkurate metode maak vir die

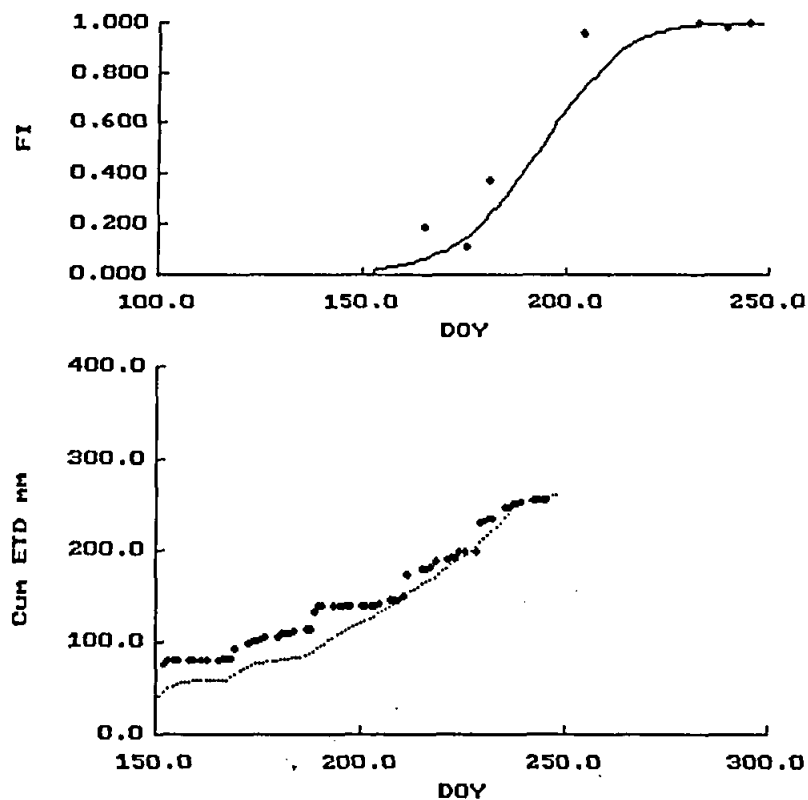
voorspelling van wateropname van gewasse vanuit verskillende gronddieptes.



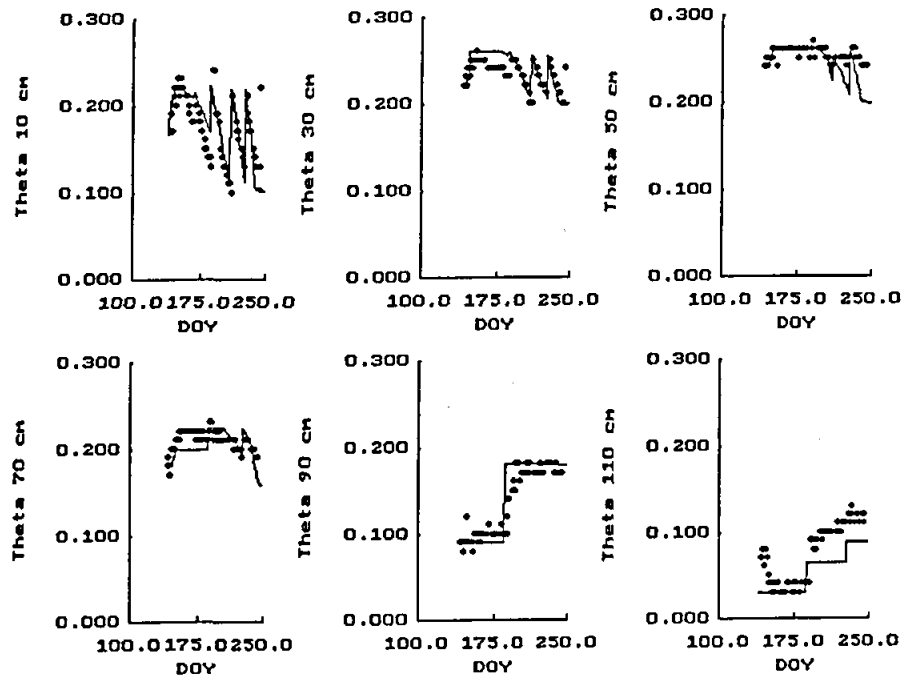
Figuur 7.5 Gemete en gesimuleerde volumetriese grondwaterinhoude (theta) vir ses 0.2 m diepte-inkrementele vir die cultivar Mercado. Simulasies is met die oorspoel grondwaterbalans gedoen.

Die toets van die model teenoor onafhanklike datastelle vanuit Marble Hall (Hoofstuk 3) was baie suksesvol. Detail metings van grondwaterinhoud is met behulp van 'n neutronvognmeter gemaak. Die enigste groei-parameter wat gemeet is, is fraksionele onderskepping. Omdat fraksionele onderskepping so 'n belangrike rol speel in waterverbruik van gewasse, is dié velddata as waardevol beskou om die model, wat in Pretoria ontwikkel is, teen te verifieer.

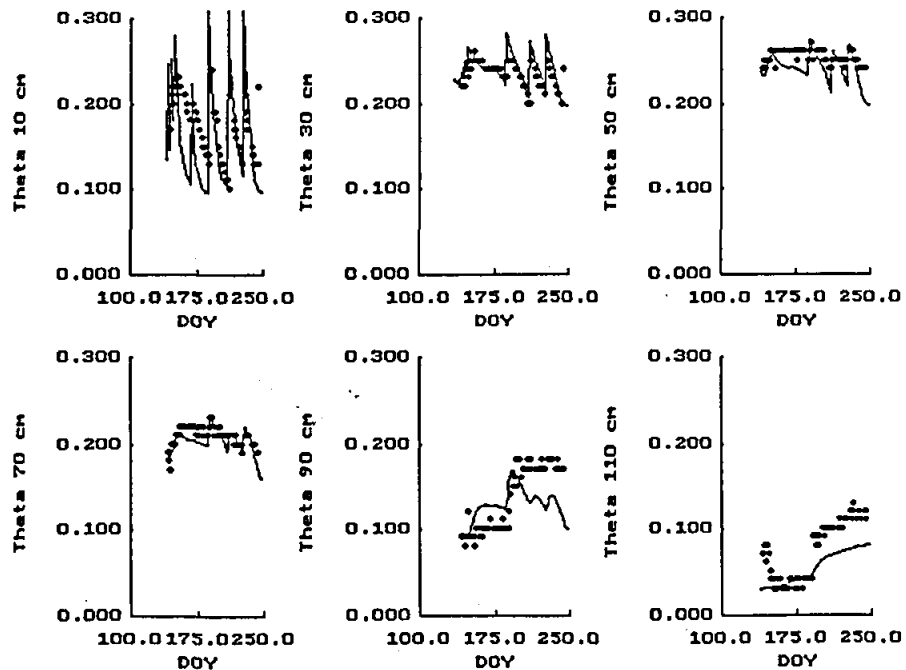
Resultate kan gesien word in Figure 7.6, 7.7 en 7.8 vir besproeiingsbehandeling 1, in Figure 7.9, 7.10 en 7.11 vir behandeling 2, en in Figure 7.12, 7.13 en 7.14 vir behandeling 3. Detail oor die besproeiingsbehandeling is nie belangrik vir hierdie bespreking nie. Al wat nodig was, was gemete grondvogdata op ertjies wat aan verskillende waterregimes blootgestel is. Figure 7.6, 7.9 en 7.12 (bo) toon gemete en gesimuleerde fraksionele onderskepping, terwyl die onderste grafieke kumulatiewe evapotranspirasie plus dreinasie met die oorspoel model voorstel. Figure 7.7, 7.10 en 7.13 vergelyk gemete en gesimuleerde grondwaterinhoude by ses gronddieptes met die oorspoel waterbalansmodel, terwyl Figure 7.8, 7.11 en 7.14 dieselfde toon vir die eindige-verskil-oplossing.



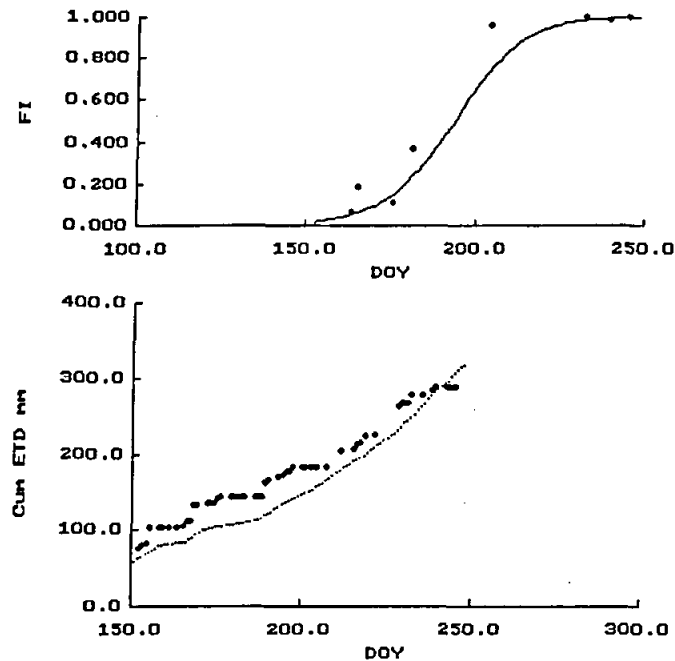
Figuur 7.6 Gesimuleerde en gemete fraksionele onderskepping (bo) en kumulatiewe evapotranspirasie plus dreinasie (onder) vir besproeiingsbehandeling 1.



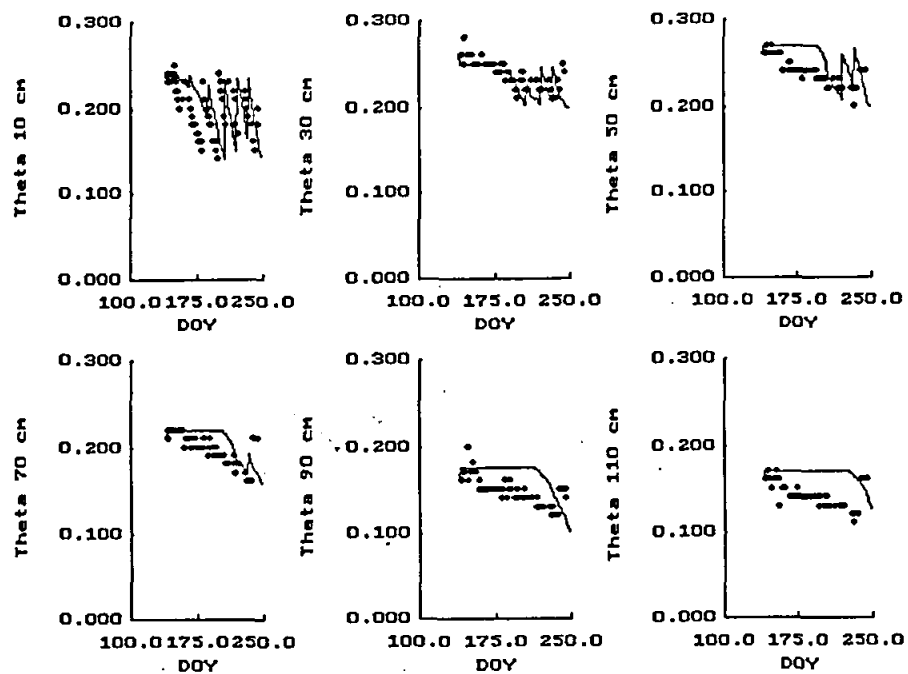
Figuur 7.7 Gesimuleerde (oorspoel waterbalansmodel) en gemete grondwater inhoude vir ses 0.2m gronddiepte-inkremente vir besproeiingsbehandeling 1.



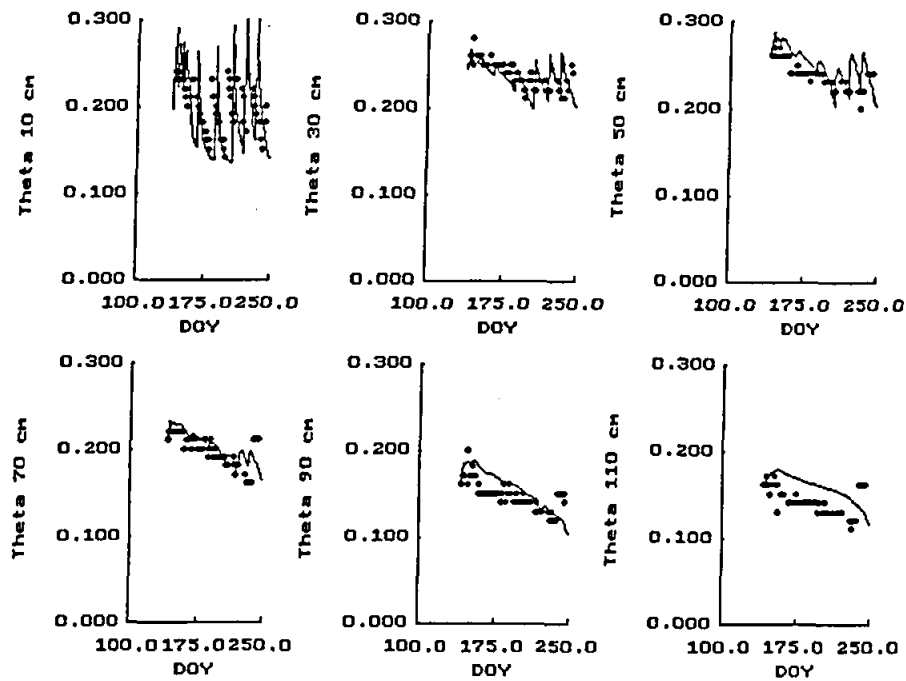
Figuur 7.8 Gesimuleerde (eindige-verskil waterbalansmodel) en gemete grondwater inhoude vir ses 0.2m gronddiepte-inkremente vir besproeiingsbehandeling 1.



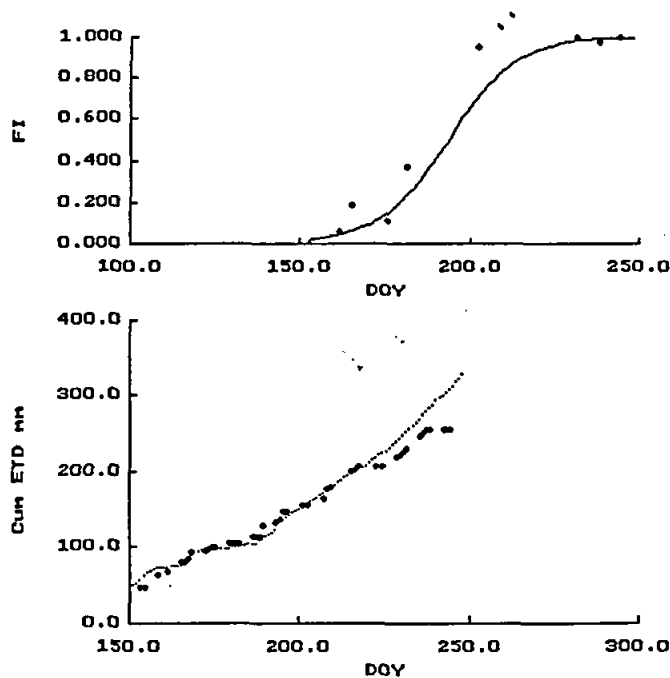
Figuur 7.9 Gesimuleerde en gemete fraksionele onderskepping (bo) en kumulatiewe evapotranspirasie plus dreinasie (onder) vir besproeiingsbehandeling 2.



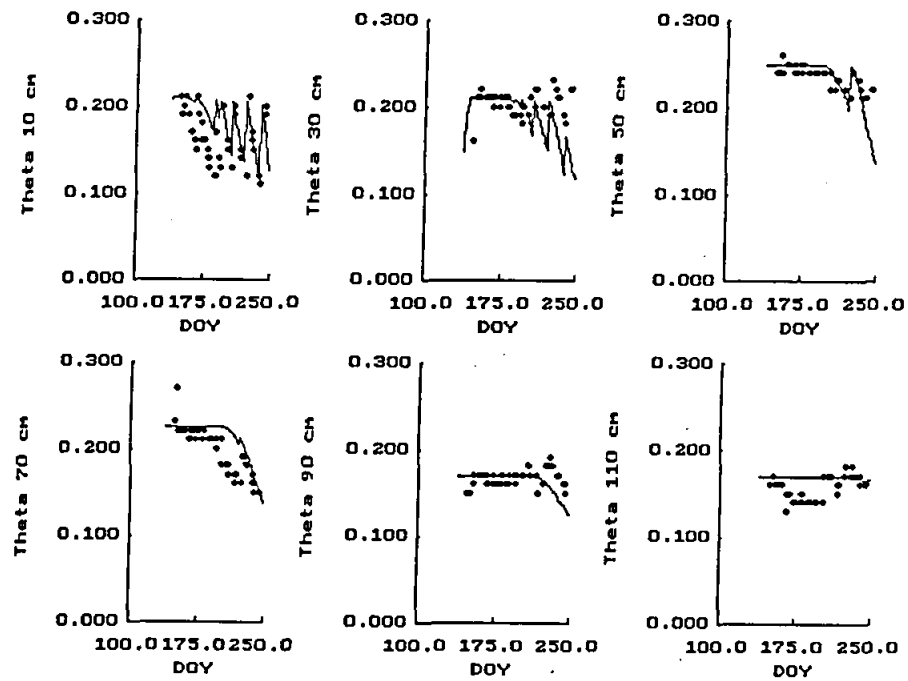
Figuur 7.10 Gesimuleerde (oorspoelwaterbalansmodel) en gemete grondwater inhoude vir ses 0.2m gronddiepte-inkremente vir besproeiingsbehandeling 2.



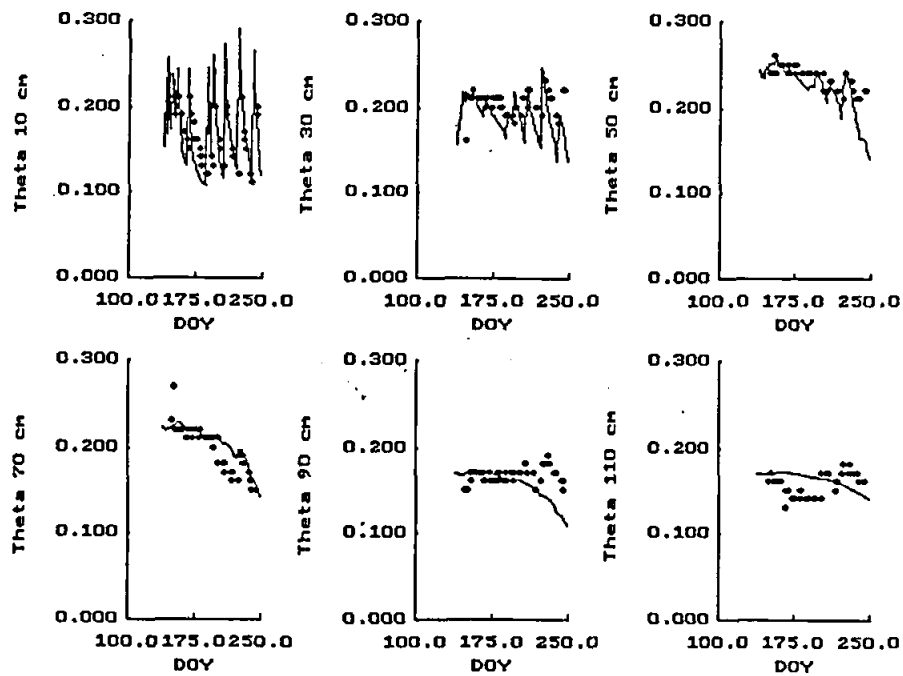
Figuur 7.11 Gesimuleerde (eindige-verskil waterbalansmodel) en gemete grondwater inhoude vir ses 0.2m gronddiepte-inkremente vir besproeiingsbehandeling 2.



Figuur 7.12 Gesimuleerde en gemete fraksionele onderskepping (bo) en kumulatiewe evapotranspirasie plus dreinasie (onder) vir besproeiingsbehandeling 3.



Figuur 7.13 Gesimuleerde (oorspoelwaterbalansmodel) en gemete grondwater inhoude vir ses 0.2m gronddiepte-inkremente vir besproeiingsbehandeling 3.



Figuur 7.14 Gesimuleerde (eindige-verskil waterbalansmodel) en gemete grondwaterinhoude vir ses 0.2m gronddiepte-inkremente vir besproeiingsbehandeling 3.

Dit is duidelik dat blaardakontwikkeling en kumulatiewe evapotranspirasie plus dreinerings goed gesimuleer word, asook die waterinhoud vir die verskillende grondlae. Daar is feitlik geen verskil tussen die gemete en gesimuleerde blaardakontwikkeling vir die verskillende besproeiingsbehandelings nie.

Die simulering van kumulatiewe evapotranspirasie plus dreinerings is uitstekend vir besproeiingsbehandeling 3, maar toon 'n onderskatting gedurende die vroeë seisoen vir die ander twee handelings. Dit is moontlik veroorsaak deur die afwesigheid van gemete aanvanklike grondvoghoudes. Dit is dus aangeneem dat die profiele die seisoen na aan veldkapasiteit begin het. Die algemene tendens van kumulatiewe evapotranspirasie plus dreinerings word oor die algemeen goed gesimuleer.

Dit is interessant om die oorspoel- en eindige-verskil-waterbalanse te vergelyk. Albei modelle volg die seisoenale tendense in grondvog veranderinge met diepte goed. Die eindige-verskil waterbalans toon meer detail as die oorspoel-model, veral in die boonste grondlae. In behandeling 1, blyk dit dat die eindige-verskil model in die boonste 0.4 m beter gevaar het as die oorspoel model, terwyl die teenoorgestelde waar is vir die 0.8 - 1.0 m diepte. Die eindige-verskil metode het beter gevaar by feitlik alle dieptes in behandeling 2, en so ook in die boonste 0.4 m vir behandeling 3.

7.7 GEVOLGTREKKINGS

Die NEWSWB model kan suksesvol aangewend word om die groei, ontwikkeling en waterverbruik van gewasse te simuleer. Blaardakontwikkeling en wateropname word goed gesimuleer wat hierdie 'n handige hulpmiddel maak vir die voorspelling van waterbehoefte van gewasse.

Die gewasparameters vir ander gewasse kan relatief maklik bepaal word deur gebruik te maak van groei-analise data.

Alhoewel die eindige-verskil model in sekere simulaties beter gedoen as die oorspoel-model, was die teenoorgestelde in ander simulaties waar en het albei modelle oor die algemeen die veranderinge in grondwater goed voorspel.

