

ONTWIKKELING EN REKENARISERING VAN 'N GESKIKTE VLOEDBESPROEING- ONTWERPPROSEDURE

VOLUME 4:

ONTWIKKELING EN REKENARISERING VAN 'N TOEPASLIKE ONTWERP- PROSEDURE VIR VLOEDBESPROEING

deur

GHJ KRUGER

Verslag aan die Waternavorsingskommissie deur
Rehab Consultation
en die
Departement Landbou-ingenieurswese,
Universiteit van Pretoria

November 1997

WNK Verslag No	290/4/98
ISBN	1 86845 372 3
ISBN STEL	1 86845 373 1

INHOUDSOPGAWE

Bladsy

VOORWOORD	v
BESTUURSOPSOMMING	vi
BEDANKINGS	xi
AFKORTINGS & SIMBOLELYS	xiii
1 INLEIDING	1
1.1 INLEIDING	1
1.2 PROBLEEMSTELLING EN HIPOTESE	3
1.2.1 Probleemstelling	3
1.2.2 Hipotese	3
1.3 NAVORSINGSDOELWITTE	3
2 ONTLEDING VAN ONTWERPTENDENSE AAN DIE HAND VAN GESIMULEERDE DATA	5
2.1 INLEIDING	5
2.1.1 Motivering vir die evaluering van die datagenerasieprojek van Kruger	5
2.1.2 Agtergrond	5
2.2 DIE DATAGENERASIEPROJEK VAN KRUGER (1989)	6
2.2.1 Doelwitte	6
2.2.2 Metode	6
3 METODE EN RESULTATE: EIENSKAPPE VAN DIE AFDROGINGS- FRONT AS ONTWERPHULPMIDDEL	18
3.1 INLEIDING	18
3.2 METODE	18

3.3	WAARGENOME TENDENSE VANAF DATA WAT IN DIE PRAKTYK GEMEET IS	19
3.4	WAARGENOME TENDENSE WAT UIT GESIMULEERDE DATA VERKRY IS	21
3.5	DIE INVLOED VAN VERSKILLEND FAKTORE OP DIE AFDROOGEIENSKAPPE	24
3.5.1	Die invloed van stroomgrootte	24
3.5.2	Die invloed van infiltrasie	27
3.5.3	Die invloed van vloeiweerstand	27
3.5.4	Die invloed van helling	29
3.5.5	Die invloed van beddinglengte	31
3.5.6	Die invloed van afsnytyd	31
3.5.7	Die invloed van geslote beddings	32
3.6	WISKUNDIGE ONTLEDING VAN EIENSKAPPE VAN DIE AFDROGINGSFRONT	33
3.7	TOEPASSING VAN AFDROGINGSFRONTEIENSKAPPE IN DIE OPTIMALE ONTWERP VAN BEDDINGS EN VOORTJIES TEEN VERSKILLEND HELLINGS	44
3.7.1	Ontwerpooomerke	44
3.7.2	Bereiking van die ontwerpooomerke tydens besproeiing	44
3.7.3	Berekening van die afdrogingsfront-eienskappe	47
4	RESULTATE VIR SENSITIWITEITSKRITERIA BETROKKE IN OPTIMALE ONTWERP	48
4.1	INLEIDING	48
4.2	BESTUURSENSITIWITEIT	49
4.2.1	Sensitiwiteit vir die volumebalans	49
4.2.2	Sensitiwiteit vir beddinglengtes en toedienings	50
4.2.3	Sensitiwiteit vir stroomgroottes	51
4.2.4	Sensitiwiteit vir wateraanvoerbestuur (die afsnytydsein)	52
4.2.5	Sensitiwiteit vir vloei-energievariasies	54
4.3	DIE INVLOED VAN FAKTORE BETROKKE BY VLOEDBESPROEING OP BESTUURSENSITIWITEITSKRITERIA	56