Die eindige-verskil waterbalansmodel is meer universeel toepasbaar as die oorspoel-model. Indien daar byvoorbeeld 'n hoë grondwatertafel voorkom, sal dit die opwaartse vloed van water kan simuleer, terwyl die oorspoel model dit nie kan doen nie en gevolglik minder akkuraat sal wees.

Die impak van hierdie resultate is verreikend omdat die data aantoon dat die pan-benadering met 'n empiriese gewas faktor, vervang kan word met 'n meer meganistiese, akkurater en universeel toepasbare modeleringsbenadering. Die feit dat hierdie resultate behaal is deur slegs van daaglikse minimum en maksimum temperatuurdata gebruik te maak, maak hierdie resultate soveel meer toepasbaar. Alhoewel die akkuraatheid van die simulaties selfs verder verbeter sal kan word, deur van volle weerdata en die Penman-Monteith formule gebruik te maak, kan minstens hierdie vlak van doeltreffendheid met temperatuurdata alleen bereik word. Dit maak die bepaling van atmosferiese verdampingsaanvraag selfs makliker as die meting van panverdamping.

Die NEWSWB model kan dus suksesvol aangewend word om die groei, ontwikkeling en waterverbruik van gewasse vir 'n besproeiingskeduleringsprogram te simuleer. Ten einde die model toeganklik te maak vir praktiese toepassing, sal dit eers in 'n gebruikersvriendelike formaat geprogrammeer moet word en die insetparameters sal vir die verskillende gewasse wat algemeen besproei word, bepaal moet word.

7.8 VERWYSINGS

ANNANDALE, J.G., 1991. Two-dimensional simulation of nitrate leaching in potatoes. Ph.D. thesis, Washington State Univ, Pullman, Washington, USA.

ANNANDALE, J.G. & STOCKLE, C.O., 1994. Fluctuation of evapotranspiration crop coefficients with climate: A sensitivity analysis. *Irrig Sci.*(15) 1-7.

BURGERS, M.S., 1982. Besproeiingsprogrammeerig met behulp van panverdamping by koring, aartappels en stambone. D.Sc. (Agric) thesis, Univ of Pretoria, Pretoria, South Africa.

CAMPBELL, G.S., 1977. An introduction to environmental biophysics. Springer Verlag, New York. 159 p.

CAMPBELL, G.S., 1985. Soil physics with BASIC. Transport models for soil-plant systems. Developments in soil science 14. Elsevier, New York. 150 p.

CAMPBELL, G.S. & DIAZ, R., 1988. Simplified soil-water balance models to predict crop transpiration. In: Drought research priorities for the dryland tropics. (Bidinger, F.R. & Johansen, C., eds.). ICRISAT, India.

DE JAGER, J.M., BOTHA, D.P. & VAN VUUREN, C.J.J., 1981. Effective rainfall and the assessment of potential wheat yields in a shallow soil. *Proc. S. Afr. Soc. Crop Prod.*, 10, 51-56.

GREEN, G.C., 1985. Estimated irrigation requirements of crops in South Africa. Memoirs on the agricultural natural resources of South Africa No. 2, Soil and Irrigation Research Institute. Dept. Agriculture and Water Supply, Pretoria.

HANKS, R.J., 1985. Crop coefficients for transpiration. In: Advances in evapotranspiration. Proceedings of the National Conference on Advances in Evapotranspiration. pp 431-438. ASAE, St Joseph, MI.

JONES, C.A. & KINIRY, J.R., 1986. CERES-Maize. A simulation model of maize growth and development. Texas A&M University Press. College Station.

OLIVIER, F.C., ANNANDALE, J.G. & VAN DER WESTHUIZEN, A.J., 1994. Thermal time requirements for the development of green peas. South African Society of Crop Production Abstracts.

RITCHIE, J.T. & JOHNSON, B.S., 1990. Soil and plant factors affecting evaporation. pp 363-390. In: Irrigation of Agricultural Crops. (Stewart, B.A. & Nielsen, D.R. eds.). ASA, CSSA & SSSA Agronomy Monographs No. 30. Madison, WI.

ROSS, P.J. & BRISTOW, K.L., 1990. Simulating water movement in layered and gradational soils using the Kirchoff transform. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 1519-1524.

TANNER, C.B. & SINCLAIR, T.R., 1983. Efficient water use in crop production: Research or re-search? In: Limitations to efficient water use in crop production. (Taylor, H.M., Jordan, W.R. & Sinclair, T.R., eds.). ASA, CSSA, SSSA publication, Madison.

VAN ZYL, W.H., DE JAGER, J.M. & MAREE, C.J., 1989. Correction factors for evaporimeter coefficients used for scheduling irrigation of wheat. WRC Report No 151/1/89.

WRIGHT, J.L., 1982. New evapotranspiration crop coefficients. J. Irrig. Drain Div. Proc. of the ASCE 108, No. IR1:57-74.

HOOFSTUK 8

BEPALING VAN DIE TERMIESE TYD BENODIG VIR DIE ONTWIKKELING VAN GROENERTE

8.1 INLEIDING

Ten einde die NEWSWB simulasiemodel te kon evalueer, moes die gewasparameters vir die toetsgewas, naamlik groenerte, bepaal word. Aangesien die basistemperatuur en termiese tydbehoeftes vir ontwikkeling van kardinale belang is in skedulering, is besondere aandag aan hierdie aspek gegee.

Die meeste gewasgroeimodelle gebruik temperatuur as primêre dryfkrag vir die ontwikkelingsproses (Whisler, Acock, Baker, Fye, Hodges, Lambert, Lemmon, McKinion & Reddy, 1987). Ontwikkeling behels sekere groeistadiums wat 'n plant tydens sy lewenssiklus moet deurmaak en word onderskei van groei, wat 'n proses van massatoename is. Omdat temperatuur die tempo van metaboliese prosesse van alle lewende organismes beïnvloed, sal dit ook die tempo van ontwikkeling beïnvloed. Afhangend van die temperatuur sal 'n plant dus nie altyd dieselfde aantal dae benodig om tot by 'n spesifieke groeistadium te ontwikkel nie. Om hierdie rede is kalendertyd nie 'n geskikte wyse om plantontwikkeling te beskryf nie. Indien 'n plant se ontwikkeling in terme van termiese tyd (met daggrade as eenhede) beskryf word, sal die plant altyd dieselfde aantal daggrade benodig om tot by 'n spesifieke groeistadium te ontwikkel. Volgens Ritchie & NeSmith, (1991) moet daar 'n vaste verhouding bestaan tussen groeistadium en termiese tyd oor 'n wye reeks van temperature, voordat termiese tyd toegepas kan word as voorspeller van plantontwikkeling. Die doel van hierdie studie was om hierdie temperatuurfunksies te kwantifiseer vir verskillende groeistadiums en cultivars met die oog op modelontwikkeling. 'n Verdere doel was om die kardinale temperature, naamlik die basis- (T_b), optimum- (T_m), en maksimum- (T_x) temperatuur, vir verskillende ontwikkelingsprosesse vas te stel wat benodig word vir die berekening van termiese tyd. T_b is die temperatuur waaronder geen ontwikkeling sal plaasvind nie, T_m die temperatuur waar ontwikkeling teen die maksimum tempo sal geskied en T_x die temperatuur waarbo geen ontwikkeling sal plaasvind nie.

8.2 DOEL

Die doel van hierdie studie was om as deel van die bepaling van die gewasparameters vir groenerte:

- * die temperatuurfunksies (benodigde termiese tyd) te kwantifiseer vir verskillende groeistadiums en cultivars;
- * en, om die kardinale temperature vir groenerte te bepaal.

8.3 ONDERSOEKPROSEDURE

Die navorsing het bestaan uit groeikas- en veldproefwerk sodat resultate verkry in die groeikaste vergelyk kon word met dié verkry in die veld. In die groeikaste waar klimaatstoestande beheer kon word, is die kardinale temperature vir ontkieming en die daaropvolgende groeistadiums bepaal.

Groeikas-proewe

Ontkieming

'n Metode soortgelyk aan die beskryf deur Covell, Ellis, Roberts & Summerfield (1986) is gebruik. Sade is ontkiem by agt verskillende konstante temperature wat gestrek het van 5°C tot 40°C in stappe van 5°C. Vyf cultivars naamlik Novella, Marcado, Orcas, Bolero en Puget is ondersoek. Ontkiemingsrolle is gebruik en het bestaan uit 'n laag watte tussen twee lae bruinpapier wat vooraf benat is met gedistilleerde water. Veertig sade van 'n cultivar is bo-op die boonste papierlaag geplaas en bedek met 'n derde laag bruinpapier. Die ontkiemingsrolle is dan versigtig opgerol en elkeen in 'n plastieksak geplaas om verdamping te voorkom. Ontkiemingspersentasies is elke 4 tot 5 uur waargeneem vir die drie herhalings van elke cultivar. Deur van kumulatiewe ontkiemingspersentasies gebruik te maak kon die ontkiemingspersentasies wat in die vroeë oggendure gemis is, later deur ekstrapolasie bepaal word. Sade is beskou as ontkiem wanneer die radikula 5 mm of langer was.

Groeistadiums

Slegs die vroeë cultivar Novella en 'n later cultivar Puget is hier gebruik aangesien daar nie genoeg ruimte in die groeikaste beskikbaar was vir al vyf cultivars nie. Konstante temperature wat gestrek het van 10°C tot 30°C (in stappe van 5 °C) en 'n fotoperiode van 11 uur is gebruik. Elke groeikas het 48 vyf liter pottes bevat elk met 5 plante om 'n plantpopulasie van nagenoeg 600 000 plante ha⁻¹ te gee. Skoon riviersand is as groeimedium gebruik en plante is daaglik met 'n algemene voedingsoplossing gevoed. Groeistadiums soos beskryf deur Maurer, Jaffrey & Fletcher (1966) en Knott (1987) is twee maal per week waargeneem.

Veldproewe

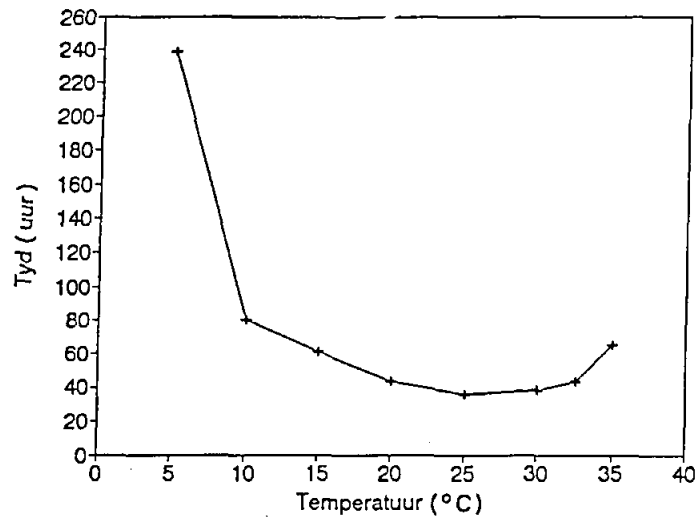
Dieselfde vyf cultivars as hierbo genoem is gedurende die winter van 1993 op die Hatfield proefplaas van die Universiteit van Pretoria verbou. Daar is gebruik gemaak van 'n ewekansige blokontwerp met drie herhalings per cultivar en persele van 5.25 m x 4 m. Kunsmis is voor planttyd breedwerpig uitgestrooi teen 25 kg N ha⁻¹ (KAN), 40 kg P ha⁻¹ (Superfosfaat) en 25 kg K ha⁻¹ (KCl) en met 'n kapploeg ingewerk. Die ertjies is met 'n handplanter op 11 Junie geplant met 'n spasiëring van 300 mm x 50 mm. Finale plantpopulasies het gewissel van 550 000 plante ha⁻¹ tot 583 000 plante ha⁻¹. Stikstofopbesteding is drie weke na opkoms toegedien teen 35 kg ha⁻¹ (KAN). Besproeiings is geskeduleer volgens neutron grondwatermetings en toegedien met 'n sprinkelstelsel. Groeistadiums is weekliks waargeneem deur ewekansig 10 plante per perseel te trek. Hierdie plante is dan ook gebruik vir die bepaling van 'n volledige groeianalise. Maksimum- en minimum- temperature is tydens die groeiseisoen deur 'n nabygeleë outomatiese weerstasie gemonitor.

8.4 RESULTATE EN BESPREKING

Slegs die resultate van een cultivar word by elke afdeling getoon, aangesien die ander cultivars op soortgelyke wyse reageer het. Waar cultivars egter wel verskil, word hierdie verskille uitgewys.

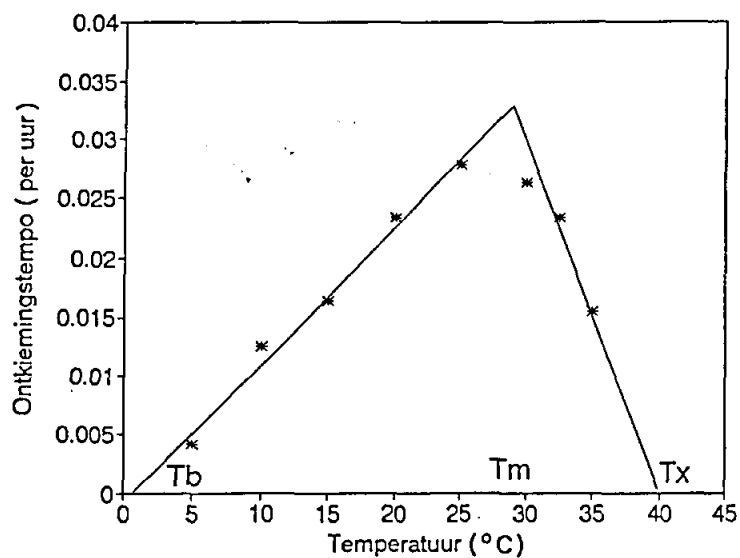
Ontkieming

Die vorm van Figuur 8.1 is tipies van die temperatuurreaksie van 'n ontwikkelingsproses, in hierdie geval ontkieming, waar die proses baie langer neem by temperature laer en hoër as 'n spesifieke optimum temperatuur (T_m).



Figuur 8.1 Die effek van temperatuur op die tyd tot 50 % ontkieming vir die cultivar Puget.

Die kardinale temperature kan afgelei word deur die resiprook van die tyd wat 'n ontwikkelingsproses geneem het, teenoor temperatuur te plot (Figuur 8.2).



Figuur 8.2 Kardinale temperature vir 50 % ontkieming vir die cultivar Puget.

'n Tweede- of derdemags funksie kan deur die punte gepas word, maar twee reguit lyne is meer eenvoudig en pas goed genoeg om ontwikkeling in 'n gewasgroeimodel te voorspel. Om die beste twee lyne aan die data te pas is daar gebruik gemaak van liniêre regressie. Deur ekstrapolasie is dit nou moontlik om T_b , T_m en T_x vir die ontwikkelingsproses vas te stel (Figuur 8.2).

Hierdie kardinale temperature kan as volg gebruik word vir die berekening van termiese tyd.

By temperature laer as T_b en hoër as T_x is termiese tyd (τ_t) zero (vgl 8.1).

$$\tau_t = 0 \quad (8.1)$$

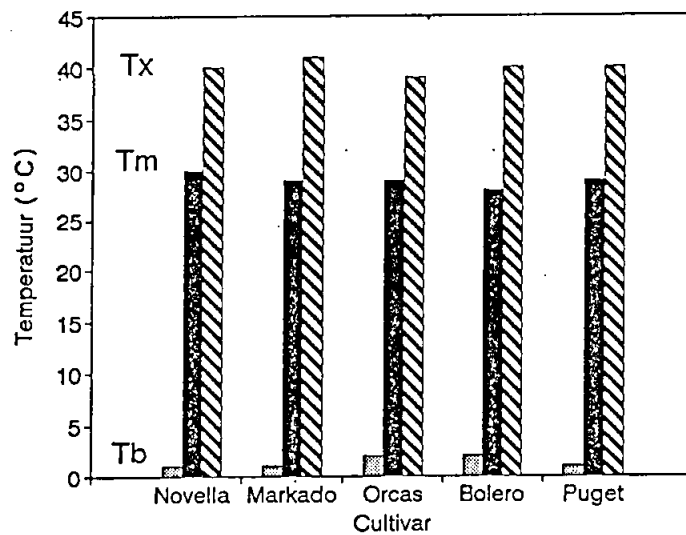
Geen termiese tyd akkumuleer nie en dus sal geen ontwikkeling plaasvind nie. Tussen T_b en T_m neem termiese tyd liniêr toe en word bereken volgens vgl. 8.2.

$$\tau_t = (T_{gem} - T_b)\Delta t \quad (8.2)$$

T_{gem} word bereken as die gemiddeld van die maksimum- en minimum- temperature en Δt stel die tydsinterval voor wat gewoonlik een dag is. Tussen T_m en T_x neem termiese tyd weer liniêr af en word bereken volgens vgl. 8.3.

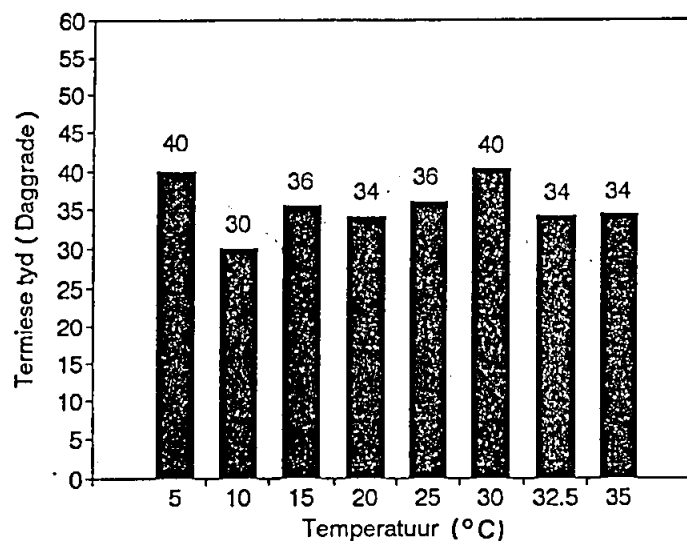
$$\tau_t = [(T_x - T_{gem})(T_m - T_b)/(T_x - T_m)]\Delta t \quad (8.3)$$

Indien die kardinale temperature vir ontkieming van die vyf verskillende cultivars met mekaar vergelyk word (Figuur 8.3) is dit duidelik dat daar amper geen verskille tussen cultivars is nie. Dit wil dus voorkom of net een stel kardinale temperature vir ontkieming van die vyf cultivars gebruik kan word.



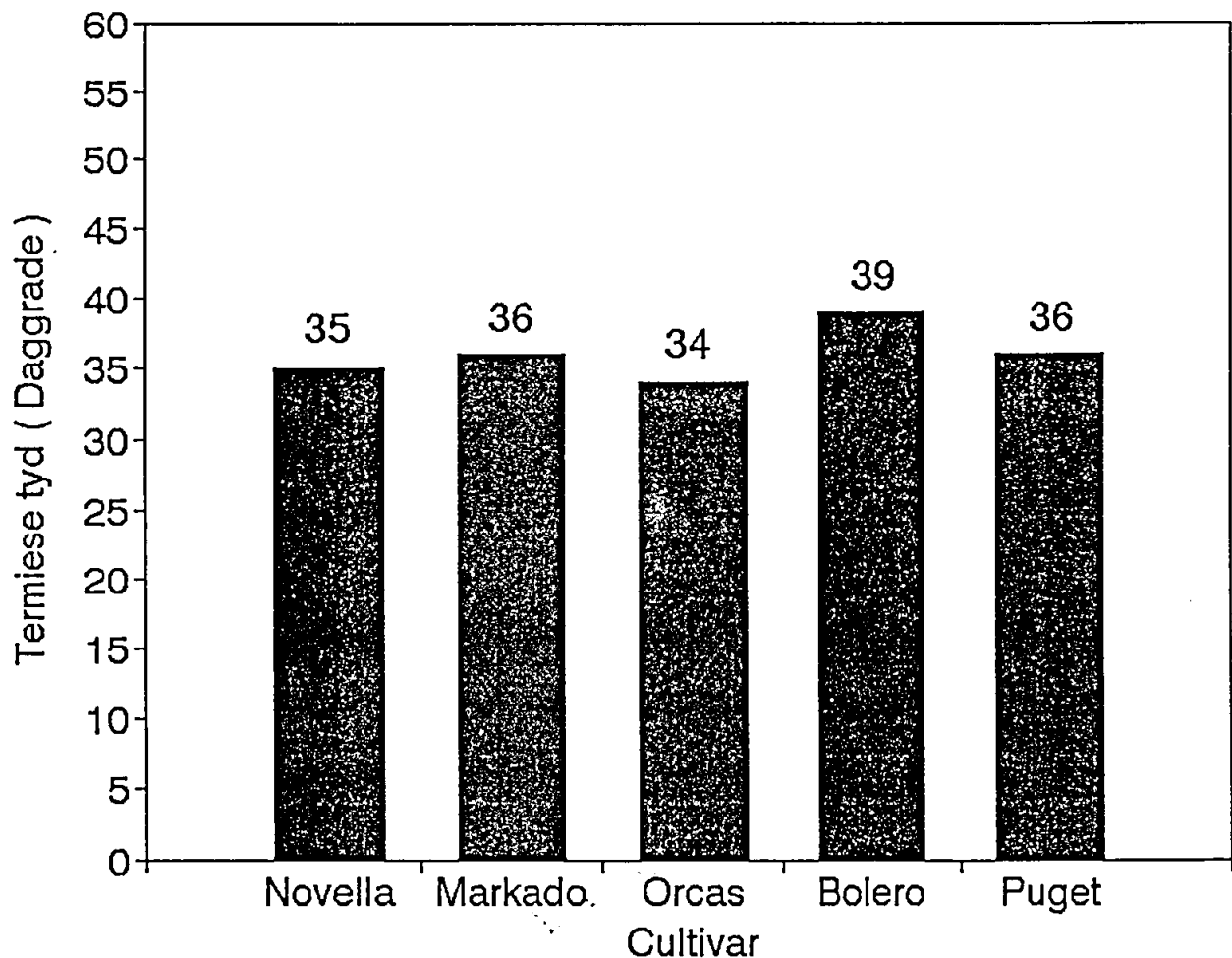
Figuur 8.3 Kardinale temperature vir 50 % ontkieming van die vyf cultivars.

Deur die drie kardinale temperature wat verkry is tesame met vgl. 8.1 tot 8.3 te gebruik, kan termiese tyd tot 50 % ontkieming by verskillende temperature bereken word (Figuur 8.4). Die feit dat daar min variasie in termiese tyd (daggrade) is, is 'n bewys dat die termiese tyd benadering wel werk vir groenerte en dat dit gebruik kan word om ontkieming te voorspel.



Figuur 8.4 Termiese tyd benodig tot 50 % ontkieming vir die cultivar Puget by verskillende temperature.

Die termiese tyd behoefte vir 50 % ontkieming van die vyf cultivars het ook min variasie getoon (Figuur 8.5). Weereens word voorgestel dat ongeag die cultivar, net een waarde vir termiese tyd vir ontkieming gebruik word.



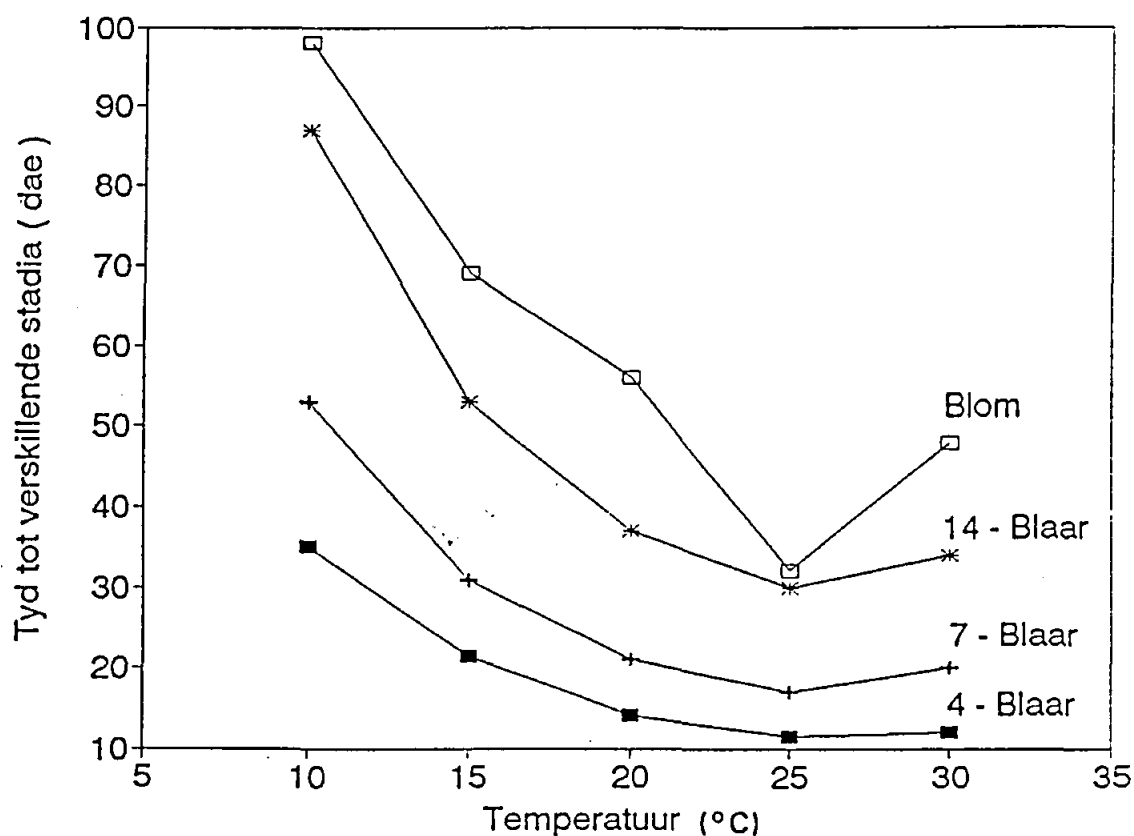
Figuur 8.5 Gemiddelde termiese tyd benodig tot 50 % ontkieming vir die vyf cultivars soos bereken oor al die temperature.

Die klein variasie in termiese tyd tussen cultivars dien as 'n verdere bewys dat termiese tyd 'n goeie benadering is om die ontkieming van groenerte te beskryf.

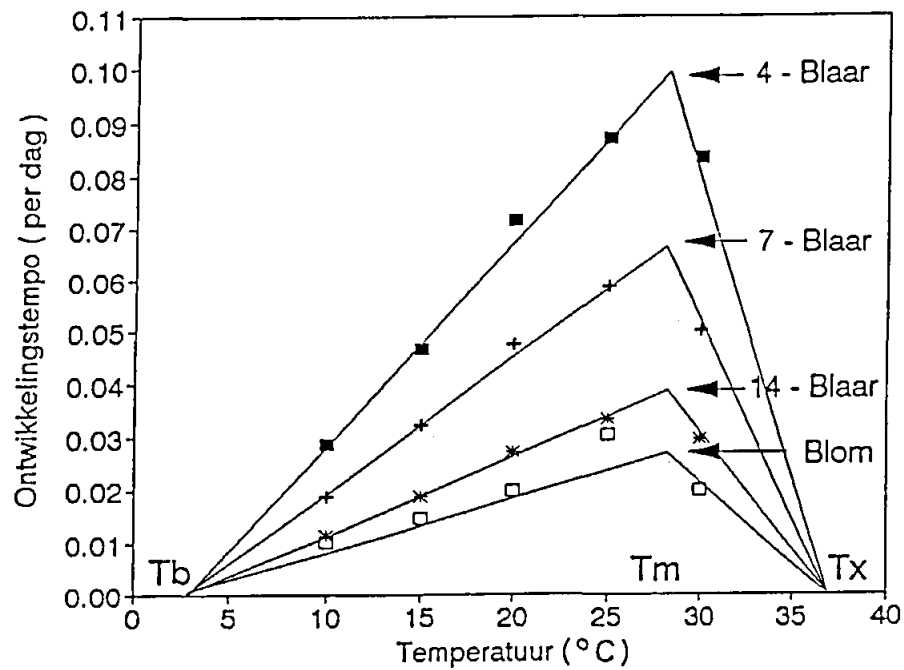
Groeistadiums

Wanneer ons die tyd wat dit neem tot by 'n spesifieke groeistadium plot teenoor temperatuur, verkry ons net soos in Figuur 8.1 die tipiese temperatuurreaksie van 'n ontwikkelingsproses (Figuur 8.6).

Net soos by die ontkiemingswerk is dit weereens nodig om met tempos te werk. Twee reguit lyne is met behulp van liniêre regressie aan die data gepas (Figuur 8.7). Daar is gepoog om die lyne aan die data te pas sodat net een stel kardinale temperature vir al die ontwikkelingsprosesse verkry word. Die tempo by die optimum temperatuur is met behulp van die regressie vergelykings bepaal. Met hierdie datapunt en die een vir 30°C, kon die waarde van 37°C vir Tx ge-ekstrapoleer word.

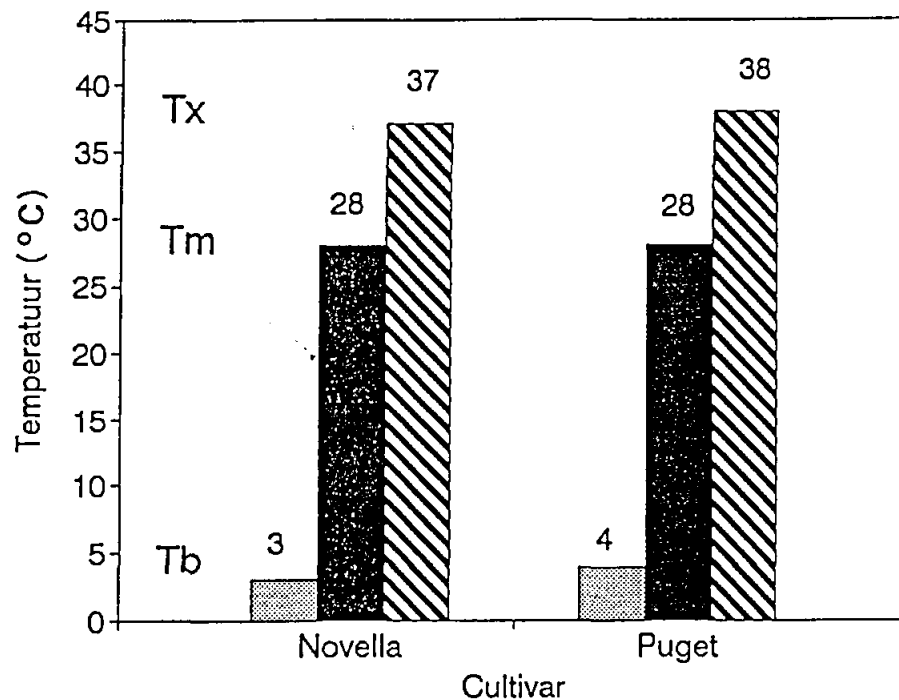


Figuur 8.6 Die effek van temperatuur op die tyd tot by verskillende ontwikkelingsstadia vir die cultivar Novella.



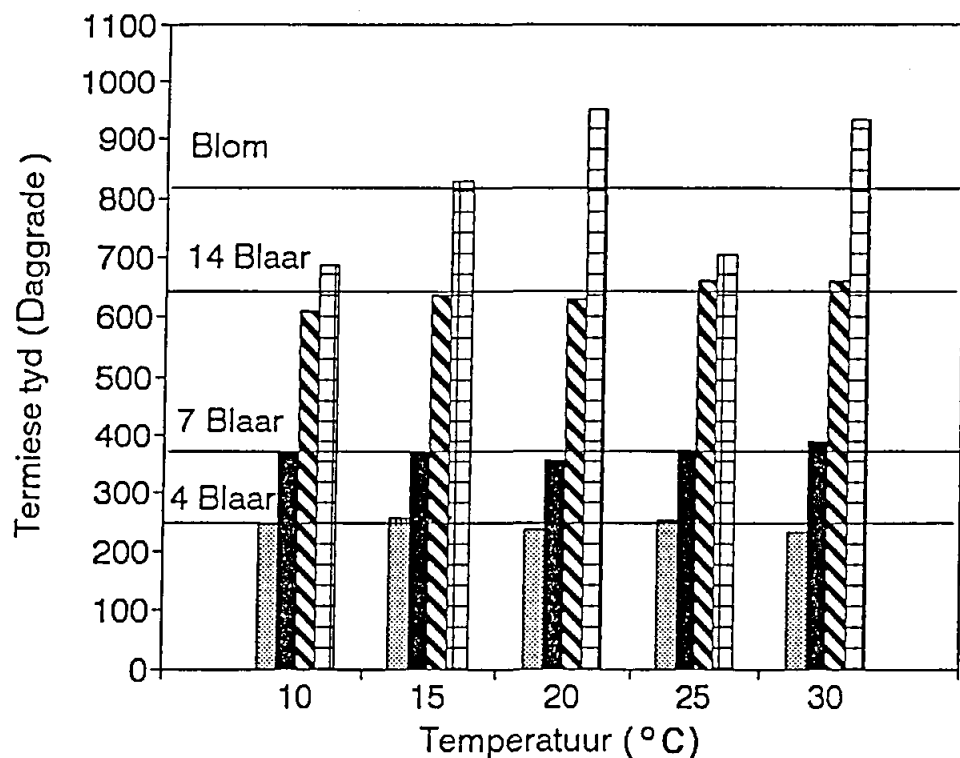
Figuur 8.7 Kardinale temperature vir verskillende ontwikkelingsstadia vir die cultivar Novella.

Die Tb, Tm en Tx vir die verskillende ontwikkelingsprosesse naamlik 4-blaar, 7-blaar, 14-blaar en blom word in Figuur 8.8 getoon.



Figuur 8.8 Kardinale temperature vir die 4-blaar, 7-blaar, 14-blaar en blomstadiums vir die cultivars Novella en Puget.

Hierdie verskille is so klein dat net een stel kardinale temperature vir die twee cultivars gebruik kan word. Figuur 8.9 toon die termiese tyd nodig tot by spesifieke groeistadiums by verskillende temperature en dit is duidelik dat daar min variasie was, behalwe vir termiese tyd tot blom. Laasgenoemde variasie kan moontlik toegeskryf word aan die subjektiewe bepaling van die blomstadium. Net soos by ontkieming blyk dit dus asof termiese tyd 'n goeie benadering is om die ontwikkeling van groenerte te beskryf.

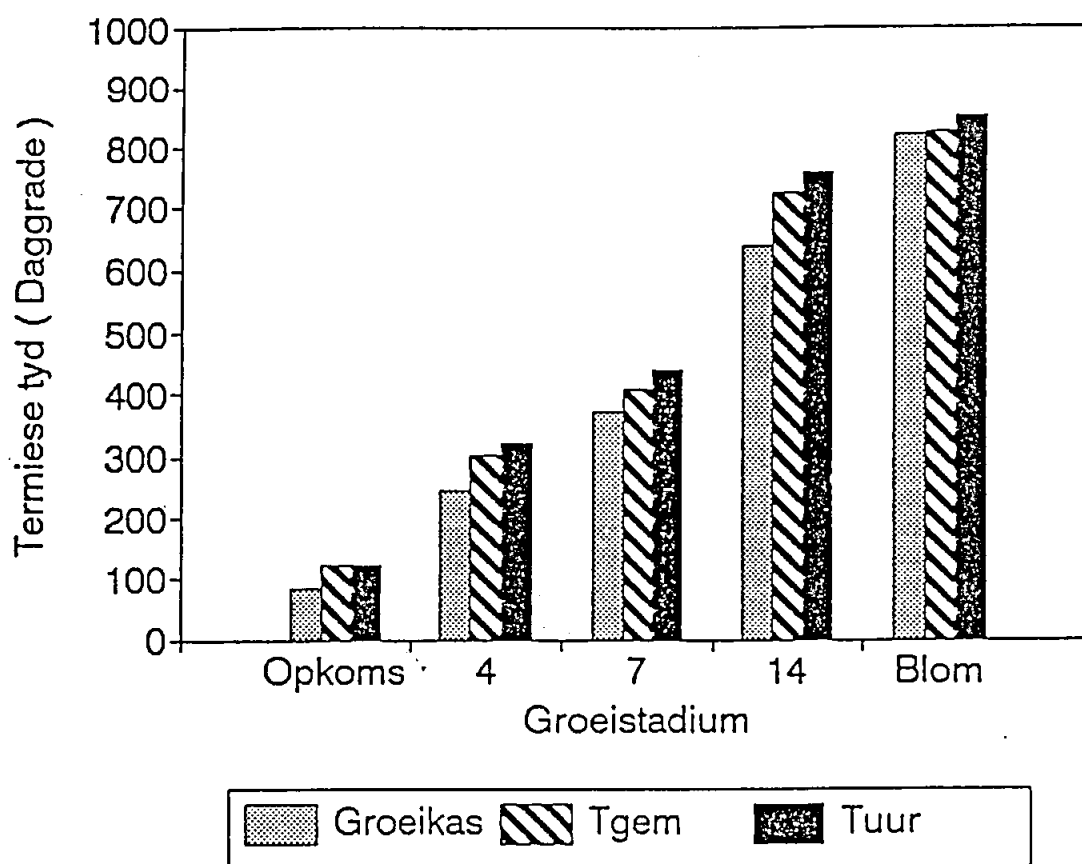


Figuur 8.9 Termiese tyd benodig tot verskillende ontwikkelingsstadia vir die cultivar Novella.

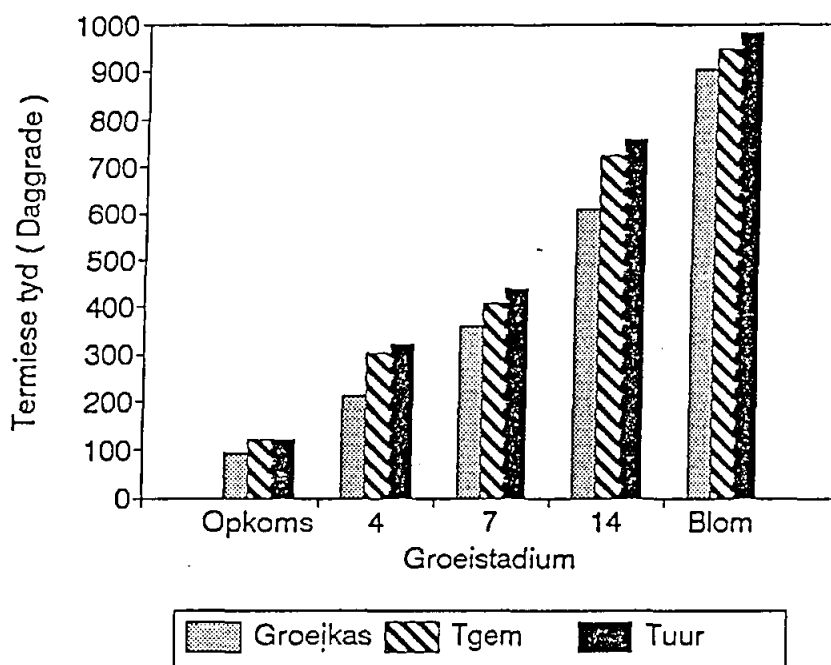
Vergelyking met veldproewe

Kardinale temperature wat in die groeikaste bepaal is vir die verskillende ontwikkelingsprosesse, is teen data van die veldproewe getoets deur termiese tyd tot by dieselfde waargenome groeistadiums te bereken. Waardes vir termiese tyd verkry in die groeikaste vergelyk goed met dié verkry in die veld, maar is konstant laer (Figuur 8.10 en

8.11). Hierdie verskille kan daaraan toegeskryf word dat daar in die groeikaste met konstante temperature gewerk word, terwyl veldproewe by wissellende temperature uitgevoer is. Daar is gepoog om hierdie verskil te verklein deur van uurlikse temperatuurwaardes in plaas van daaglikse gemiddelde gebruik te maak. Die verskil kon egter nie op hierdie wyse verklein word nie. Die rede hiervoor is dat indien die daaglikse gemiddelde temperatuur gelyk aan of laer is as T_b , die termiese tyd volgens vgl. 8.2 vir daardie tydsinterval gelyk is aan nul. Temperature was egter miskien wel vir 'n paar uur in die dag bokant T_b al is die daaglikse gemiddelde temperatuur laer as T_b . Dus sal die waardes van termiese tyd bereken volgens uurlikse gemiddelde temperature hoër wees as die bereken volgens daaglikse gemiddeldes.



Figuur 8.10 Vergelyking tussen groeikas- en veldwaardes vir termiese tyd tot by sekere groeistadiums vir die cultivar Novella.



Figuur 8.11 Vergelyking tussen groeikas- en veldwaardes vir termiese tyd tot by sekere groeistadiums vir die cultivar Puget.

8.5 GEVOLGTREKKINGS

Die volgende gevolgtrekkings word gemaak op grond van die voorafgaande resultate:

- * Die ontwikkeling van groenerte kan beskryf word deur van die termiese tyd benadering gebruik te maak.
- * Vir ontkieming is 'n Tb van 1.4°C, Tm van 29°C en Tx van 40°C bepaal.
- * Vir die vegetatiewe en blomstadiums is 'n Tb van 3.5°C, Tm van 28°C en Tx van 37.5°C bepaal.
- * Hierdie een stel kardinale temperature kan vir al vyf cultivars, wat bestudeer is, gebruik word en moontlik ook vir ander cultivars.

Die termiese tydbehoeftes vir ontwikkeling is as volg:

Tot opkoms	121
Tot 4-blaar stadium	304
Tot 7-blaar stadium	409
Tot 14-blaar stadium	725
Tot Blom (vroee cultivar bv Novella)	824
Tot Blom (later cultivar bv Puget)	947

- * Uurlikse waardes in plaas van daaglikse gemiddelde vir temperatuur kon nie die verskil in termiese tyd tussen die groeikaste en die veld verklein nie.

8.6 VERWYSINGS

COVELL, S., ELLIS, R.H., ROBERTS, E.H. & SUMMERFIELD, R.J. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. I. A comparison of chickpea, lentil, soyabean and cowpea at constant temperatures. *J. Exp. Bot.* 37:705-715.

KNOTT, C.M., 1987. A key for development of the pea (*Pisum sativum*). *Ann. Appl. Biol.* 111:233-244.

MAURER, A.R., JAFFREY, D.E. & FLETCHER, H.F., 1966. Response of peas to the environment. III. Assessment of the morphological development of peas. *Can. J. Plant. Sci.* 46:285-290.

RITCHIE, J.T. & NeSMITH, D.S., 1991. Temperature and crop development. In Hanks, J. & Ritchie, J.T. (eds). *Modeling plant and soil systems. Agronomy monograph no 31. Madison, USA.*

WHISLER, F.D., ACOCK, D.N., BAKER, R.E., FYE, R.E., HODGES, H.F., LAMBERT, J.R., LEMMON, H.E., McKINION, J.M. & REDDY, V.R., 1987. Crop simulation models in agronomic systems. *Adv. Agron.* 40:141-208.

HOOFSTUK 9

BEPALING VAN ATMOSFERIESE VERDAMPINGSAANVRAAG

9.1 INLEIDING

Vir die doeleindes van die modeleringsbenadering wat in die bepaling van waterbehoefte van gewasse (sien hoofstuk 5) was dit nodig om atmosferiese verdampingsaanvraag te bepaal by beide die Hatfield proefplaas van die Universiteit van Pretoria asook by die proewe in Marble Hall. Die prosedure waarvolgens atmosferiese verdampingsaanvraag tydens hierdie ondersoek bepaal is, word hier beskryf sodat dit in ag geneem kan word as die data met ander vergelyk word.

Die bepaling van atmosferiese verdampingsaanvraag het behels dat weerdata ingesamel moes word en die nodige berekenings gedoen moes word.

9.2 INSAMELING VAN WEERDATA

Hatfield

'n Outomatiese weerstasie is op die Hatfield proefplaas van die Universiteit van Pretoria opgerig om deurlopend die weersfaktore wat verdamping beïnvloed te monitor. Solare straling is gemeet met 'n silikonsel piranometer van Li-Cor (LI200SZ), windspoed met 'n bakkies anemometer, natbol- en droëboltemperatuur met koper-konstantaan termokoppels en humiditeit met 'n XNAM higrometer. Reën is gemeet met 'n tipbak reënmeter. Die instrumente is elke 10 sekondes gelees en uurlikse en daaglikse gemiddeldes is gestoor deur middel van 'n Campbell Scientific CR10 dataregistreerder. Die registreerder se battery is deurlopend gelaai met 'n batterylaaier. Data is vanaf die registreerder herwin met behulp van 'n direkte datakabel na 'n rekenaar.

Marble Hall

'n Outomatiese weerstasie is op mnr Evert du Plessis se plaas (Perseel J11, Loskop-besproeiingsskema) opgerig. Solare straling is gemeet met 'n silikonsel piranometer van Li-Cor (LI200SZ), windspoed en windrigting met 'n ECO bakkies anemometer en windrigtingsensor, temperatuur met 'n koper-konstantaan termokoppel en humiditeit met 'n XNAM higrometer. Reën is gemeet met 'n tipbak reënmeter van ECO. Die instrumente is elke 10 sekondes gelees en uurlikse en daaglikse gemiddeldes is gestoor deur middel van 'n Campbell Scientific CR10 dataregistreerder. Die registreerder se battery is gelaai met 'n sonpaneel. Data is vanaf die registreerder herwin met behulp van 'n draagbare rekenaar of deur middel van 'n modem.