4.3.1	Die effek van stroomgrootte	56
4.3.2	Die effek van infiltrasie	56
4.3.3	Die effek van vloeiweerstand	57
4.3.4	Die effek van helling	57
4.3.5	Die effek van beddinglengte	57
4.3.6	Die effek van afsnytyd	57
4.3.7	Die effek van geslote beddings	58
4.4	WISKUNDIGE ONTLEDING VAN SENSITIWITEITSKRITERIA	58
4.4.1	Die invloed van foutiewe bestuur	58
4.4.2	Die voorafgekoese foutlimiet	58
4.5	DIE TOEPASSING VAN SENSITIWITEITSKRITERIA VIR OPTIMALE ONTWERP VAN BEDDINGS MET HELLINGS	59
4.6	DIE ONTLEDING VAN VLOEI-ENERGIE	60
5	TEORETIESE ONTWIKKELING VAN 'N OPTIMALE ONTWERPMODEL	61
5.1	SINTESE VAN DIE ONTWERPPROSES	61
5.1.1	Die voorlopige optimeringsproses	62
5.1.2	Simulasie van 'n gefokuste aantal opsies	64
5.1.3	Finale optimering deur die ontwerper (of rekenaaroperateur)	64
5.2	WISKUNDIGE ONTLEDING VAN DIE AANGEPASTE AFDROGINGSFRONTGRADIËNT-MODEL	65
5.2.1	Infiltrasie-eienskappe	65
5.2.2	Die verband tussen bedding- of voortjielengte en toediening	67
5.3	TOEPASSING VAN DIE OPTIMERINGSVERBAND IN PRAKTIESE ONTWERPBEREKENINGE	71
5.3.1	Die waardes van die vloeidieptekonstante (S_y)	71
5.3.2	Oplos van veranderlikes	73
5.3.3	Resultate van die optimeringsberekeninge	74
5.4	BEPALING VAN RANDWAARDES OF DIE PRAKTIESE BEPERKINGE OP DIE OPTIMERINGSRESULTATE	77
5.5	FINALE OPTIMERING DEUR DIE REKENAAROPERATEUR	80
5.6	DIE FINALE ONTWERP	81

5.6.1	Wiskundige verband vir die berekening van Eenheidstroomgrootte en afsnytyd	82
6	REKENARISERING VAN DIE OPTIMALE ONTWERPPROSEDURE	85
6.1	INLEIDING	85
6.2	DIE OPTIVLOED 2.2-PROGRAM	86
6.2.1	Funksionele velde	86
6.2.2	Kern-elemente	86
6.2.3	Elemente en sub-elemente	89
6.2.4	Taalvoorkeur	91
6.2.5	Gids- en hulpboodskappe	93
6.2.6	Addisionele faktore wat 'n invloed op vloedbesproeiing het, maar wat nie in die Optivloed 2.2-program verreken is nie	94
6.2.7	Grafiese voorstellings en interaksie	95
6.2.8	Programuitset	97
6.2.9	Rand- en standaardwaardes	101
7	EVALUERING VAN DIE OPTIVLOED 2.2-PROGRAM	103
7.1	INLEIDING	103
7.2	EVALUERING VAN DIE ONTWERPPROSEDURE	103
7.3	VERGELYKING VAN RESULTATE	104
7.3.1	Metode	105
7.3.2	Vergelyking met gesimuleerde data	105
7.3.3	Vergelyking met gemete data op gronde met ultrahoë infiltrasie-tempo's	107
7.4	GEVOLGTREKKING EN AANBEVELING	108
	LITERATUURVERWYSINGS	109
BYLAE A	: RESULTATE VAN DIE OPTIVLOED 2.2-PROGRAM	111

VOORWOORD

Die navorsingsprojek oor ontwerpprosedures vir vloedbesproeiing is van 'n omvangryke aard, en gevolglik word die dokumentering daarvan in vier volumes weergegee:

Volume 1: Ontwikkeling en rekenarisering van 'n geskikte vloedbesproeiing ontwerpprocedure: Samevattende verslag.

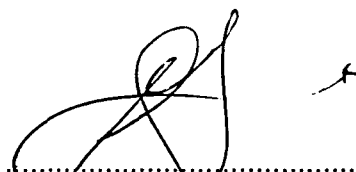
Volume 2: Kritiese evaluering van vloedbesproeiing-ontwerpprosedures.