9.3 BEREKENING VAN ATMOSFERIESE VERDAMPINGSAANVRAAG

Die NEWSWB model van G.S.Campbell wat in meer detail in Hoofstuk 7 bespreek word is gebruik as basis vir die ontwikkeling van 'n modelerings-benadering tot die bepaling van waterbehoefte van gewasse. Die model benodig weerdata in die volgende formaat: Dag van die jaar (DOY), presipitasie in mm (Precip), maksimum temperatuur in °C (Tmax), minimum temperatuur in °C (Tmin) terwyl solare straling in MJ m⁻² dag⁻¹ (Solar) 'n opsionele inset is. 'n Gemodifiseerde Priestley-Taylor skatting van potensiële evapotranspirasie in mm dag⁻¹ (PET) word bereken vanaf hierdie data. Die model is aangepas om gemete dampdruktekort in kPa (VPD) en Penman-Monteith PET of enige ander skatting van PET te neem indien dit beskikbaar is. Die bronkode in Turbo Pascal kan gevind word in die Unit Modweath in Bylaag C.

Aangesien die XNAM higrometer se kalibrasie baie onstabiel was, is die Priestley-Taylor opsie gekies vir die modellerings voorbeeld soos bespreek in Hoofstuk 7. Die groot voordeel van dié opsie is dat insetdata baie maklik bekombaar is, wat dit 'n geskikte metode maak vir toepassing op plaasvlak. Die berekening van die gemodifiseerde Priestley-Taylor PET word vervolgens kortliks bespreek.

As straling nie gemeet word nie dan word die transmissiwiteit van die atmosfeer (Tr) soos volg bereken:

$$Tr = 0.7 \left[1 - \frac{\exp(-0.329 \sqrt{\Delta T})}{PSR_{[doy-30]}} \right] \quad (9.1)$$

waar ΔT die verskil is tussen maksimum en minimum temperatuur en PSR is die potensiële solare straling bereken vanaf dag van die jaar en breedtegraad. Vir $\Delta T < 2$ word $\Delta T = 2$ geneem. Vergelyking 9.1 is gebaseer op werk gedoen deur Bristow en Campbell, 1984. Die waarneming is gemaak dat dae wat groot verskille tussen minimum en maksimum temperature toon sonnige dae is, terwyl bewolkte dae met 'n lae transmissiwiteit van die atmosfeer gewoonlik kleiner verskille toon tussen maksimum en minimum temperatuur. Solare straling kan dus geskat word as:

$$Solar = Tr PSR_{[doy]} \quad (9.2)$$

Indien straling wel gemeet word, kan transmissiwiteit van die atmosfeer bereken word deur:

$$Tr = Solar/PSR_{[doy]} \quad (9.3)$$

Netto isotermiese straling (R_{ni}) wat die meeste van die energie vir die evapotranspirasie proses voorsien, word bereken as:

$$R_{ni} = (1-a) Solar + L_{ni} \quad (9.4)$$

waar $a = 0.2$ (Davies & Idso, 1979) die albedo voorstel, en L_{ni} die isotermiese netto langgolfstraling. L_{ni} word bereken deur die aanname te maak dat oppervlaktemperatuur gelyk is aan lugtemperatuur. In die geval is netto terrestriële straling die verskil tussen die emmissiwiteite van die atmosfeer en die van die oppervlak, vermenigvuldig met die Stefan Boltzmann konstante en die vierde mag van die Kelvin temperatuur (Monteith, 1975). Unsworth en Monteith (1975) het 'n korreksie aan die emmissiwiteit van lug vir bewolkeheid aangebring. Dit is deur Campbell aangepas en is gebruik in sy skatting van L_{ni} :

$$L_{ni} = \frac{hs[d]}{\pi} \left[0.96 - \frac{1}{1 + 0.048 \exp(7.1 Tr)} \right] (0.026T_{ave} - 9.2) \quad (9.5)$$

waar $hs[d]$ die half dag lengte verteenwoordig en T_{ave} is die rekenkundige gemiddeld van die minimum en maksimum temperatuur.

Die gemiddelde temperatuur word ook gebruik om die helling (s) in $\text{Pa } ^\circ\text{C}^{-1}$, van die versadigde-dampdruk-oor-temperatuur-kromme te skat:

$$s = (0.00223T_{ave} + 0.0549)T_{ave} + 45.3 \quad (9.6)$$

As VPD nie gemeet word nie dan is:

$$VPD = 0.7 s \Delta T \quad (9.7)$$

Priestley en Taylor (1972), het die stralings gedeelte van die kombinasie vergelyking met 'n konstante α gemaak, en die aerodinamiese gedeelte geignoreer:

$$\lambda E = \alpha \left[\frac{s}{s + \gamma} \right] (R_{ni} - G) \quad (9.8)$$

met γ die psigometriese konstante en G die grondhittevloedigheid. λ is die latente hitte van verdamping wat as 2.43 MJ kg^{-1} geneem word en E is die waterdampvloedigheid in $\text{kg m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$. Die vergelyking werk goed omdat hoëstralingomgewings gewoonlik ook droë omgewings is. Jury & Tanner(1975) het VPD in ag geneem in die Priestley Taylor vergelyking deur van 'n veranderlike α gebruik te maak. Steiner, Howell & Schreider (1991) het evapotranspirasie vanaf 'n lisimeter met die Priestley-Taylor vergelyking vergelyk, en tot die gevolgtrekking gekom dat geen lokale kalibrasie van die Tanner & Jury (1975) veranderlike α nodig is nie. Die veranderlike α met simbool α_v word soos volg bereken:

$$\alpha_v = 1 + (\alpha - 1)VPD \quad (9.9)$$

met VPD in kPa en 'n α waarde van 1.26.

Campbell neem ook aan dat $G = 0.1 R_{ni}$ en dus lyk sy Priestley-Taylor vergelyking soos volg:

$$PET = \frac{0.9}{2.43} \left[\frac{(1 + 0.0003VPD) s R_{ni}}{66 + s} \right] \quad (9.10)$$

met VPD in Pa.

9.4 VERWYSINGS

BRISTOW, K.B. & CAMPBELL, G.S., 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agric. For. Meteor.* 31:159-166.

DAVIES, J.A. & IDSO, S.B., 1979. Estimating the surface radiation balance and its components. In *Modification of the aerial environment of plants*. (Barfield, B.J. & Gerber, J.F. eds.) ASAE monograph No. 2:183-210.

JURY, W.A. & TANNER, C.B., 1975. Advection modification of the Priestley and Taylor evaporation formula. *Agron J.* 67:840-842.

MONTEITH, J.L., 1975. *Principles of environmental physics*. Edward Arnold, London.

PRIESTLEY, C.H.B. & TAYLOR, R.J., 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Mon. Weath. Rev.* 100:81-92.

STEINER, J.L., HOWELL, T.A. & SCHREIDER, A.D., 1991. Lysimetric evaluation of daily potential evapotranspiration models for grain sorghum. *Agron. J.* 83:240-247.

UNSWORTH, M.H. & MONTEITH, J.L., 1975. Geometry of long-wave radiation at the ground. 1. Angular distribution of incoming radiation. *Q. J. Royal Met. Soc.* 101:13-24.

AFDELING C

GEVOLGTREKKINGS

EN

AANBEVELINGS

HOOFSTUK 10

OPSOMMING VAN BYDRAE VAN HIERDIE PROJEK TOT DIE FASILITERING VAN TEGNOLOGIE-OORDRAG

10.1 INLEIDING

Met hierdie navorsingsprojek is gepoog om tegnologie oordrag te fasiliteer deur navorsing te doen ten einde die oordrag van beskikbare tegnologie in die kort termyn te bevorder asook om in die langer termyn 'n bydrae te maak tot die ontwikkeling van verbeterde tegnologie.

Tegnologie-oordrag kan op verskeie maniere gedefinieer word. Indien dit gedefinieer word as die finale oordrag tot die uiteindelijke toepassing dan sou dit impliseer dat slegs een norm gebruik kan word om te bepaal of 'n bydrae tot tegnologie oordrag gemaak is, al dan nie, nl: *het die projek daartoe gelyk dat die tegnologie suksesvol toegepas word of nie ?* Aangesien tegnologie-oordrag egter nie slegs 'n eenstap proses is nie, maar dikwels verskeie stappe behels, behoort tegnologie-oordrag gedefinieer te word as *vordering ten opsigte van die uiteindelijke suksesvolle toepassing van tegnologie*. Indien tegnologie dus van 'n punt waar die beginsels en tegnieke klaar ontwikkel is, maar dit nog nie gereed is vir toepassing nie, verder ontwikkel word ten opsigte van bewese gebruikersvriendelikheid, kan hierdie verdere ontwikkeling as tegnologie oordrag gedefinieer word. Enige vordering op hierdie gebied is dus vordering ten opsigte van tegnologie-oordrag.

Gedurende hierdie projek is tegnologie-oordrag op die volgende terreine bevorder:

- * 'n Tweerigting kommunikasiekanaal tussen navorsers en die groentebedryf is geskep;
- * Die fasilitering van die toepassing van skedulering in die praktyk;
- * Nuwe besproeiingsriglyne vir sekere gewasse;
- * Die verfyning van bestaande besproeiingsriglyne;
- * 'n Rekenaarmodel vir praktiese skedulering met behulp van tensiometers;
- * Die ontwikkeling en programmering van die NEWSWB-skeduleringsmodel;
- * Kardinale temperature vir berekening van termiese tyd by groenerte;

- * Kortkursus in besproeiing vir landboukundiges;
- * Bevordering van voorligting.

10.2 BESPREEKING

Die vordering op elk van bogenoemde terreine word vervolgens gerapporteer:

'n Tweerigting kommunikasiekanaal tussen navorsers en die groentebedryf

Samesprekings is met die volgende instansies gehou ten einde hul behoeftes te bepaal en hulle in te lig oor die navorsing wat vir hulle bedryf gedoen word:

- * Departement Landbou;
- * Langeberg Voedsel;
- * Irvin & Johnson;
- * Die Loskop Besproeiingsraad;
- * Departement van Waterwese;
- * Oos Transvaalse Koöperasie.

Deur die projek se betrokkenheid in die Loskopbesproeiingsgebied, is noue kontak met die praktyk bewerkstellig en 'n tweerigting kommunikasiekanaal is tussen die boere, veral via die voorligtingsbeampte van die Departement van Landbou en die Landboukundiges van Langeberg Voedsel, en die projekspan gevestig. Die kommunikasiekanaal funksioneer doeltreffend en behoeftes vanaf die besproeiingsbedryf se kant en oplossings vanaf die navorsingskant word vryelik via hierdie kanaal gekommunikeer. Hierdie kommunikasiekanaal het reeds die volgende positiewe resultate gelewer, nl:

- * 'n Behoeftes vir besproeiingsriglyne vir spesifieke groentegewasse waarvoor óf geen, óf onvoldoende riglyne bestaan, is geïdentifiseer;
- * Langeberg Voedsel het 'n spesifieke behoefte aan die projekspan gestel, naamlik 'n gebrek aan besproeiingsriglyne om vrugkwaliteit (veral brix) by fabriekstamaties te manipuleer;
- * Dit het duidelik geword uit gesprekke met boere en landboukundiges dat huidige skeduleringstegnieke nie gebruikersvriendelik genoeg is nie. Hieruit is die ontwikkeling van die TENSMOD-tensiometermodel en die ontwikkeling van die NEWSWB-

simulasiemodel, soos beskryf in Hoofstukke 5 en 7 onderskeidelik, geïnisieer. Alhoewel beide hierdie modelle nog nie in vebruikersvriendelike formaat geprogrammeer is nie, is die ontwikkeling gedoen en kan dit nou in opvolgprojekte afgerond word;

- * Dit is geïdentifiseer dat daar 'n gebrek aan motivering om te skeduleer by boere bestaan en dat die hoofrede vir hierdie probleem is dat baie boere nie beseft hoe groot die potensiële finansiële voordeel van skedulering is nie.
- * Hierdie kommunikasie het ook daartoe gelei dat lede van die projekspan lesings oor besproeiingskedulering aangebied het tydens 'n besproeiingskursus vir boere, wat in die Loskop besproeiingsgebied gehou is.
- * Die groentebedryf het via Langeberg Voedsel aan die projekspan 'n behoefte ten opsigte van opleiding van hul landboukundiges gestel en dit het gelei tot 'n kortkursus in besproeiing, wat spesifiek vir landboukundiges in die groentebedryf ontwerp en aangebied is.

Die fasilitering van die toepassing van skedulering in die praktyk

Alhoewel dit nie een van die spesifieke doelstellings van hierdie projek was om die toepassing van skedulering tydens die projek te fasiliteer nie, het die omvang van skedulering in die Loskop besproeiings-gebied aansienlik toegeneem as gevolg van die betrokkenheid van die projek. Aangesien resultate van die toepassing van skedulering nie gemonitor is nie, kan nie met sekerheid gesê word wat die impak daarvan op waterbesparings of opbrengste was nie. Daar word egter na raming minstens 15% water bespaar by boere wat wel skeduleer en hierdie besparing gaan oor die algemeen gepaard met opbrengsverhogings.

By die aanvang van die projek is vasgestel dat alle groenerte wat vir Langeberg Voedsel verbou is, volgens 'n vaste program op voorskrif van die landboukundiges van Langeberg Voedsel besproei is. In reaksie op 'n aanbeveling deur die projekpersoneel, het Langeberg Voedsel met mnr Basie du Toit (voorligtingsbeampte van Departement Landbou) kontak gemaak en word alle groenerte-aanplantings van Langeberg Voedsel se produsente tans geskeduleer. Die skeduleringstegniek wat gevolg word is die rekenaarprogram wat op panverdamping en gewasfaktore gebaseer is en wat deur mnr Du Toit ontwikkel is (Hoofstuk 2).

Direk na afloop van die projek is 'n privaat kommersiële skeduleringsdiens in die gebied gevestig om aan die behoeftes van boere te voldoen. Hierdie diens maak van 'n rekenaarprogram wat die gewasfaktor benadering toepas en wat verdampingsaanvraag vanaf temperatuur bereken, gebruik. Dié program is spesiaal vir die doel in 'n gebruikersvriendelike formaat in Turbo Pascal geprogrammeer. Die mate waartoe die diens deur boere ondersteun word, bevestig dat boere wel bereid is om vir 'n diens te betaal. Hierdie tipe dienste sal na verwagting in die toekoms 'n groot bydrae lewer in tegnologie oordrag deur boere te help om te skeduleer en om 'n bewustheid aangaande skedulering te kweek.

Nuwe besproeiingsriglyne vir sekere gewasse

Besproeiingsriglyne in die vorm van gewasfaktore is vir die eerste keer vir sekere groentegewasse opgestel en sal na verwagting toegepas word. Die gewasse is:

- * Beet;
- * Geelwortels;
- * Agurkies;
- * Suikermielies.

Die bydrae van hierdie nuwe riglyne tot fasilitering van tegnologie oordrag, word tesame met dié van die verfyning van bestaande besproeiingsriglyne bespreek.

Verfyning van bestaande besproeiingsriglyne

Die besproeiingsriglyne van 'n paar ander groentesoorte, waarvoor riglyne reeds bestaan het maar waar die riglyne betwyfel is, is gekontroleer en verfyn. Die riglyne sluit die volgende in:

- * Gewasfaktore vir groenerte;
- * Effektiewe worteldiepte van groenerte;
- * Gewasfaktore vir groenbone.

Deur nuwe riglyne te bepaal en bestaande onakkurate riglyne te verfyn, is die akkuraatheid van skedulering verbeter en daardeur is die waarde wat uiteindelik uit skedulering geput kan word, vergroot. Die waarskynlikheid dat skedulering in die algemeen en die riglyne in die besonder toegepas sal word, is hierdeur verhoog.

Daar word verwag dat hierdie gewasfaktore onverwyld toegepas sal word. Die riglyne sal minstens op alle groente wat vir Langeberg Voedsel aangeplant word en by alle boere wat deur die plaaslike voorligtingsbeampte van die Departement van Landbou asook deur dié boere wat deur die privaat skeduleringsdiens bedien word, toegepas word. Hierdie riglyne sal reeds lank voordat hierdie verslag verskyn, toegepas word.

'n Rekenaarmodel vir praktiese skedulering met behulp van matrikspotensiaalesings

Die TENSMOD skeduleringsmodel, wat tydens die projek ontwikkel is, het ten doel om die voordele wat met tensiometers uit besproeiingskedulering geput kan word, te vergroot terwyl die kostes aan kundigheid en bestuurstyd verminder word. Alhoewel die model nog slegs in die vorm van 'n Lotus sigblad geprogrammeer is, en daarom nog nie gebruikersvriendelik is nie en nie vir algemene toepassing gereed is nie, sal dit na verwagting 'n groot bydrae tot skedulering kan lewer indien dit in 'n gebruikersvriendelike formaat geprogrammeer word.

Ontwikkeling en programmering van die NEWSWB skeduleringsmodel

Groot vordering is gedurende die projek gemaak om 'n relatief eenvoudige gewassimulasie = model, wat van grondige meganistiese beginsels en intydse klimaatdata gebruik maak en wat relatief min insetdata benodig, te ontwikkel. Die model is ge-evalueer met groenerte as 'n voorbeeld en die resultate dui daarop dat die model geskik is vir gebruik in skeduleringsprogramme. Die model is in Turbo Pascal geprogrammeer en die bronkode word in Bylae C aangebied. Die verdere programmering, ten einde dit meer gebruikersvriendelik te maak, word in samewerking met dr Nico Benadé van die Randse Afrikaanse Universiteit gedoen en vorm deel van 'n ander WNK-gefinansierde projek, nl: The development of a computerised management system for irrigation projects.

Kardinale temperature vir berekening van termiese tyd by groenerte

Kardinale temperature word algemeen deur die groentebedryf gebruik om plant- en oesdatums te beplan. Modelleerders benodig ook akkurate kardinale temperature vir die simulering van ontwikkelings tempo deur modelle. Die kardinale temperature wat vir groenerte bepaal en getoets is, sal dus dadelik toepassing kan vind in die praktyk.

Kortkursus in besproeiing vir landboukundiges.

Gedurende Januarie 1994 is 'n kortkursus in besproeiing by die Universiteit van Pretoria aan 'n groep van 16 landboukundiges vanuit die groentebedryf aangebied. Die kursus is op aanvraag aangebied nadat die behoefte deur groente proseserings ondernemings aangedui is. Die kursus het die teoretiese beginsels sowel as praktiese aspekte van besproeiingskedulering gedek, terwyl besproeiingstelsels en die onderhoud daarvan ook deeglik behandel is. By afloop van die kursus is 'n formele eksamen afgelê en is sertifikate aan die 15 suksesvolle kandidate oorhandig. Aangesien die kennis van kandidate nie voor die aanvang van die kursus getoets is nie, kan daar nie met sekeheid gesê word tot watter mate kennis toegeneem het nie. Kursusgangers was egter tevrede dat hul baie kennis opgedoen het.

Daar word beoog om in noue kontak met die bedryf te bly en die kursus op aanvraag te herhaal. Tegnologie oordrag word sodoende deurlopend via landboukundiges wat elke dag tussen boere werk, voortgesit.

Bevordering van voorligting

Tydens die projek is 'n situasie ontleding uitgevoer om vas te stel tot watter mate skedulering in die praktyk toegepas word en wat die behoeftes en probleme van boere in dié verband is. Tydens die ontleding van die data van die 1993-opname tesame met dié van 'n vorige opname wat in 1986-gedoen is, is 'n groot hoeveelheid inligting ge-orden en twee behoeftes wat op die voorligtingsterrein aangespreek behoort te word, is geïdentifiseer, nl:

- * Boere moet daartoe gelei word om die koste/voordeelverhouding van besproeiingskedulering te kwantifiseer sodat hulle gemotiveer kan word om te skeduleer ter wille van hul eie voordeel;
- * Boere moet gemotiveer word om besproeiingstelsels behoorlik in stand te hou, sodat die volle potensiële voordeel van skedulering benut kan word.

10.3 GEVOLGTREKKING

In die lig van bogenoemde vordering wat gemaak is ten opsigte van elk van die doelstellings, kan die gevolgtrekking gemaak word dat die oorspronklike doelstellings van hierdie projek verwesentlik is.

10.4 BEHOEFTE GEÏDENTIFISEER WAT VERDERE AANDAG VEREIS

Tydens die projek is daar vyf prominente probleme en/of behoeftes, wat dringend verdere aandag vereis, geïdentifiseer, nl:

- 1 Die belangrikste rede waarom boere oor die algemeen tans nie skeduleer nie, is omdat hulle persepsie van die kostes en voordele van skedulering sodanig is dat hulle nie voldoende voordeel bo koste verwag nie. Volgens bevindinge in hierdie verslag (Hoofstuk 2), moet verbruikers daartoe gelei word om die potensiële finansiële voordele van skedulering te kwantifiseer. Indien hierdie voorligtingstaak suksesvol uitgevoer kan word, sal daar 'n aanvraag na skedulering ontstaan en sal tegnologie oordrag spontaan en vinnig plaasvind.
- 2 Die instandhouding van besproeiingsstelsels word in die praktyk tot so 'n mate afgeskeep dat dit die uitvoering van doeltreffende besproeiingsskedulering belemmer. Alhoewel instandhouding van besproeiingsstelsels nie direk deel van skedulering is nie, kan die volle potensiële voordeel van skedulering nie behaal word, tensy die aanbevole besproeiings doeltreffend toegedien en eweredig versprei kan word nie. Daar word vir jare reeds besef dat stelsel-instandhouding in die praktyk afgeskeep word. Dit word vermoed dat die rede waarom boere nie dringend aandag daaraan skenk nie, is omdat hulle nie die ekonomiese implikasies daarvan kwantifiseer nie. Hierdie voorligtingstaak moet dus waarskynlik saam met die bogenoemde aangepak word.
- 3 Dringende navorsingsbehoefte is by fabriekstamaties geïdentifiseer. Hierdie behoefte is in detail in Hoofstuk 6 bespreek en daar word beplan om 'n navorsingsprojek te loods om die probleem te ondersoek en die behoeftes te bevredig.
- 4 Die TENSMOD-program moet meer gebruikersvriendelik geprogrammeer word en besproeiingsriglyne vir tensiometerskedulering sal verfyn moet word ten einde die volle potensiële voordeel uit die tegniek te put.

- 5 Die NEWSWB-simulasiemodel bied 'n meganistiese, akkurate en redelik universeel toepasbare modelleringsbenadering. Daar word, in samewerking met dr Nico Benadé van die Randse Afrikaanse Universiteit, aan die programmering van die Soil Water Balance skeduleringsprogram (SWB) gewerk. Aandag sal gegee moet word aan die bepaling van gewasparameters vir ander gewasse wat algemeen besproei word. Dit word aanbeveel dat daar in opvolgprojekte hieraan aandag gegee word.

BYLAAG A
VRAELYS 1986

NAAM:

GEREGISTREERDE PLAASNAAM: PERSEEL NR

ADRES:

.....

TELEFOON NR

ALGEMENE INLIGTING:

1. Hoe oud is u?
2. Wat is u hoogste opvoedkundige kwalifikasie?

i) St 6 of laer	ii) St 8
iii) Matriek	iv) Ambag
v) Diploma	vi) Landbou diploma
vii) Landbou graad	viii) Ander graad
3. Hoeveel jaar besproeiingsboerdery ondervinding het u?
4. Voltooi die volgende ten opsigte van eie grond en huurgrond

	Eie grond	Huurgrond
Hoeveel hektare toegerus met besproeiing		
Tipe besproeiingsstelsel		
Hoeveel hektare ingelys		
Waterbron waaruit ingelys		
Totale lewering van boorgate gebruik		
Is boorgatwater ontleed vir geskiktheid?		
Opsomming van ontleding		

5. Met 'n vol waterkwota hoeveel ha van die volgende gewasse beoog u om aan te plant?

Somergewasse:	Eie grond	Huurgrond
Tabak		
Katoen		
Sojabone		
Grondbone		
Mielies		
Groente		
Kool		
Blomkool		
Wortels		
Beet		
Aartappels		
Tamaties		
Groenboontjies		
Ander		
.....		
Wintergewasse		
Koring		
Ertjies		
Groente		
Kool		
Blomkool		
Wortels		
Beet		
Aartappels		
Tamaties		
Ander		
.....		
Boorde		
Sitrus		
Ander		

INWIN VAN INLIGTING:

6. Wat doen u indien u meer inligting oor landboukundige aspekte van besproeiing benodig?

- i) Kontak Departement van Landbou
- ii) Kontak Koöp
- iii) Lees na oor die onderwerp
(Noem tydskrif naam)
- iv) Kontak firmas
- v) Woon studiegroep by
- vi) Verkry inligting van mede-boer
- vii) Het nie inligting nodig nie
- viii) Kontak Landbou Ingenieurswese

7. Hoeveel keer het u gedurende die afgelope 6 maande met die volgende instansies kontak gehad?

- i) Koöperasies se voorligtingsdiens
- a) M.K.T.V. se voorligtingsdiens
- b) O.T.K. se voorligtingsdiens
- c) Ander se voorligtingsdiens
- ii) Departement van Landbou se voorligtingsdiens
- iii) Privaat maatskappye se voorligtingsdiens

By watter maatskappye?

- Clark Cotton
- Tongaat
- I + J
- Langeberg Voedsel
- iv) Chemiese maatskappye se verteenwoordigers
- v) Navorsingsinstansies (M.K.T.V.)

8. Aan watter studiegroepe behoort u?

- i)
- ii)

- 9 Hoeveel vergaderings het elk van die studie groepe hierbo genoem gehou gedurende die afgelope jaar en hoeveel het u bygewoon?

	Studiegroep	Aantal gehou	Aantal bygewoon
i)			
ii)			

10. U het by die studiegroep aangesluit met sekere verwagtings, tot watter mate bevredig die studiegroep die verwagtings? Slaan aan op 5 punt skaal waar 1 glad nie en 5 ten volle.

1 2 3 4 5

11. Hoekom - Indien geen bevrediging

.....

12. Hoe gereeld woon u boeredae by?

- 01) Baie gereeld
- 02) Gereeld
- 03) Soms
- 04) Selde
- 05) Nooit

13. Hoe geslaagd sal u sê is die boeredae ten opsigte van bruikbare inligting vir u as boer? Slaan aan op 5 punt skaal waar 1 glad nie en 5 ten volle verteenwoordig.

1 2 3 4 5

14. Hoe groot is u probleme op die volgende terreine van u boerdery? Slaan aan op 10 punt skaal waar 1 glad geen probleme en 10 baie groot verteenwoordig.

- | | | |
|-------|--|----------------------|
| i) | Gewaskeuse of Cultivar keuse | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| ii) | Bemesting van die gewasse volgens opbrengs mikpunte | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| iii) | Onkruidbeheer | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| iv) | Ekonomie - hoe om te besluit of ekstra trekker ens. nodig is . | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| v) | Plaaagbeheer | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| vi) | Besproeiingsbestuur | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| vii) | Bewerkingspraktyke | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| viii) | Arbeid | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| ix) | Finansiële rekordhouding | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| x) | Ander rekordhouding | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| xi) | Klimaat | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| xii) | Waterbron kwaliteit | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| xiii) | Ander | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |

15. Slaan jou kennis aan ten opsigte van bg waar 1 beperk 10 voldoende

- | | | |
|-------|--|----------------------|
| i) | Gewaskeuse of Cultivar keuse | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| ii) | Bemesting van die gewasse volgens opbrengs mikpunte | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| iii) | Onkruidbeheer | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| iv) | Ekonomie - hoe om te besluit of ekstra trekker ens. nodig is . | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| v) | Plaaagbeheer | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| vi) | Besproeiingsbestuur | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| vii) | Bewerkingspraktyke | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| viii) | Arbeid | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| ix) | Finansiële rekordhouding | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| x) | Ander rekordhouding | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| xi) | Klimaat | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| xii) | Waterbron kwaliteit | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |
| xiii) | Ander | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 |

4. Verskaf die volgende gegewens vir die afgelope drie jaar.

Jaar	Gewas	Hektare geplant	Tonne gelwer	Opmerkings

5. Hoe sal u sê gaan u boerdery oor 5 jaar lyk?

.....

INLIGTING OOR BESPROEINGSTELSELS :

Ontwerpspesifikasie van K P stelsels:

	Stelsel 1	Stelsel 2	Stelsel 3
Oppervlakte			
Spasiëring			
Aantal sproeiers			
Ouderdom van stelsel			
Ontwerpstoediening van stelsel (mm/uur)			
Besproeiingsdae per week			
Staantyd (ure)			
Aantal opstellings			
Besproeiingssiklus			

2. Het u al gemeet of die stelsel nog dieselfde toediening lewer, as waarvoor dit ontwerp is? JA / NEE

3. Hoe het u dit gedoen?

.....

4. **ONTWERPSPESIFIKASIES VAN SPILPUNT :**

	Spilpunt 1	Spilpunt 2	Spilpunt 3
Ontwerps oppervlakte			
Ontwerptoediening (mm/uur)			
Minimum tyd om sirkel te voltooi (uur)			
Maksimum tyd om sirkel te voltooi (uur)			

5. Het u al gemeet of die spilpuntstelsels wel toedien as waarvoor dit ontwerp is?
 JA /NEE

6. Hoe het u dit gedoen?

-
.....
7. Ondervind u enige afloop-probleme (d.w.s stroompies in wielspore en afloop op buiterante) van spilpunte? JA / NEE
8. Hoekom het u besluit om 'n spilpunt te installeer?
.....
.....
9. Deur wie is dit ontwerp?
.....
10. Het die ontwerper die effektiewe diepte van die grond bepaal?
JA / NEE
11. Hoe het hy dit gedoen?
.....
.....
12. Het die ontwerper die infiltrasietempo van die grond bepaal?
JA / NEE
13. Hoe het hy dit gedoen?
.....
.....
14. Het die ontwerper die klei % van die grond bepaal?
JA / NEE
15. Hoe het hy dit gedoen?
.....

-
16. Het die ontwerper die voghouvermoë van die grond bepaal?
JA / NEE
17. Hoe het hy dit bepaal?
.....
.....
18. Slaan die ontwerper van u stelsel se landboukundige kennis aan op 10 punt skaal waar 1 swak en 10 baie goed is 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
19. Tot watter mate beskou u die voorsiening van water deur waterwese (opgaardam ingesluit) as 'n beperkende faktor tot goeie besproeiingsbestuur. Slaan aan op 10 punt skaal waar 1 glad nie en 10 baie hoog 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

KENNIS VAN GEWASSE:

1. Hoe noodsaaklik beskou u kennis van die plant se vogbehoefte as 'n vereiste vir goeie besproeiingsbestuur. Slaan aan op 5 punt skaal waar 1 glad nie noodsaaklik en 5 uiters noodsaaklik. 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
2. Slaan u eie kennis aan op 'n 10 punt skaal ten opsigte van bg waar 1 swak en 10 baie goed 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
3. Wat beteken die begrip gewasfaktor vir u?
.....
.....
.....
.....
.....
.....

- 4 Wanneer sal u sê is die kritieke stadia's ten opsigte van watertekorte by die gewasse wat u verbou (dit wil sê wanneer sal u die meeste skade kry as gevolg van droogte) en wat sal u sê is die gemiddelde hoeveelheid water per dag wat die gewas gedurende die stadium benodig ? Watter persentasie van beskikbare water word onttrek by die verskillende gewasse ?

Gewasse	Kritieke Stadium	Gemiddelde daaglikse behoefte (mm/dag)	% onttrekking
1			
2			
3			
4			
5			
6			

5. Tot watter mate sal u sê voorsien u besproeiing aan die gewas se vogbehoefte ?
Antwoord volgens 'n 10 punt skaal met 1 = glad nie en 10 = ten volle.

..... 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

6. Wat is u huidige gewasverbouings-patroon, d.w.s. gewaskeuse en -opvolging ?

.....
.....

7. Is u tevrede met u wisselboustelsel? JA / NEE

KENNIS VAN GROND:

1. Hoe noodsaaklik beskou u kennis van die grond eienskappe as 'n vereiste vir doeltreffende besproeiingsbestuur ? 5 Punt skaal 1 glad nie en 5 uiters noodsaaklik.

1 2 3 4 5

2. Slaan u eie kennis aan ten opsigte van bogenoemde op tien punt skaal waar 1 swak en 10 baie goed.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

3. Wat verstaan u onder die begrip "effektiewe diepte van 'n grond".

.....

4. Gee die volgende gegewens ten opsigte van u grond.

Landnommer of -naam	Grondtipe	Effektiewe diepte (m)	Klei % van bogrond	Klei % van ondergron d	Infiltrasie tempo
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

5. Hoe is die kleipersentasie bepaal?

- 1) Laboratorium
- 2) Veld metode
- 3) Geskat

6. Wat is die gewasse wat u verbou se onttrekkingsdiepte?

Gewas	Onttrekkingsdiepte (m)
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	

7. Hoe gereeld stel u vas of daar enige beperkende lae in u grond is wat wortelontwikkeling kan beïnvloed?

.....

8. Hoe is dit gemeet?

.....

9. Wat verstaan u onder veldkapasiteit van u grond?

.....

.....

.....

10. Wat verstaan u onder verwelkpunt van u grond?

.....

.....

.....

11. Wat is u grond se plantbeskikbare voghouvermoë?

Grondtipe	Voghouvermoë (mm/m)
.....	
.....	
.....	
.....	

13. Hoe is dit bepaal?

.....

.....

.....

14. Hoeveel mm water benodig u grond om dit vanaf verwelkpunt tot by veldkapasiteit te benat tot op die onttrekkingsdiepte?mm

15. Benat u u grond tot by veldkapasiteit tot op sy onttrekkingsdiepte voor plant of so gou moontlik na plant? JA / NEE

16. Hoe groot is u probleme met die volgende en hoeveel ha is daarby betrokke. Slaan aan op 5 punt skaal waar 1 = geen en 5 = baie.

Verbrakking	hektare betrokke		1	2	3	4	5
Versuiiping	hektare betrokke		1	2	3	4	5
Erosie	hektare betrokke		1	2	3	4	5
Grondverdigting	hektare betrokke		1	2	3	4	5

17. Wat doen u met u oesreste?

.....

.....

.....

18. Hoekom?

.....

.....

.....

BESPROEING :

1. Wat verwag u sal die opbrengste van die gewasse, wat u verbou, wees onder die volgende toestande:

Gewasse	Besproeiing 100% volgens voorskrif	Aanvullende besproeiing	Droëland
.....			
.....			
.....			
.....			
.....			

2. Slaan u eie besproeiingsbestuur aan op 10 punt skaal waar 10 baie goed is en 1 baie swak. 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

3. Wat sal u sê is u kennis ten opsigte van

i) Tegniese aspekte van besproeiing 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

ii) Fisiese aspekte 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

4. Pas u besproeiingsskedulering toe?

JA / NEE

5. Beskryf hoe u dit doen.

.....

6. Watter hulpmiddel gebruik u om besproeiingsskedulering te kan doen?

i) Tensiometers of irrometers ii) Verdampingspan

ii) Grondboor iv) Gewas sigbare tekens

- v) Besproeiingshandboek vi) Indikator plante

7. Wat sal u sê is die vernaamste redes waarom so min boere op die skema gebruik maak van die hulpmiddels om te skeduleer?

.....

8. Watter voordele hou korrekte skedulering vir u in?

.....

9. Indien nie skeduleer watter van die redes in vraag 7 genoem is op u van toepassing.

.....

10. Hoe besluit u wanneer om te besproei en hoeveel om te gee?

.....

11. Indien u van 'n vaste siklus gebruik maak hoeveel mm dien u elke hoeveel dae toe?

.....

12. Wie het vir u die siklus bepaal?

.....

13. Pas u die toediening aan namate die plant ouer word?

JA / NEE

14. Indien ja hoe doen u dit?

.....

.....

.....

Tot watter mate beskou u u stelsel se vermoë as 'n beperking vir goeie besproeiingskedulering?

(Gebruik 'n 10 punt skaal waar 1 = geen beperking en 10 = baie sterk beperkend)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

BEHOEFTE AAN SKEDULERINGSDIENS

Tot watter mate sal u wil deelneem aan 'n skeduleringdiens, dws u word voorsien van inligting om u te help besluit hoeveel water om toe te dien

(Gebruik 'n 10 punt skaal waar 1 = glad nie en 10 = baie graag)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Gee 'n kort beskrywing van hoe die ideale skeduleringdiens volgens u mening moet funksioneer

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Hoeveel sal u bereid wees om te betaal vir so 'n diens?

..... R/ha

..... R/jaar

STELSEL INSTANDHOUDING

Slaan u stelsel aan op 'n tienpunt skaal tov die volgende waar 1 = swak en 10 = baie goed

a) Algehele toestand

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

b) Vermoë om in piektyd aan die gewasse se vogbehoefes te kan voldoen

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

c) Verspreidingsdoeltreffendheid

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Wat is die nadele van gesluite "nozzels"?

.....

.....

.....

.....

.....

Vir u as bestuurder van 'n onderneming, hoe groot is u probleme op die volgende terreine van u boerdery:
(Slaan aan op 'n tienpunt skaal waar 1 = geen en 10 = baie groot)

[illegible]

Slaan u eie kennis aan tov
volgende aspekte waar 1 =
geen kennis en 10 =
uitmuntende kennis

[illegible]

[illegible]

Voltooi asseblief die volgende tabelle so ver moontlik:

	LAND 1	LAND 2	LAND 3	LAND 4	LAND 5	LAND 6
TYPE STELSEL						
HEKTARE						
DATUM						
GROND						
KLEUR						
KLEI %						
DIEPTE						
VOGHOUVERMOE						

VIR SPILPUNTE[illegible]

KONVENTSIONELE STELSLS

[illegible]

BYLAAG B

BESPROEIINGSBESTUURS INLIGTINGSTUK

Besproeiingsbestuur behels die beplanning, organisering, implementering en beheer van 'n wye reeks aksies en funksies wat in die produksieproses in besproeiingsboerdery betrokke is. Een van hierdie aksies wat van kardinale belang is, is skedulering.

WAT IS BESPROEIINGSSKEDULERING ?

Besproeiingsskedulering is die besluitnemingproses waardeur die besproeiingsbestuurder besluit wanneer en hoeveel om te besproei ten einde die optimum voordeel (Wins) te behaal nadat kostes verreken is.

WAAROM SKEDULEER ?

Opnames wat onlangs in die Loskop besproeiingsgebied gedoen is en die toepassing van skedulering by sowat 20 boere gedurende die afgelope 2 jaar, het die volgende resultate gelever :

		EENHEDE		KORING	GROENERTE
Gemiddelde besproeiing sonder skedulering	mm	620	520		
Gemiddelde besproeiing met skedulering	mm		520	320	
Gemiddelde waterbesparing	mm		100	200	
Geldwaarde van waterbesparing @ R0,90/mm	R/mm		90	180	
Gemiddelde opbrengsverhoging met skedulering	t/ha		0,8	0	
Geld waarde van opbrengsverhoging	R/ha		640	0	
Ekstra hektare met gespaarde water geplant	ha	0,19	0,38		
Ekstra inkomste uit ekstra hektare	R/ha		346	856	
TOTALE BESPARING PLUS EKSTRA INKOMSTE	R/ha		R1076	R1036	

Besproeiingsdeskundiges verwag dat daar selfs groter besparings deur skedulering by somergewasse behaal sal kan word.

Die besparings en addisionele inkomste is sterk afhanklik van die gewas(se) wat verbou word en die inkomste per mm water toegedien wat daarmee verdien word. Die gemiddelde inkomste per mm besproeiing vir 'n aantal gewasse, word vervolgens vertoon :

GEWAS		INKOMSTE/mm BESPROEI	
Sojabone	R 1,23	Katoen	R 2,08
Groenbone	R 3,96	Groenernte	R 4,28
Paprika	R 6,06	Aartappels	R16,00
		Koring	R 3,46
		Saadmielies	R 4,45
		Tabak	R16,80

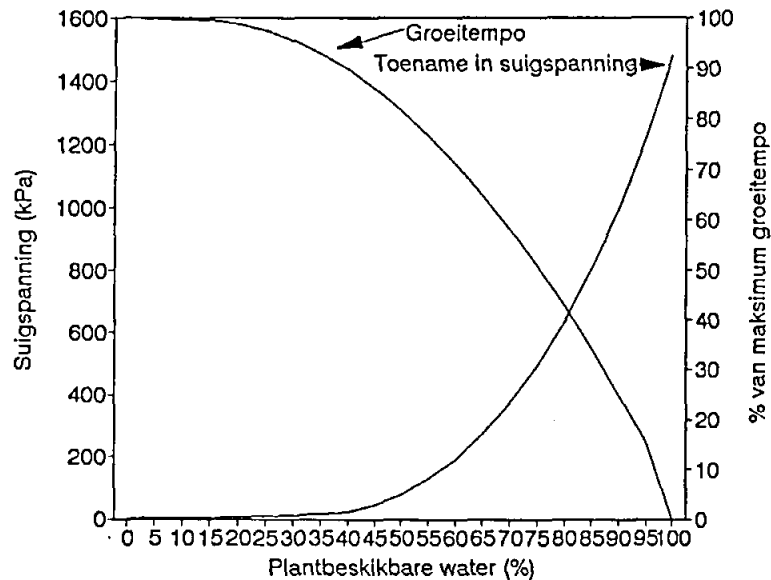
Uit bogenoemde inligting is dit duidelik dat aansienlike besparings en addisionele inkomstes deur skedulering behaal kan word en dat

elke boer behoort seker te maak dat hy voordeel daaruit put.

WAT IS DIE BEGINSELS ?

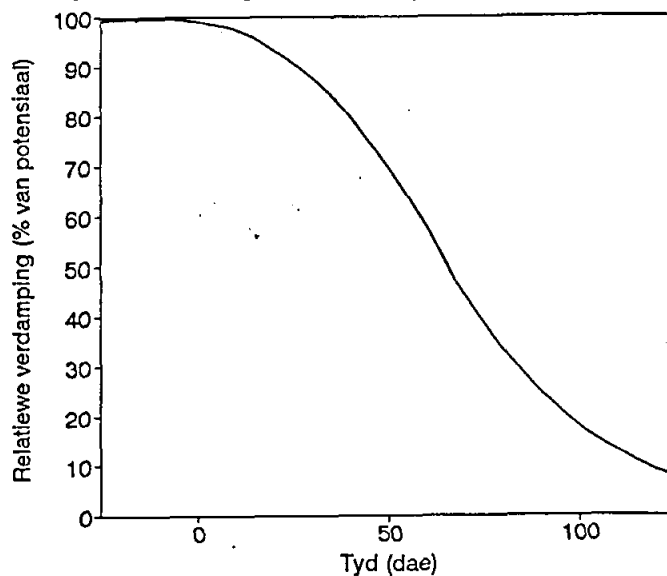
Met besproeiingsskedulering moet onder andere veral die volgende twee beginsels deeglik in ag geneem word.

- 1 Indien die grond se stoorkapasiteit vir makliker opneembare water oorskry word deur te veel water te onttrek sal groeitempo en produksieverlaag. Sien Figuur 1.



Figuur 1 Die verband tussen suigspanning waarmee plantbeskikbare water vasgehou word en die groeitempo van plante.

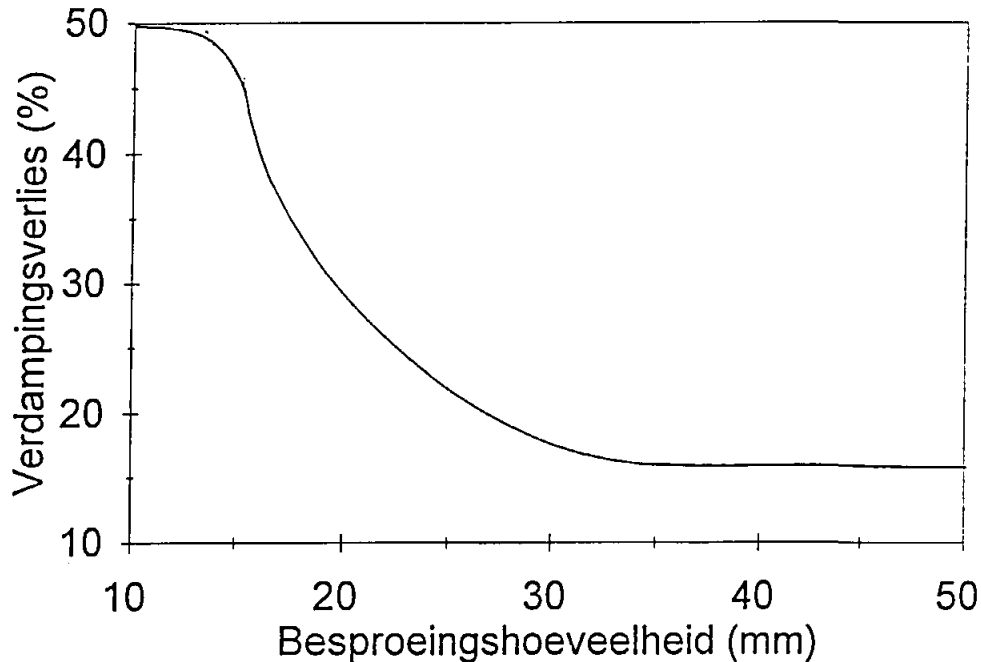
- 2 Na elke reën of besproeiing vind verdamping teen 'n hoë tempo vanaf die nat grondoppervlakte plaas en hierdie verdampingstempo neem af oor tyd namate die oppervlakte droog word.



Figuur 2: Die afname in relatiewe verdamping vanaf 'n nat grond oor tydverloop na 'n reën of besproeiing.

Verdampingsverliese beloop min of meer 5 mm per besproeiing en soos in Figuur 3 aangetoon word, is die persentasie verliese baie

groter met kleiner besproeiings wat meer gereeld toegedien word as met groter besproeiingshoeveelhede wat met langer besproeiingsintervalle gepaard gaan.



Figuur 3 : Persentasie verdampingsverlies indien 5 mm van elke besproeiing verdamp.

HOE WORD BESPROEIINGSKEDULERING GEDOEN ?

Twee basiese benaderings tot skedulering word vervolgens kortliks bespreek:

1 Skedulering deur die grond te monitor:

Met hierdie benadering word besluit tot water grondwaterinhoud of grondwaterspanning die grondwater onttrek kan word sonder om produksie te strem. Hierdie "veilige" vlak hang af van die tipe gewas, die ontwikkelingstadium daarvan en die klimaat. Die grondwaterinhoud of die grondwaterspanning word dan op 'n gereelde basis gemeet om te bepaal wanneer die veilige vlak bereik is en hoeveel water toegedien moet word.

2 Skedulering deur waterverbruik te beraam relatief tot atmosferiese verdampingsaanvraag.

By hierdie benadering word die grondwater ook tot by 'n "veilige" vlak, waarop vooraf besluit is, onttrek. Die grondwaterinhoud word egter nie gedurig gemonitor nie. Die atmosferiese verdampingsaanvraag word met die verdampingspan of 'n outomatiese weerstasie gemeet. Die gewas se waterverbruik word dan bereken as 'n fraksie van die verdampingsaanvraag. 'n Grondwaterbalans word daaglik bereken deur onttrekkings en toevoegings van water van die grondwaterinhoud af te trek of by te tel. Daar word dan besproei wanneer die voorafbepaalde "veilige" vlak bereik word. Die benadering word aangevul met periodieke metings van grondwaterinhoud om die berekenings te kontroleer.

WATTER TOERUSTING IS NODIG ?

Die toerusting wat benodig word, hang in die eerste plek af van watter benadering gevolg word. Verder hang dit ook daarvan af of u die skedulering self wil doen en of u dit deur een of ander diens-organisasie wil laat doen (sien item 7).

Vir skedulering op grond van grondmonitering kan tensiometers gebruik word om die grondwaterspanning te meet. Minstens 6 tensiometers word per aanplanting benodig. Die koste beloop nagenoeg R280 per tensiometer. Alternatiewelik kan grondwaterinhoud gravimetries gemeet word. Dan word 'n grondboor, 'n akkurate skaal en 'n droogoond benodig. Die tegniek is egter arbeidsintensief aangesien grondmonsters op minstens 5 plekke per land op minstens 3 dieptes geneem moet word en dit gereeld herhaal moet word. Daar bestaan ook 'n paar ander metodes wat oorweeg kan word en verdere inligting in die verband is op aanvraag beskikbaar.

Vir skedulering op grond van atmosferiese verdampingsaanvraag moet 'n rekenaar verkieslik beskikbaar wees. Alhoewel die berekenings per hand gedoen kan word, sal dit baie tyd vereis en onprakties wees, veral in gevalle waar verskeie aanplantings gelyktydig geskeduleer moet word. 'n Eie verdampingspan of weerstasie sal wel die akkuraatheid verhoog, maar is nie 'n vereiste nie, aangesien daar data van drie verskillende panne en weerstasies wat eweredig oor die gebied versprei is, beskikbaar is.

Indien daar van 'n skeduleringsdiens, wat deur konsultante aangebied word, gebruik gemaak word sal waarskynlik geen toerusting nodig wees nie.

WATTER INLIGTING IS NODIG ?

Ten einde te skeduleer is spesifieke inligting aangaande die betrokke gewas, die besproeiingsstelsel en die grond nodig. Die gewas-inligting is op aanvraag vanaf landboukundiges beskikbaar. Grond-inligting behels eienskappe van die verskillende grondtipes wat op u plaas voorkom, soos:

- Waterhouvermoë by verskillende suigspannings (retensiekromme)
- klei persentasies
- brutodigtheid
- laagdiktes

So 'n ontleding kan nagenoeg R500 per grondtipe kos.

Stelsel-inligting behels die vermoëns en beperkings van die stelsel(s), naamlik :

- Maksimum toediening in mm/dag
- Toedieningstempo (mm/uur)
- Besproeiingsdoeltreffendheid (%)

WIE DOEN DIE SKEDULERING ?

Daar bestaan breedweg drie alternatiewe in soverre dit die uitvoer van die werk aanbetref.

1 Die boer kan self alles doen.

In dié geval sal dit waarskynlik die volgende van hom vereis.

- Voldoende opleiding/kennis om te verseker dat hy dinge reg doen.
- Hy sal die nodige toerusting moet bekom en leer om dit reg te gebruik.
- Bestuurstyd afstaan om die werk te doen. Na raming sal dit 'n gemiddelde boer gemiddeld minstens 30-60 minute per dag neem om al sy aanplantings te skeduleer.

2 Daar kan van die gratis dienste van Landboukundiges gebruik gemaak word.

Alhoewel hierdie dienste gratis is, moet daar in ag geneem word dat volledige dienste dikwels nie aangebied kan word nie, veral nie indien heelwat boere daarvan gebruik wil maak nie. Redelike resultate kan egter, veral in die geval van wintergewasse, behaal word.

3 Daar kan van konsultante gebruik gemaak word.

So 'n diensorganisasie kan al die skeduleringsfunksies vir die boer doen en sal dan daarvoor vergoed moet word. In beginsel sal die koste aansienlik minder moet wees as wat die verwagte voordeel is. Na verwagting sal die koste van sodanige dienste sowat 10% van die verwagte voordeel beloop.

BYLAAG B

VRAELYS 2

BESTUDEER ASSEBLIEF Die inligtingstuk noukeurig en beantwoord dan hierdie vraelys:

- 1 Hoe vergelyk u watergebruik vir gewasse met dié wat met skedulering volgens die vraelys gebruik word ?
 - a. Ek gebruik minder water
 - b. Ek gebruik dieselfde hoeveelheid water
 - c. Ek gebruik bietjie meer water
 - d. Ek gebruik baie meer water

- 2 Wat beteken die begrip besproeiingskedulering vir u ?

- 3 Tot watter mate dink u is die voorgestelde waterbesparings en opbrengsverhogings onder u omstandighede haalbaar ? (Beoordeel op 'n 10 puntskaal, waar 1 = glad nie en 10 = ten volle haalbaar)
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

- 4 Watter van die alternatiewe maniere om te skeduleer, soos in die inligtingstuk beskryf, sou u verkies ?
 - a. Wil dit graag self doen
 - b. Wil 'n instansie betaal om dit vir my te doen
 - c. Ek stel glad nie belang in skedulering nie.

- 5 Indien u sou verkies dat 'n instansie 'n skeduleringsdiens moet aanbied, hoe sou u verkies dat so 'n diens moet lyk ?

- 6 Hoeveel is u bereid om te betaal vir so 'n diens ?
- 7 Sal u graag meer wil leer oor besproeiingskedulering ?

- 8 Indien u meer wil leer oor besproeiingskedulering, watter van die volgende metodes is vir u die meeste aanvaarbaar. Nommer die opsies van 1 tot 5 met 1 vir meeste aanvaarbaar en 5 vir minste aanvaarbaar.

a. Boeredae		b. Kursusse	
c. Studiegroepe		d. Geskrewe inligtingstukke	
e. Individuele kontak met kundiges			

```

uses crt,modcrop,modweath,scrplt2,dirsrch,modsoil{modfd};

const sn = 2;
    {sn=1 plots dry matter and LAI; sn=2 plots soil moisture }
    {sn=3 and changing Uweathr to Ugweathr eliminates plotting }
    {and uses the climate generator to run the model }
    {changing modsoil to modfd uses finite diff. soil model }

var p,yrs,nyrs,da,i,j,m,nul,plantday,startday,endday:integer;
    psilm,Emax,meantemp,pr,rdmax,gai,rop,tdm,hdm,trans:real;

    fi,dml,dms,dmp,dmr,theta7:real;

    storage,yield,latitude,cumETD,sumetd,rootd:real;
    crop:ocrop;
    weather:oweather;
    soil:osoil;
    bd,thetav,fcwc,pwpwc,wc,z,dz:soilvecs;
    infile,outfile:text;
    ext:string[3];
    pw1,pw2,pd:array[1..6] of real; np:array[1..6] of integer;
    newyear:boolean;

BEGIN
    if sn=3 then begin
        write('number of years in simulation '); readln(nyrs);
        ext:='par'; startday:=243; endday:=365;
    end
    else begin
        nyrs:=1; ext:='wth'; startday:=1;

        endday:=283; { make this one day before the last day in the weather file}

    end;
    assign(infile,GetFileName('crp','Crop Data Files'));
    reset(infile);
    readln(infile,latitude,startday);
    readln(infile,rdmax,rop);
    readln(infile,plantday); if sn=3 then plantday:=0; {determine it later}
    read(infile,z[1]); z[1]:=0.01*z[1]; z[0]:=0;
    for i:=1 to nl do begin
        read(infile,z[i+1]); z[i+1]:=0.01*z[i+1]; dz[i]:=z[i+1]-z[i];
        z[i]:=(z[i+1]+z[i])/2;
    end; z[1]:=0; readln(infile);
    for i:=1 to nl do read(infile,fcwc[i]); readln(infile);
    for i:=1 to nl do read(infile,pwpwc[i]); readln(infile);
    for i:=1 to nl do read(infile,wc[i]); readln(infile);
    for i:=1 to nl do read(infile,bd[i]); readln(infile);
    weather.init(latitude,startday,GetFileName(ext,'Weather Files'));
    readln(infile,crop.kc);
    readln(infile,crop.dwr);
    readln(infile,crop.ConvEff);
    readln(infile,crop.emdd);
    readln(infile,crop.fldd);
    readln(infile,crop.mtdd);
    readln(infile,crop.gpdd);
    readln(infile,crop.Tbase);
    readln(infile,crop.Tlo);
    readln(infile,crop.Tcutoff);
    readln(infile,crop.Transl);
    readln(infile,psilm);
    readln(infile,Emax);
    readln(infile,crop.sla);
    readln(infile,crop.part);
    readln(infile,crop.tdmstart);
    readln(infile,crop.MaxLeafAge);

```

```

readln(infile,crop.pgfr);
readln(infile,crop.rgr);
case sn of
1: begin
    graphsetup(0.2,0.5,0.1,0.4,1);
    scale(150,300,0,9,1);
    axes(150,0,50,1,true,1);
    LabelX('DOY',1);
    LabelY('LAI',1);
    graphsetup(0.65,0.95,0.1,0.4,3);
    scale(150,300,0,400,3);
    axes(150,0,50,100,true,3);
    LabelX('DOY',3);
    LabelY('Cum ETD mm',3);
    graphsetup(0.2,0.5,0.5,0.9,2);
    scale(150,300,0,2,2);
    axes(150,0,50,0.5,true,2);
    LabelX('DOY',2);
    LabelY('Root depth',2);
    graphsetup(0.65,0.95,0.5,0.9,4);
    scale(150,300,0,12,4);
    axes(150,0,50,2,true,4);
    LabelX('DOY',4);
    LabelY('Top dry matter t/ha',4);
end;
2: begin
{
    graphsetup(0.1,0.35,0.1,0.45,1);
    scale(120,320,0,0.3,1);
    axes(120,0,100,0.1,true,1);
    graphsetup(0.4,0.65,0.1,0.45,2);
    scale(120,320,0,0.3,2);
    axes(120,0,100,0.1,true,2);
    graphsetup(0.7,0.95,0.1,0.45,3);
    scale(120,320,0,0.3,3);
    axes(120,0,100,0.1,true,3);
    graphsetup(0.1,0.35,0.55,0.9,4);
    scale(120,320,0,0.3,4);
    axes(120,0,100,0.1,true,4);
    graphsetup(0.4,0.65,0.55,0.9,5);
    scale(120,320,0,0.3,5);
    axes(120,0,100,0.1,true,5);
    graphsetup(0.7,0.95,0.55,0.9,6);
    scale(120,320,0,0.3,6);
    axes(120,0,100,0.1,true,6);
}

    graphsetup(0.12,0.25,0.1,0.45,1);
    scale(150,300,0,0.41,1);
    axes(150,0,75,0.1,true,1);
    LabelX('DOY',1);
    LabelY('Theta 10 cm',1);
    graphsetup(0.4,0.55,0.1,0.45,2);
    scale(150,300,0,0.41,2);
    axes(150,0,75,0.1,true,2);
    LabelX('DOY',2);
    LabelY('Theta 30 cm',2);
    graphsetup(0.7,0.85,0.1,0.45,3);
    scale(150,300,0,0.41,3);
    axes(150,0,75,0.1,true,3);
    LabelX('DOY',3);
    LabelY('Theta 50 cm',3);
    graphsetup(0.12,0.25,0.55,0.9,4);
    scale(150,300,0,0.41,4);
    axes(150,0,75,0.1,true,4);
    LabelX('DOY',4);
    LabelY('Theta 70 cm',4);
    graphsetup(0.4,0.55,0.55,0.9,5);

```

```

axes(150,0,75,0.1,true,5);
LabelX('DOY',5);
LabelY('Theta 90 cm',5);
graphsetup(0.7,0.85,0.55,0.9,6);
scale(150,300,0,0.41,6);
axes(150,0,75,0.1,true,6);
LabelX('DOY',6);
LabelY('Theta 110 cm',6);

end;
end;
for i:=1 to 6 do begin
  read(infile,pd[i]); pd[i]:=0.01*pd[i];
  j:=1; while z[j]<=pd[i] do j:=j+1;
  pw1[i]:=(z[j]-pd[i])/(z[j]-z[j-1]); pw2[i]:=1-pw1[i]; np[i]:=j;
end; { This seems to calculate the weighting needed to give the
      nodal water content on either side of the measurement
      depth }

{ 2: begin
  soil.getsoilwater(wc);
  for i:=1 to 6 do begin
    j:=np[i]; plt(da,pw1[i]*wc[j-1]+pw2[i]*wc[j],p,i);
  end;

  This is what is plotted to compare to data points }

readln(infile);
while not eof(infile) do begin
  tdm:=0;
  readln(infile,i,gai,fi,dml,dms,dmp,dmr,rootd,thetav[1],thetav[2],thetav[3],
    thetav[4],thetav[5],thetav[6],theta7,cumETD);
  tdm:=(dml+dms+dmp)/10; {to convert t/ha to kg/m2}
  rootd:=rootd/100;

  case sn of
  1: begin
    pointplt(i,gai,1,1);
    pointplt(i,tdm,1,4);
    pointplt(i,dmp,1,4);
    pointplt(i,cumETD,1,3);
    pointplt(i,rootd,1,2);
  end;
  2: begin
    for j:=1 to 6 do pointplt(i,thetav[j],1,j);
  end;
  end;
end;
close(infile);
directvideo:=false; initiated:=0;
if sn = 3 then begin
  clrscr; assign(outfile,'output.swb'); rewrite(outfile);
end;
writeln('PLDA TDM HDM EVAP TRANS PRECIP DRAIN STOR INTER RUNOFF');
if sn=3 then writeln(outfile,'PLDA TDM HDM EVAP TRANS PRECIP DRAIN');
for yrs:=1 to nyrs do begin
  crop.initCrop(RDmax); da:=startday; p:=0;
  soil.initSoil(dz,fcwc,pwpwc,bd,rop,psilm,Emax);
  soil.setSoilWater(wc);
  storage:=soil.getStoredWater;
  weather.setday(startday); newyear:=false;
  while (not crop.getmature) and (da<=endday) do begin
    da:=da+1; if da>365 then begin da:=1; newyear:=true; end;
    weather.daystep;
    {writeln(da:6,weather.getday:6,Solar:8:2,getVPD:8:1,getETP:8:4);}
  end;
end;

```

```

soil.daystep(weather.getPrecip,weather.getETP,crop.getfit,
              crop.getfie,crop.getRD);

{gotoxy(25,23); write('day= ',da:3);}

{writeln(weather.getETP:8:4,1-crop.getfi:8:4);}
if (sn=3) and newyear and (da>90) and crop.dryEnoughToPlant
and not crop.CropPlanted then plantday:=da; }
crop.daystep(da,weather.getPrecip,meantemp,weather.getVPD,
             soil.gettransp,soil.getSI,weather.getSolar);
if not crop.CropPlanted and (da=plantday) then begin
  crop.plantcrop; sumetd:=soil.sumevap+soil.sumdrain;
end; {looks to me like sumetd will accumulate until crop planted
      - so one is able to deduct it from total water use to get
      water use during the growing season?}

case sn of
1: begin
  plt(da,crop.getlai,p,1);
  pointplt(da,crop.getRD,0,2);
  pointplt(da,crop.gettdm*10,0,4); { *10 is to convert from kg/m2}
  pointplt(da,crop.gethdm*10,0,4); { to t/ha}
  pointplt(da,soil.sumevap+soil.sumdrain+soil.sumtrans-sumetd,0,3);
end;
2: begin
  soil.getsoilwater(wc);
  for i:=1 to 6 do begin
    j:=np[i]; plt(da,pw1[i]*wc[j-1]+pw2[i]*wc[j],p,i);
  end;
end;
p:=1;
{writeln(crop.cropplanted,crop.wetenoughtoplant);}
{writeln(da:6,crop.dayswoprecip:6,crop.FiveDayTave:8:3);}
end;
storage:=soil.getStoredWater-storage;
soil.getsoilwater(wc);
hdm:=crop.getHDM;
gotoxy(1,1+yrs);
WRITELN(Plantday:4,crop.tdm:7:3,crop.hdm:7:3, soil.getSUMEVAP:5:0,
soil.getSUMTRANS:5:0,soil.getSUMPRECIP:7:0,soil.getSUMDRAIN:7:0,
storage:7:0,soil.getSUMINT:7:0,soil.getSUMRUNOFF:7:0,
crop.maxlai:7:1,crop.phdm:7:3);
if sn=3 then WRITELN(outfile,Plantday:4,crop.tdm:7:3,crop.hdm:7:3, soil.ge
soil.getSUMTRANS:5:0,soil.getSUMPRECIP:7:0,soil.getSUMDRAIN:7:0,
storage:7:0,soil.getSUMINT:7:0,soil.getSUMRUNOFF:7:0,
crop.maxlai:7:1,crop.phdm:7:3);
end;

{write('0 Enter to exit program; 1 Enter to dump screen ');} readln(p);

if p>0 then hpscreendump;
if sn=3 then close (outfile);
end.

```

```

unit modcrop;    {crop object with dry matter to roots; May 1993}
interface
type    ocrop = object
        tdm,rdm,sdm,hdm,phdm,pgf,tdmstart:real;
        lai,ylai,emda,mtda,gdd,fit,fiel,rd,transl,sla,rdmax,froot,part:real;
        dwr,emdd,fldd,mtdd,kc,MaxLeafAge,rgr,gpdd,gpf:real;
        maxLAI,fdd,FivedayTave,Tbase,Tcutoff:real;
        vernstart,vernreq,dloff,dlon,conveff,trfr,tlo,laimax,laiend:real;
        DaysFromEmergence, LeavesDead, dayswoPrecip:integer;
        DailyLAI,DailyLAIage:array[0..400] of real;
        CropPlanted, mature, flowered, emerged:boolean;
        procedure initCrop(RootDepth:real);
        procedure PlantCrop;
        procedure daystep(da:integer;precip,tave,VPD,at,SI,solar:real);
        function getTDM:real;
        function getHDM:real;
        function getRD:real;
        function getGDD:real;
        function getLAI:real;
        function getfit:real;
        function getfiel:real;
        function getmature:boolean;
        function getCropPlanted:boolean;

{      function DryEnoughToPlant:boolean;

        end;

implementation
procedure ocrop.initCrop(rootdepth:real);
var i:integer;
begin
    TDM:=0;          LAI:=0;          rd:=0;  ylai:=0;  fiel:=0;  fit:=0;
    phdm:=0;         HDM:=0;         GDD:=0;  fdd:=0;   SDM:=0;
    for i:=0 to 400 do begin
        DailyLAI[i]:=0; DailyLAIage[i]:=0;
    end;
    CropPlanted:=false; DaysFromEmergence:=0; LeavesDead:=0;
    emerged:=false; flowered:=false; mature:=false;
    FivedayTave:=0; DayswoPrecip:=0; maxlai:=0; RDmax:=RootDepth;
end;

procedure ocrop.PlantCrop;
begin
    CropPlanted:=true; GDD:=0; fdd:=0; HDM:=0;
    TDM:=TDMstart; RDM:=froot*TDM/(1-froot); fit:=0; SDM:=0;
    DailyLAI[0]:=sla*TDM; DaysFromEmergence:=0; LeavesDead:=0;
    emerged:=false; flowered:=false; mature:=false; maxLAI:=0;
end;

procedure ocrop.daystep(da:integer;precip,tave,VPD,at,SI,solar:real);

function CanopyLAI(gddi,ldmi,wsf:real):real;
var k,l,m:integer;
    wsf,c:real;
begin
    DaysFromEmergence:=DaysFromEmergence+1;
    DailyLAI[DaysFromEmergence]:=ldmi*sla;
    DailyLAIage[DaysFromEmergence]:=gddi;
    c:=0; wsf:=1;
    if (wsf<0.95) and (wsf>0) then wsf:=1/wsf;
    if wsf>2 then wsf:=2;
    for k:= LeavesDead to DaysFromEmergence-1 do begin
        DailyLAIage[k]:=DailyLAIage[k]+wsf*gddi;
        if DailyLAIage[k]>MaxLeafAge then begin
            ylai:=ylai+DailyLAI[k]; DailyLAI[k]:=0; LeavesDead:=k;

```

```

        c:=c+DailyLAI[k];
    end;
    c:=c+DailyLAI[DaysFromEmergence];
    CanopyLAI:=c;
end;

VAR i:integer;
    gddi,rdd,tfact,dmiw,dmis,dmi,ldmi,tdmi,hdmi,fleaf,fr:real;
begin
{
    FiveDayTave:=(2*FiveDayTave+Tave)/3;
    if Precip>0 then DayswoPrecip:=0 else DayswoPrecip:=DayswoPrecip+1;}

    if CropPlanted then begin
        {CALCULATION OF GROWING DAY DEGREES, Tb = Tbase AND PHYS. TIME}
        if Tave>Tbase then gddi:=Tave - Tbase else gddi:=0;
        if gddi>Tcutoff then gddi:=Tcutoff - Tbase;
        gdd:=gdd+gddi;
    end; {if CropPlanted}
    if fdd>mtdd then mature:=true else mature:=false;
    if gdd>fldd then flowered:=true else flowered:=false; {fdd instead of
                                                             gdd for vernalization}

    if not emerged and (gdd>emdd) then begin
        emerged:=true; lai:=sla*tdm;
    end;
    fit:=1-exp(-kc*lai); fie:=1-exp(-kc*(lai+ylai));

    {rooting depth and dry matter calculation}
    if emerged and not mature then begin

        if gddi >= (Tlo-Tbase) then tfact:=1 else tfact:=gddi/(Tlo-Tbase);
        dmiw:=at*DWR/VPD; { dm is in kg/m2 (*10 to get to t/ha), at is in mm}
        dmis:=tfact*ConvEff*fit*solar;
        if dmis<dmiw then
            dmi:=dmis
        else dmi:=dmiw;
        ldmi:=0;
        if flowered then begin
            gpf:=(gdd-fldd)/gpdd; { see original crop object for vernalization}
            if gpf>1 then gpf:=1;
            if hdm=0 then begin {initiate grain fill first day flowering}
                hdm:=transl*SDM; phdm:=pgf*SDM;
            end;
        end
        else gpf:=0; { of if emerged and not mature, in other words crop
                     will be mature and grain partition fraction will be
                     zero }
        hdmi:=gpf*dmi; dmi:=dmi-hdmi; {subtract reproductive growth first}
        fleaf:=1/sqr(1+part*TDM); { /10 because I changed the units}
        if rd<rdmax then fr:=froot {/(1+2*RDM)} else fr:=0;
        tdmi:=(1-fr)*dmi;
        RDM:=RDM+fr*dmi; TDM:=TDM+tdmi;
        ldmi:=fleaf*tdmi; SDM:=SDM+(1-fleaf)*tdmi;
        if SI<0.95 then begin {partition more to roots if stressed}
            { I have changed this a bit}
            if fr>0 then begin RDM:=RDM+ldmi/2;
                               SDM:=SDM+ldmi/2;
                               TDM:=TDM-ldmi/2;
                            end else
                               SDM:=SDM+ldmi;

            ldmi:=0;
        end;
        TDM:=TDM+hdmi; hdm:=hdm+hdmi;
    }
    WRITELN(da:5,dmis:8:4,dmiw:8:4,DMI:8:4,ldmi:8:3,at:8:3,SI:8:3,fie:8:3,

```

```

    LAI:={sla*tdm/(1+part*tdm)}CanopyLAI(GDDI,ldmi,SI);
    if lai>maxlai then maxlai:=lai;
    RD:=rgr*sqrt(RDM);(2.07*RDM/(0.0427+RDM);RDmax/(1+48*exp(-8.5*gdd/fldd))
end;
end;
function ocrop.getTDM:real;
begin getTdm:=TDM; end;
function ocrop.getHDM:real;
begin getHDM:=HDM; end;
function ocrop.getRD:real;
begin getRD:=rd; end;
function ocrop.getGDD:real;
begin getGDD:=GDD; end;
function ocrop.getLAI:real;
begin getLAI:=LAI; end;
function ocrop.getfit:real;
begin getfit:=fit; end;
function ocrop.getfie:real;
begin getfie:=fie; end;
function ocrop.getCropPlanted:boolean;
begin getCropPlanted:=CropPlanted; end;
function ocrop.getmature:boolean;
begin getmature:=mature; end;

{function ocrop.DryEnoughToPlant:boolean;
begin
    if (DayswoPrecip>5) and (FiveDayTave>5.6) then
        DryEnoughToPlant:=true
    else DryEnoughToPlant:=false;
end;}}

end.

```

47	115	{latitude and starting day}							
2	1000	{maximum rooting depth and runoff curve number}							
119		{planting date}							
-9	1	20	40	60	80	100	120	140	
0.19	0.19	0.19	0.19	0.29	0.3	0.28	0.37	0.36	
0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	
0.19	0.19	0.19	0.19	0.29	0.3	0.28	0.37	0.36	
1.1	1.2	1.5	1.24	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	
0.6	{ave daily transmission coefficient}								
5.5	{dry matter water ratio in Pascals}								
0.0015	{radiation conversion efficiency, kg/MJ}								
100	{emergence day degrees}								
980	{day degrees at end of vegetative growth}								
1800	{maturity day degrees}								
10	{transition period (ddeg) from vegetative to reproductive grow}								
0	{base temperature for GDD}								
10	{temperature for optimum light-limited growth}								
30	{cutoff temperature for GDD}								
0.5	{fract of SDM transl. to heads during grain fill}								
-2000	{leaf water potential at maximum transpiration}								
15	{maximum possible transpiration rate, mm/day}								
17	{specific leaf area, m2/kg}								
4	{leaf-stem partition parameter}								
0.0019	{canopy dry matter at emergence}								
800	{day degrees for leaf senescence}								
0.2	{fraction of dry matter partitioned to roots}								
1	{potential grain production; as fraction of SDM at anthesis}								
7	{root growth rate - m root/sqrt(kg/m2)}								
10	30	50	70	90	110	130	{measurement dep}		
161	0	0	0	0	0	0	0	0.11	
167	0	0	0	0	0	0	0	0.17	
168	0	0	0	0	0	0	0	0.16	
169	0	0	0	0	0	0	0	0.17	
172	0	0	0	0	0	0	0	0.16	
173	0	0	0	0	0	0	0	0.17	
174	0	0	0	0	0	0	0	0.16	
175	0	0	0	0	0	0	0	0.16	
176	0	0	0	0	0	0	0	0.17	
179	0	0	0	0	0	0	0	0.15	
180	0	0	0	0	0	0	0	0.15	
181	0	0	0	0	0	0	0	0.16	
182	0	0	0	0	0	0	0	0.15	
183	0	1.2	0	0	0	0	0	0.15	
186	0	0	0	0	0	0	0	0.14	
187	0	0	0	0	0	0	0	0.15	
188	0	0	0	0	0	0	0	0.15	
189	0	0	0	0	0	0	0	0.15	
190	0	0	0	0	0	0	0	0.16	
193	0	3.23	0	0	0	0	0	0.15	
194	0	0	0	0	0	0	0	0.15	
195	0	0	0	0	0	0	0	0.15	
196	0	0	0	0	0	0	0	0.15	
197	0.11	0	0.06	0.02	0	0	0	0	
201	0	6.65	0	0	0	0	50	0.14	
202	0	0	0	0	0	0	0	0.15	
203	0	0	0	0	0	0	0	0.15	
204	0.36	0	0.16	0.03	0	0	0	0	
208	0	0	0	0	0	0	0	0.15	
209	0	0	0	0	0	0	0	0.14	
210	0	0	0	0	0	0	0	0.14	
211	0.62	32.5	0.32	0.1	0	0	0	0.16	
215	0	0	0	0	0	0	0	0.14	
216	0	0	0	0	0	0	70	0.14	
217	0	83.25	0	0	0	0	0	0	

```
unit modweath;
```

```
{ This program reads a weather file of the following format:
DOY, Precip in mm, Tmax, Tmin, daily Solar in MJ/m2/day ? , VPD in kpa,
PET in mm
The solar, vpd and pet are optional: if the data is not available then
a zero must appear in the weather file where the data value should be.
If Pen Mon pet is given then solar is only used in the solar radiation
dry matter increment which is compared to the transpiration dry matter
increment so it can probably be omitted. VPD is still used
in the dry matter calculation and should be included if possible. }
```

```
interface
type yeararray = array[1..366] of real;
extstring = string[3];
namestring = string[30];
oweather = object
    maxtemp, mintemp, mprecip, msolar, psr, hs: yeararray;
    mVPD, mPET: yeararray; {measured VPD and Pen Mon PET}
    d: integer;
    Tmax, Tmin, Precip: real;
    Solar, Lni, slope, Tr, dt, tave, VPD, ETP: real;
    stname: namestring;
    vpdetp: text;
    procedure init(latitude: real; day: integer; filename: namestring);
    procedure setday(day: integer);
    procedure daystep;
    function getTmax: real;
    function getTmin: real;
    function getPrecip: real;
    function getSolar: real;
    function getLni: real;
    function getVPD: real;
    function getETP: real;
    function getday: integer;
    function getstname: namestring;
    function getdaylength: real;
end;

implementation
procedure oweather.init(latitude: real; day: integer; filename: namestring);

function PotentialSolar(d: integer; la: real): real;
var SinDec, CosDec, Sinhs, Coshs, SinLatSinDec, CosLatCosDec: real;
begin
    SinDec := 0.39785 * sin(4.869 + 0.0172 * d + 0.03345 * sin(6.224 + 0.0172 * d));
    CosDec := sqrt(1 - sqr(SinDec));
    SinLatSinDec := sin(la) * SinDec; CosLatCosDec := cos(la) * CosDec;
    Coshs := -SinLatSinDec / CosLatCosDec; Sinhs := sqrt(1 - sqr(Coshs));
    hs[d] := pi / 2 - arctan(Coshs / Sinhs);
    PotentialSolar := 117.5 * (hs[d] * SinLatSinDec + CosLatCosDec * Sinhs) / pi;
end;

var    infile: text;
        la: real;
        i: integer;
        output: string;
begin
    writeln(filename);
    assign(infile, filename); reset(infile);

    readln(output);
    assign(vpdetp, output); rewrite(vpdetp);

    la := latitude * pi / 180; {convert latitude to radians}
    for i := 1 to 366 do begin
```

```

end;
while not eof(infile) do begin
    readln(infile,i,mprecip[i],maxtemp[i],mintemp[i],msolar[i],
                                                    mVPD[i],mPET[i]);
    {writeln(i:5,maxtemp[i]:8:1,mintemp[i]:8:1,mprecip[i]:8:3);}
end;
d:=day;
close(infile);
end; {of oweather.init}

procedure oweather.setday(day:integer);
begin d:=day; end;
procedure oweather.daystep;

var k:integer;
    Rni:real;

begin
    d:=d+1; if d>366 then d:=1;
    Tmax:=maxtemp[d]; Tmin:=mintemp[d]; precip:=mprecip[d];
    dt:=Tmax-Tmin; if dt<2 then dt:=2;
    k:=d-30; if k<1 then k:=k+365;
    if msolar[d]=0 then begin
        tr:=0.7*(1-exp(-0.329*sqr(dt)/psr[k]));
        solar:=psr[d]*tr;
    end
    else begin
        solar:=msolar[d]; tr:=solar/psr[k];
    end;
    tave:=(Tmax+Tmin)/2;
    slope:=((0.00223*tave+0.0549)*tave+2.97)*tave+45.3; {gives slope in Pa}
    lni:=(hs[d]/pi)*(0.96-1/(1+0.048*exp(7.1*tr)))*(0.026*tave-9.2);
    if mVPD[d]=0 then
        VPD:=0.7*slope*dt {average vapor pressure deficit during day}
    else VPD:=mVPD[d]*1000; {to convert from kPa to Pa}

    if mPET[d]=0 then begin
        Rni:=0.8*Solar+LnI;
        ETP:=0.9*((1+0.0003*VPD)*slope*Rni/(66+slope))/2.43; {G=0.1*Rni}
    end
    else ETP:=mPET[d];

end;

function oweather.getTmax:real;
begin getTmax:=Tmax; end;
function oweather.getTmin:real;
begin getTmin:=Tmin; end;
function oweather.getPrecip:real;
begin getPrecip:=precip; end;
function oweather.getSolar:real;
begin getSolar:=Solar; end;
function oweather.getLnI:real;
begin getLnI:=LnI; end;
function oweather.getVPD:real;
begin getVPD:=VPD; end;
function oweather.getETP:real; {potential ET in mm or kg/m2/day}
begin getETP:=ETP; end;
function oweather.getday:integer;
begin getday:=d; end;
function oweather.getdaylength:real;
begin getdaylength:=hs[d]*24/pi; end;
function oweather.getstname:namestring;
begin getstname:=stname; end;
end.

```

```

interface
uses graph,printer;
const initiated:integer = 0;
      plotcolor:integer = white;
      barcolor:integer = black;

Type title = string[50];
      txtstr:string[25];

var      XMIN,XMAX,YMIN,YMAX:array[1..6] of real;
      Left,Right,Top,Bottom:array[1..6] of integer;
      gl,gr,gt,gb,oldx,oldy:array[1..6] of integer;
      viewclip:boolean;
procedure GraphSetup(xl,xr,yu,yl:real;GN:integer);
procedure Scale(x1,x2,y1,y2:real;gn:integer);
procedure Plt(X,Y:real;PenDown:byte;GN:integer);
procedure Axes(Xorig,Yorig,Xtic,Ytic:real;Labels:boolean;GN:integer);
procedure PointPlt(X,Y:real;Shape:byte;GN:integer);
procedure LabelX(L:title;GN:integer);
procedure LabelY(L:title;GN:integer);
procedure boxgraph(gn:integer);
procedure gwrite(x,y:real;hilite:integer;text:txtstr;GN:integer);
procedure hpscreendump;

implementation

procedure boxgraph;
begin
  setviewport(gl[gn],gt[gn],gr[gn],gb[gn],viewclip);
  rectangle(left[gn],top[gn],right[gn],bottom[gn]);
end;

procedure GraphSetup;
var GraphDriver,GraphMode:integer;
    ErrorCode:word;
begin
  if initiated <> 31415 then begin
    GraphDriver:=Detect; {must be set to 8 for ATT driver. CGA=1}
    {GraphMode:=5; 5 is 400 x 640 graphics; 4 is hires; 3 is lores;cgahi=2}
    InitGraph(GraphDriver, GraphMode,'c:\tp\bgi');
    {ErrorCode:=GraphResult;}
    initiated:=31415;
  end;
  gr[6]:=getmaxx; gb[6]:=getmaxy;
  gl[gn]:=round(xl*getmaxx); gr[gn]:=round(xr*getmaxx);
  gt[gn]:=round(yu*getmaxy); gb[gn]:=round(yl*getmaxy);
  Left[gn]:=0; right[gn]:=gr[gn]-gl[gn];
  top[gn]:=0; bottom[gn]:=gb[gn]-gt[gn];
  viewclip:=true;
end;

procedure scale;
begin
  Xmin[GN]:=X1; Xmax[GN]:=X2; Ymin[GN]:=Y1; Ymax[GN]:=Y2;
end;

procedure Plt;
var Nx,Ny:integer;
    Rx,Ry:real;
begin
  Rx:=Left[gn]+(X-Xmin[gn])/(Xmax[gn]-Xmin[gn])*(Right[gn]-Left[gn]);
  Ry:=Bottom[gn]-(Y-Ymin[gn])/(Ymax[gn]-Ymin[gn])*(Bottom[gn]-Top[gn]);
  if Rx>32000 then Rx:=32000; if Ry>32000 then Ry:=32000;
  if Rx<-32000 then Rx:=-32000; if Ry<-32000 then Ry:=-32000;
  Nx:=round(Rx); Ny:=round(Ry);
  setviewport(gl[gn],gt[gn],gr[gn],gb[gn],viewclip);

```

```

    oldx[gn]:=nx; oldy[gn]:=ny;
end;

procedure Axes;
function GetExp(E:real):integer;
var S:string[12];
    Ss:string[2];
    L,X,Code:integer;
begin
    Str(E:12,S); Ss:=Copy(S,11,2); Val(Ss,X,Code);
    L:=pos('E',S);
    if S[L+1]='-' then X:=-X;
    X:=3-X; if X<0 then X:=0 else if X>3 then X:=3;
    GetExp:=X;
end;
var X,Y,Tx,Ty:real;
    Nx,Ny,L,Itx,Ity:integer;
    Numstr:string[8];
begin
    viewclip:=false;
    SetTextStyle(0,0,1);
    SetTextJustify(CenterText,CenterText);
    if Xtic<(Xmax[gn]-Xmin[gn])/10 then Xtic:=abs(Xmax[gn]-Xmin[gn])/10;
    if Ytic<(Ymax[gn]-Ymin[gn])/10 then Ytic:=abs(Ymax[gn]-Ymin[gn])/10;
    Tx:=(Xmax[gn]-Xmin[gn])/75; Ty:=(Ymax[gn]-Ymin[gn])/50;
    Itx:=round(0.008*getmaxx); Ity:=round(0.01*getmaxy);
    X:=Xmin[gn]; Y:=Yorig; Plt(X,Y,0,gn); Plt(X,Y+Ty,1,gn); Plt(X,Y,0,gn);
    if abs(Xmax[gn])>abs(Xmin[gn]) then L:=GetExp(Xmax[gn]) else L:=GetExp(Xmi
    if Labels then begin
        Str(X:6:L,Numstr);OutTextXY(getX-Itx,getY+3*Ity,Numstr); Plt(X,Y,0,gn);-
    end;
    while X+xtic<=Xmax[gn] do begin
        X:=X+Xtic;
        Plt(X,Y,1,gn);
        Plt(X,Y+Ty,1,gn); Plt(X,Y,0,gn);
        if Labels and (X<=Xmax[gn]) then begin
            Str(X:6:L,Numstr);OutTextXY(getX-Itx,getY+3*Ity,Numstr); Plt(X,Y,0,gn)
        end;
    end;
    X:=Xorig; Y:=Ymin[gn]; Plt(X,Y,0,gn); Plt(X+Tx,Y,1,gn); Plt(X,Y,0,gn);
    if abs(Ymax[gn])>abs(Ymin[gn]) then L:=GetExp(Ymax[gn]) else L:=GetExp(Ymi
    if Labels then begin
        Str(Y:6:L,Numstr);OutTextXY(getX-6*Itx,getY,Numstr); Plt(X,Y,0,gn);
    end;
    while Y+Ytic<=Ymax[gn] do begin
        Y:=Y+Ytic;
        Plt(X,Y,1,gn); Plt(X+Tx,Y,1,gn); Plt(X,Y,0,gn);
        if Labels and (Y<=Ymax[gn]) then begin
            Str(Y:6:L,Numstr);OutTextXY(getX-6*Itx,getY,Numstr); Plt(X,Y,0,gn);
        end;
    end;
    viewclip:=true;
end;

procedure PointPlt;
var K,J:integer;
begin
    Plt(X,Y,0,gn);
    SetTextJustify(CenterText,CenterText);
    case Shape of
        0:  plt(x,y,1,gn);
        1:  OutText(char(7));
        2:  OutText('+');
        3:  OutText('x');
        4:  OutText(char(4));
        5:  OutText(char(16));
    end;
end;

```

```

        7:   OutText('o');
        8:   OutText('*');
    end;
    Plt(X,Y,0,gn);
end;

procedure LabelX;
begin
    SetTextStyle(0,0,1);
    OutTextXY((Right[gn]-Left[gn]) div 2,Bottom[gn]+30,L);
end;

procedure LabelY;
begin
    SetTextStyle(0,1,1);
    OutTextXY(Left[gn]-70,(Bottom[gn]-Top[gn]) div 2,L);
end;

procedure gwrite;
var tc,bc,nx,ny:integer;
    rx,ry:real;
begin
    if hilite=1 then begin
        tc:=barcolor; bc:=plotcolor;
    end
    else begin
        tc:=plotcolor; bc:=barcolor;
    end;
    settextstyle(0,0,1); settextjustify(0,2);
    setcolor(tc); setfillstyle(1,bc); plt(x,y,0,GN);
    Rx:=Left[gn]+(X-Xmin[gn])/(Xmax[gn]-Xmin[gn])*(Right[gn]-Left[gn]);
    Ry:=Bottom[gn]-(Y-Ymin[gn])/(Ymax[gn]-Ymin[gn])*(Bottom[gn]-Top[gn]);
    Nx:=round(Rx); Ny:=round(Ry);
    bar(nx-1,ny-3,nx+textwidth(text),ny+textheight(text));
    outtext(text);
    setcolor(plotcolor);
end;

procedure hpscreendump;
CONST ESC = #27;
CONST SDbitmask: ARRAY[0..7] OF INTEGER = (128,64,32,16,8,4,2,1);
    PrntErr:integer = 0;

PROCEDURE HPLaserPlusScreenDump;
VAR maxX, maxY, x, ycalc, y, l, i, rslt, xflr: INTEGER;
    outString: STRING;
    ch : CHAR;
    xinc, xminc: REAL;
    p:boolean;
BEGIN
    outstring := ESC + '&l10';
    write(lst,outstring);           {set to landscape mode}
    outString := ESC + '*t100R'; {Set raster resolution to 100 dpi}
    write(lst,outString);
    outString := ESC + '*r0A'; {Start raster graphics}
    write(lst,outString);
    maxX := GetMaxX;
    maxY := GetMaxY;
    l := (maxX+7) DIV 8;
    Str(l:2,outString);
    outString := ESC + '*b' + outstring + 'W';
    FOR y := 0 to maxY DO BEGIN
        write(lst,outString); {Transfer raster graphics}
        x := 0;
        WHILE ( x < maxX) DO BEGIN
            rslt := 0;

```

```

        p := GetPixel(x,y) > 0;
        IF p THEN rslt := rslt or (SDbitmask[i]);
        inc(x);
    END;
    ch := CHR(rslt);
    write(lst,ch);
    END;
    END;
    outString := ESC + '*rB';
    write(lst,outString);      {End raster graphics}
    write(lst,#12);           {Form feed if called for}
end;

var printerr:integer;
begin
    setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy,clipoff);
    HPLaserPlusScreenDump;
end;
end.

end.

```

```

unit dirsrch;
interface
  uses dos,crt;
  type namestring = string[50];
  extstring = string[3];
  function GetFileName(ext:extstring; message:namestring):namestring;
implementation
  function GetFileName;
  var
    stname,dirname,filename:namestring;
    files:array[1..200] of string[8]; sstr:string[8];
    dir_file:SearchRec;
    i,j,m,n:integer;
    ch:char; cb:byte;
  procedure hilite(i,j,k:integer);
  var m:integer;
  begin
    m:=1 + i div 10 + (j-3)*8;
    if k>0 then begin
      textcolor(black); textbackground(white);
    end
    else normvideo;
    gotoxy(i,j); write(files[m]);
  end;

  begin
    for i:=1 to 200 do files[i]:='';
    dirname:='';
    filename := '*.'+ext;
    clrscr;
    (* write('directory for data files? '); readln(dirname);
    if (length(dirname)>0) and (dirname[length(dirname)]<>'\\')
      then dirname:=dirname+'\\';
    filename := dirname+'*.'+ext;
    *) FindFirst (filename,AnyFile,Dir_File);
    while DosError <> 0 do begin
      writeln('No .'+ext,' Files in ',dirname,' Directory');
      write('Disk and Directory for Input? '); readln(dirname);
      if dirname[length(dirname)]<>'\\' then dirname:=dirname+'\\';
      filename := dirname+'*.'+ext;
      FindFirst (filename,AnyFile,Dir_File);
    end;
    clrscr;
    i:=1;
    writeln(message); writeln;
    while DosError = 0 do begin
      files[i]:=copy(Dir_File.name,1,pos('.',Dir_File.name)-1);
      i:=i+1;
      FindNext (Dir_File);
    end;
    m:=i-1;
    for i:=2 to m do begin
      for j:=m downto i do begin
        if files[j]<files[j-1] then begin
          sstr:=files[j-1]; files[j-1]:=files[j]; files[j]:=sstr;
        end;
      end;
    end;
    i:=1; j:=3;
    for n:=1 to m do begin
      gotoxy(i,j); writeln(files[n]);
      i:=i+10;
      if i>80 then begin
        j:=j+1; i:=1;
      end;
    end;
  end;

```

```

repeat
  ch:=readkey; cb:=byte(ch);
  hilite(i,j,0);
  if (cb=077) and (i<71) then i:=i+10;
  if (cb=075) and (i>1) then i:=i-10;
  if (cb=072) and (j>3 ) then j:=j-1;
  if (cb=080) and (j<25) then j:=j+1;
  hilite(i,j,1);
until (ch=#10) or (ch=#13);
stname:=files[1+i div 10 + (j-3)*8];
{writeln(dirname+stname+'.'+ext);}
getfilename:=dirname+stname+'.'+ext;
normvideo;
clrscr;
end;
end.

```

```

unit modsoil;
interface
const nl = 9;
      dw = 1000;
type soilvecs = array[0..nl+1] of real;
      osoil = object
        sumtrans, sumprecip, sumevap, sumrunoff, sumdrain, sumint:real;
        psilm, Emax, actualtrsp, adwc, psifc, psipwp, s, SI:real;
        wc, fc, pwp, a, b, spsi, dz:soilvecs;
        procedure initSoil(dzs, fcwc, pwpwc, bkd:soilvecs; RunoffParam:real;
                           lwpmin, maxtrans:real);
        procedure daystep(precip, pet, fit, fie, Rd:real);
        procedure setSoilWater(wcont:soilvecs);
        procedure getSoilWater(var wcont:soilvecs);
        function getTransp:real;
        function getSi:real;
        function getSumRunoff:real;
        function getSumDrain:real;
        function getSumEvap:real;
        function getSumPrecip:real;
        function getSumTrans:real;
        function getSumInt:real;
        function getStoredWater:real;
        function WetEnoughToPlant:boolean;
      end;

implementation
      procedure osoil.initSoil(dzs, fcwc, pwpwc, bkd:soilvecs; RunoffParam:real;
                              lwpmin, maxtrans:real);

        var i:integer;
            intloss:real;
        begin
          SumDrain:=0; SumRunoff:=0; SumEvap:=0; SumInt:=0; sumprecip:=0;
          psipwp:=-1500; psifc:=-10; s:=RunoffParam;          sumtrans:=0;
          Emax:=maxtrans; psilm:=lwpmin;
          fc:=fcwc; pwp:=pwpwc; dz:=dzs; actualtrsp:=0;
          for i:=1 to nl do begin
            b[i]:=ln(psipwp/psifc)/ln(fc[i]/pwp[i]);
            a[i]:=exp(ln(-psipwp)+b[i]*ln(pwp[i]));
            pwp[i]:=exp(-ln(-3*psilm/(2*a[i]))/b[i]); {plant lower limit}
          end;
          adwc:=0.3*pwpwc[1];
        end;

      procedure osoil.daystep(precip, pet, fit, fie, Rd:real);
        const wd = 1000; {water density kg/m3}
        var i, m:integer;
            z, psix, loss, avepsi, avepstar, estar, ust, est:real;
            nwc, runoff, intloss, potentialevap:real;
            f:soilvecs;
        begin
          potentialevap:=(1-fie)*pet; sumprecip:=sumprecip+precip;
          (*if precip>0 then begin          {calculate interception by canopy}
            intloss:=fie;                    {1 mm interception for all cover}
            precip:=precip - intloss;    if precip<0 then precip:=0;
            sumint:=sumint+intloss;
          end;

          if precip>0 then begin          {runoff calculation}
            if precip<=0.2*S then runoff:=0
            else runoff:=sqr(precip-0.2*s)/(precip+0.8*s);
            precip:=precip - runoff;
            sumrunoff:=sumrunoff+runoff;
          end;*)
          i:=1;
          while (precip>0) and (i<=nl) do begin          {infiltration}

```

```

        precip:=precip-(fc[i]-wc[i])*dw*dz[i]; wc[i]:=fc[i];
    end
    else begin
        wc[i]:=wc[i]+precip/(dw*dz[i]); precip:=0;
    end;
    i:=i+1;
end;
if precip>0 then begin
    sumdrain:=sumdrain+precip;
    precip:=0;
end;
{evaporation calculation}
if wc[1]<pwp[1] then
    potentialevap:=potentialevap*sqr((wc[1]-adwc)/(pwp[1]-adwc));
nwc:=wc[1]-potentialevap/(dw*dz[1]);
if nwc<adwc then nwc:=adwc;
sumevap:=sumevap+(wc[1]-nwc)*dw*dz[1]; wc[1]:=nwc; spsi[1]:=0;
avepsi:=0; z:=dz[2]; {z:=0;} i:=2; {rdd:=RD/4.6;}
if (Rd>0) and (fit>0) then begin
    repeat {transpiration calculation}
        spsi[i]:=-a[i]*exp(-b[i]*ln(wc[i]));
        if z<=rd then f[i]:=dz[i]*(2*(rd-z)+dz[i])/sqr(rd)
        else f[i]:=sqr((rd-z+dz[i])/rd);
        {f[i]:=exp(-z/rdd)*(1-exp(-dz[i]/rdd));}
        avepsi:=avepsi+f[i]*spsi[i];
        i:=i+1; if i<=nl then z:=z+dz[i];
    until (i>nl) or (z-dz[i]>rd);
    avepstar:=avepsi/psilm;
    if avepstar<1.5 then ust:=1-0.67*avepstar else ust:=0;
    est:=pet/Emax; {if est<0 then est:=0;}
    if est<ust then estar:=est else estar:=ust;
    if estar<0 then estar:=0;
    psix:=psilm*(avepstar+0.67*estar);
    actualtrsp:=0; m:=i-1;
    for i:=2 to m do begin
        loss:=(fit*Emax*f[i]*(psix-spsi[i])/(0.67*psilm))/(wd*dz[i]);
        if wc[i]-loss<pwp[i] then loss:=wc[i]-pwp[i];
        actualtrsp:=actualtrsp+loss*wd*dz[i]; wc[i]:=wc[i]-loss;
        {writeln(i,f[i]:8:4,loss*wd:10,actualtrsp:8:4,spsi[i]:8:1,WC[I]:8:3)}
    end;
    sumtrans:=sumtrans+actualtrsp;
end
else actualtrsp:=0;
if fit>0 then SI:=actualtrsp/(fit*pet) else SI:=0;
end;

procedure osoil.setSoilWater(wcont:soilvecs);
begin wc:=wcont; end;
procedure osoil.getSoilWater(var wcont:soilvecs);
begin wcont:=wc; end;
function osoil.getTransp:real;
begin getTransp:=actualtrsp; end;
function osoil.getSI:real;
begin getSI:=SI; end;
function osoil.getSumEvap:real;
begin getSumEvap:=SumEvap; end;
function osoil.getSumPrecip:real;
begin getSumPrecip:=SumPrecip; end;
function osoil.getSumTrans:real;
begin getSumTrans:=SumTrans; end;
function osoil.getSumDrain:real;
begin getSumDrain:=SumDrain; end;
function osoil.getSumRunoff:real;
begin getSumRunoff:=SumRunoff; end;
function osoil.getSumInt:real;
begin getSumInt:=SumInt; end;

```

```

var sw:real;
    i:integer;
begin
    sw:=0;
    for i:=1 to n1 do begin
        sw:=sw+wc[i]*dz[i]*dw;
    end;
    getStoredWater:=sw;
end;
function osoil.WetEnoughToPlant:boolean;
begin
    if -a[2]*exp(-b[2]*ln(wc[2]))>-500 then WetEnoughToPlant:=true
    else WetEnoughToPlant:=false;
    { writeln(wc[2]:8:4,fc[2]:8:4,pwp[2]:8:4);}
end;
end.

```

```

unit modfd;

interface

uses math,crt;

const nl = 9;
    WD = 1000; {density of water in kg/m3}
    Gr = 9.8;   {gravitational constant }
    Mw = 0.018; {mole mass of H2O, kg/mol }
    R = 8.31;   {gas constant }
    Dv = 2.4e-5; {H2O vapor diff. m2/s }
    Tk = 293;   {soil temperature, kelvins}
    Vd = 0.017; {vapor density, kg/m3 }
    ha = 0.5;   {humidity of air}
    dt = 86400; {time step, s}
    im = 1e-6; {maximum mass balance error (0.0086 mm/day)}

Type soilvecs=Array[0..nl+1] of Real;
    ivecs=Array [0..nl+1] of Integer;
    osoil = object
        a,b,bx,b1,c,f,j1,dp,pe,p,phil,phiu,dz,dkdpu,dkdpl,h,jv,kv:soilvecs;
        ws,wnu,wnl,wu,w1,bd,cpu,cpl,ks,ku,kl:soilvecs;
        ruk,kbar,n,nl,fr:soilvecs;
        si:ivecs;
        sumprecip,sumtrans,sumevap,sumrunoff,sumdrain,sumint:real;
        actualtrsp,StI,Emax,psilm,psifc,psipwp,s,surfstor:real;
        ti:integer;
        procedure initSoil(dzs,fcwc,pwpwc,bkd:soilvecs;RunoffParam:real;
            lwpmin,maxtrans:real);
        procedure daystep(precip,pet,fit,fie,Rd:real);
        procedure setSoilWater(wcont:soilvecs);
        procedure getSoilWater(var wcont:soilvecs);
        function getTransp:real;
        function getSi:real;
        function getSumRunoff:real;
        function getSumDrain:real;
        function getSumEvap:real;
        function getSumPrecip:real;
        function getSumTrans:real;
        function getSumInt:real;
        function getStoredWater:real;
        function WetEnoughToPlant:boolean;
    end;

implementation

procedure hydraulics(p,pe,b1,ws,n,nl,ks:real; var w,k,phi,dwdp:real);
begin
    if p<pe then begin
        w:=ws*pow(pe/p,b1);
        dwdp:=-w*b1/p;
        k:=ks*pow(pe/p,n);
        phi:=k*p/nl;
    end
    else begin
        w:=ws; dwdp:=1e-5;
        k:=ks;
        phi:=ks*(pe*n/nl+p);
    end;
end;

function waterpotential(xw,pe,b,xws:real):real;
begin
    if xw<xws then waterpotential:=pe*pow(xw/xws,-b)
    else waterpotential:=pe;
end;

```

```

function humidity(p,pe:real):real;
var h:real;
begin
  if p<pe then humidity:=exp(Mw*p/(R*Tk)) else humidity:=1;
end;

procedure osoil.initSoil(dzs,fcwc,pwpwc,bkd:soilvecs;RunoffParam:real;
                        lwpmin,maxtrans:real);
var i,layernr:integer;
    intloss,dwdp:real;
begin
  SumDrain:=0; SumRunoff:=0; SumEvap:=0; SumInt:=0; sumprecip:=0;
  sumtrans:=0; actualtrsp:=0;
  psipwp:=-1500; psifc:=-30; s:=RunoffParam; ti:=0;
  Emax:=maxtrans; psilm:=lwpmin;
  for i:=0 to nl+1 do begin
    a[i]:=0; si[i]:=0; {zero everything to start}
  end;
  b:=a;bx:=a;b1:=a;c:=a;f:=a;jl:=a;dp:=a;pe:=a;phil:=a;phiu:=a;dz:=a;
  dkdpu:=a;ws:=a;wnu:=a;wnl:=a;wu:=a;wl:=a;cpu:=a;cpl:=a;ks:=a;
  dkdpl:=a;ku:=a;kl:=a;n:=a;nl:=a;h:=a;jv:=a;kv:=a;fr:=a;ruk:=a;
  fcwc[0]:=0;pwpwc[0]:=0; layernr:=0; surfstor:=0;
  bd:=bkd; dz:=dzs;
  for i:=1 to nl do begin
    if (fcwc[i-1]<>fcwc[i]) or (pwpwc[i-1]<>pwpwc[i]) or
      (bd[i-1]<>bd[i]) then layernr:=layernr+1;
    si[i]:=layernr;
    ws[i]:=1-bd[i]/2.65;
    b[i]:=ln(psipwp/psifc)/ln(fcwc[i]/pwpwc[i]);
    pe[i]:=psifc*pow(fcwc[i]/ws[i],b[i]);
    ks[i]:=1e-3/sqr(pe[i]);
    n[i]:=2+3/b[i]; nl[i]:=1-n[i]; b1[i]:=1/b[i];
    p[i]:=psipwp;
    {writeln(i:8,ks[i]:8,pe[i]:5:1,b[i]:4:0);}
  end;
  dz[0]:=1e6; dz[1]:=0.01; {top layer is always 1 cm}
  p[nl+1]:=psipwp; dkdpu[0]:=0; dkdpl[0]:=0;
  for i:=1 to nl do begin
    hydraulics(p[i+1],pe[i],b1[i],ws[i],n[i],nl[i],ks[i],
              wnl[i],kl[i],phil[i],dwdp);
    hydraulics(p[i],pe[i],b1[i],ws[i],n[i],nl[i],ks[i],
              wnu[i],kl[i],phiu[i],dwdp);
    h[i]:=humidity(p[i],pe[i]);
    wu[i]:=wnu[i]; wl[i]:=wnl[i];
  end;
  h[nl+1]:=h[nl]; h[0]:=0.5; p[0]:=-1e5;
end;

procedure osoil.daystep(precip,pet,fit,fie,Rd:real);
var vr,abv,lim,wc,ax,se,nwc,runoff,intloss,potentialevap,dwdp:real;
    z,maxprecip,oldz,sumf,psix,loss,avepsi,avepstar,estar,ust,est:real;
    i,nlr:integer;
begin
  sumprecip:=sumprecip+precip; ti:=ti+1;
  potentialevap:=(1-fie)*pet/dt;
  (*if precip>0 then begin {calculate interception by canopy}
    intloss:=1*fie; {1 mm interception for all cover}
    precip:=precip - intloss; if precip<0 then precip:=0;
    sumint:=sumint+intloss;
  end; *)
  surfstor:=surfstor+precip;
  maxprecip:=5*Gr*ks[1]*dt;
  if surfstor>maxprecip then begin
    surfstor:=surfstor-maxprecip; precip:=maxprecip;
  end

```

```

precip:=surfstor; surfstor:=0;
end;
(* if precip>0 then begin {runoff calculation}
  if precip<=0.2*S then runoff:=0
  else runoff:=sqr(precip-0.2*s)/(precip+0.8*s);
  precip:=precip - runoff;
  sumprecip:=sumprecip+runoff;
end; *)
sumf:=0;
if (Rd>0) and (fit>0) then begin {compute transpiration if crop}
  z:=dz[1]+dz[2]/2; i:=2; {z:=0; rdd:=RD/4.6;}
  repeat {find the root densities}
    if p[i]<2*psilm then f[i]:=0 {no roots in dry layers}
    else begin
      if z<=rd then fr[i]:=dz[i]*(2*(rd-z)+dz[i])/sqr(rd)
      else fr[i]:=sqr((rd-z+dz[i])/rd);
      {fr[i]:=exp(-z/rdd)*(1-exp(-dz[i]/rdd));}
    end;
    sumf:=sumf+fr[i]; oldz:=z;
    i:=i+1; if i<=nl then z:=z+0.5*(dz[i-1]+dz[i]);
  until (i>nl) or (oldz>rd);
  nlr:=i-1; est:=pet/Emax;
  if sumf>0 then begin
    for i:=1 to nl do begin
      fr[i]:=fr[i]/sumf; {normalize f}
      ruk[i]:=fit*Emax*fr[i]/(0.67*psilm*dt);
    end;
  end;
end
else for i:=1 to nl do begin fr[i]:=0; ruk[i]:=0; end;
kv[0]:=-potentialevap/p[0];
repeat
  if sumf>0 then begin
    avepsi:=0; for i:=2 to nlr do avepsi:=avepsi+fr[i]*p[i];
    avepstar:=avepsi/psilm;
    if avepstar<1.5 then ust:=1-0.67*avepstar else ust:=0;
    if est<ust then estar:=est else estar:=ust;
    if estar<0 then estar:=0;
    psix:=psilm*(avepstar+0.67*estar);
  end
  else psix:=0;
  se:=0; jl[0]:=-precip/dt;
  jv[0]:=kv[0]*(p[1]-p[0]);
  for i:=1 to nl do begin
    hydraulics(p[i+1],pe[i],b1[i],ws[i],n[i],nl[i],ks[i],
      wnl[i],kl[i],phil[i],dwdp);
    h[i]:=humidity(p[i],pe[i]);
    cpl[i]:=wd*dwdp/(2*dt);
    if si[i]=si[i-1] then begin
      ku[i]:=kl[i-1]; phiu[i]:=phil[i-1];
      cpu[i]:=cpl[i-1]; wnu[i]:=wnl[i-1];
    end
    else begin
      hydraulics(p[i],pe[i],b1[i],ws[i],n[i],nl[i],ks[i],
        wnu[i],ku[i],phiu[i],dwdp);
      cpu[i]:=wd*dwdp/(2*dt);
    end;
    if abs(p[i]-p[i+1])<1 then kbar[i]:=ku[i]
    else kbar[i]:=(phiu[i]-phil[i])/(p[i]-p[i+1]);
  end;
  for i:=1 to nl do begin
    if p[i] = p[i+1] then begin
      jl[i] := -Gr*ku[i];
      jv[i] := 0; kv[i] := 0;
      if p[i] >= pe[i] then begin
        dkdp[i] := 0; dkdp[i] := 0;

```

```

        else begin
            dkdpu[i] := -n[i]*ku[i]/p[i]; dkdpl[i] := dkdpu[i];
        end;
    end
    else begin
        jl[i] := (phil[i]-phiu[i])*(1/dz[i]+Gr/(p[i]-p[i+1]));
        kv[i] := 0.66*Dv*Vd*(ws[i]-(wu[i]+wnu[i]+wl[i]+wnl[i])/4)*
            (h[i+1]-h[i])/((p[i+1]-p[i])*dz[i]);
        jv[i] := kv[i]*(p[i+1]-p[i]);
        if p[i] < pe[i] then
            dkdpu[i] := (kbar[i]-ku[i])/(p[i+1]-p[i])
        else dkdpu[i] := 0;
        if p[i+1] < pe[i] then
            dkdpl[i] := (kl[i]-kbar[i])/(p[i+1]-p[i])
        else dkdpl[i] := 0
    end;
    a[i] := -ku[i-1]/dz[i-1]-gr*dkdpu[i-1]-kv[i-1];
    c[i] := -kl[i]/dz[i]-gr*dkdpl[i]-kv[i];
    bx[i] := kl[i-1]/dz[i-1]+ku[i]/dz[i]+kv[i-1]+kv[i]+
        cpu[i]*dz[i]+cpl[i-1]*dz[i-1]+gr*(dkdpl[i-1]+dkdpu[i])-
        ruk[i];
    f[i] := wd*((wnu[i]-wu[i])*dz[i]+(wnl[i-1]-wl[i-1])*dz[i-1])/(2*dt)+
        jl[i-1]-jl[i]+jv[i-1]-jv[i]+ruk[i]*(psix-p[i]);
    se := se+abs(f[i]);
end;
for i:= 1 to nl-1 do begin
    c[i] := c[i]/bx[i];
    f[i] := f[i]/bx[i];
    bx[i+1] := bx[i+1]-a[i+1]*c[i];
    f[i+1] := f[i+1]-a[i+1]*f[i];
end;
dp[nl] := f[nl]/bx[nl];
p[nl] := p[nl]-dp[nl];
for i:= nl-1 downto 1 do begin
    dp[i] := f[i]-c[i]*dp[i+1];
    lim := 0.8*abs(p[i]);
    abv := abs(dp[i]); if abv>lim then dp[i] := lim*dp[i]/abv;
    p[i] := p[i]-dp[i];
end;

{ gotoxy(25,24); write(' se=',se:10);}

until se<im;
{p[nl+1]:=p[nl];} {put in for unit gradient}
actualtrsp:=0;
for i:=1 to nl do begin
    actualtrsp:=actualtrsp+ruk[i]*(psix-p[i]);
    wl[i]:=wnl[i]; wu[i]:=wnu[i];
end;
actualtrsp:=actualtrsp*dt;
sumtrans:=sumtrans+actualtrsp;
if actualtrsp<0 then actualtrsp:=0;
if fit>0 then StI:=actualtrsp/(fit*pet) else StI:=0;
sumdrain:=sumdrain-jl[nl]*dt;
sumevap:=sumevap+jv[0]*dt;
end;

procedure osoil.setSoilWater(wcont:soilvecs);
var i:integer; dwdp:real;
begin
    wcont[0]:=0; wcont[nl+1]:=0; wu:=wcont; wnu:=wu;
    p[1]:=waterpotential(wu[1],pe[1],b[1],ws[1]);
    for i:=1 to nl do begin
        if i<nl then
            p[i+1]:=waterpotential(wu[i+1],pe[i+1],b[i+1],ws[i+1])
        else p[i+1]:=p[i];
    end;

```

```

        wnl[i],kl[i],phil[i],dwdp);
    h[i]:=humidity(p[i],pe[i]);
    wl[i]:=wnl[i];
end;
p[nl+1]:=p[nl]; {bottom boundary condition}
end;
procedure osoil.getSoilWater(var wcont:soilvecs);
begin wcont:=wnu; end;
function osoil.getTransp:real;
begin getTransp:=actualtrsp; end;
function osoil.getSI:real;
begin getSI:=StI; end;
function osoil.getSumEvap:real;
begin getSumEvap:=SumEvap; end;
function osoil.getSumPrecip:real;
begin getSumPrecip:=SumPrecip; end;
function osoil.getSumTrans:real;
begin getSumTrans:=SumTrans; end;
function osoil.getSumDrain:real;
begin getSumDrain:=SumDrain; end;
function osoil.getSumRunoff:real;
begin getSumRunoff:=SumRunoff; end;
function osoil.getSumInt:real;
begin getSumInt:=SumInt; end;
function osoil.getStoredWater:real;
var sw,wc:real;
    i:integer;
begin
    sw:=0;
    for i:=1 to nl do begin
        wc:=0.5*(wnu[i]+wnl[i]);
        sw:=sw+wc*dz[i]*wd;
    end;
    getStoredWater:=sw;
end;
function osoil.WetEnoughToPlant:boolean;
begin
    if p[2]>-500 then WetEnoughToPlant:=true
    else WetEnoughToPlant:=false;
    {writeln(wc[2]:8:4,fc[2]:8:4,pwp[2]:8:4);}
end;
end.

```