Volume 3: Bevestiging van hidrodinamiese modelle en kenmerkende eienskappe geldig vir vloedbesproeiing in Suid-Afrika.

Volume 4: Ontwikkeling en rekenarisering van 'n toepaslike ontwerpprocedure vir vloedbesproeiing.

Die navorsingsprojek het tot die ontwikkeling van die Optivloed 2.2-rekenaarprogram vir die ontwerp van vloedbesproeiing gelei. **Volume 1** dien as programhandleiding vir die Optivloed 2.2-pakket.

Die Optivloed 2.2-rekenaarprogram is beskikbaar vanaf die skrywer via die Waternavorsingskommissie. ('n Rekenaar met 'n 386 verwerker en 'n kleurgrafiese kaart word benodig.)



.....
G.H.J. KRUGER (Pr. Ing.)

I Rehab
Posbus 5219
KOCKSPARK
2523

WATERNAVORSINGSKOMMISSIE
Posbus 824
PRETORIA
0001

BESTUURSOPSOMMING

1. AGTERGROND

Die Universiteit van Pretoria het in 1989 opdrag van die Waternavorsingskommissie ontvang om met die “vloedbesproeiingsnavorsingsprojek” te begin. Daar was voorsien dat die projek vir 'n termyn van drie jaar sou duur. Die projek het nie wesenlik gevorder gedurende die eerste helfte van die beplande tydskedule nie. In 1991 het die skrywer/navorser die projek oorgeneem. Doelstellings is gewysig ten einde die projek uitvoerbaar te maak. Die navorser het steeds 'n voltydse betrekking beklee, en die projek moes op 'n deeltydse grondslag afgehandel word. Dit het noodwendig tot 'n vertraging in die afhandeling van die projek gelei.

2. GEWYSIGDE DOELSTELLINGS

- Kritiese evaluering van bestaande ontwerpprosedures en aanbeveling van die mees geskikte prosedure vir rekenarisering.
- Ontwikkeling van die mees geskikte prosedure tot 'n rekenariseerbare vlak deur middel van hidrodinamiese modelstudies en eksperimentele data.
- (Om hierdie doelstelling te kon uitvoer, was dit noodsaaklik om eers die geldigheid van hidrodinamiese modelle onder Suid-Afrikaanse toestande, te bewys.)
- Rekenarisering en toets van die prosedure.

3. RESULTATE

3.1 BEVREDIGING VAN DOELSTELLINGS

Die gewysigde doelstellings is almal bevredig deur die resultate wat uit die projek verkry is. Vloedbesproeiingsprosedures is krities evalueer en die mees geskikte prosedure

is verder ontwikkel en gerekenariseer. Die eindresultaat is die Optivloed 2.2-ontwerpprogram.

3.2 MEEVALLENDE RESULTATE

Die vakgebied vloedbesproeiing is vir die eerste keer in Suid-Afrika gedokumenteer. Hierdie dokumentasie (**Volumes 2 tot 4**) behoort in die toekoms verdere navorsing op die gebied van vloedbesproeiing te fokus. Sodoende sal bondige, uitvoerbare, navorsingsprojekte beplan kan word, wat onder andere 'n bydrae sal lewer om die aanwending van die Optivloed 2.2-program te verbeter.

Die aanwendbaarheid van oorsese vloedbesproeiingsmodelle, waarmee simulering van 'n vloedbesproeiingsepisode gedoen kan word, moes vasgestel word aangesien die modelle aangewend moes word in die ontwikkeling van die Optivloed 2.2-program. Leemtes is vasgestel en aanbevelings vir die gebruik van die modelle is geformuleer (**Volume 3**, hoofstuk 5).

3.3 EVALUERING VAN RESULTATE VAN DIE VLOEDBESPROEIINGSPROJEK

Volume 2: Kritiese evaluering van vloedbesproeiing-ontwerpprosedures

Bestaande vloedbesproeiing-ontwerpprosedures is krities evalueer. Die uitgangspunte van verskillende navorsers word toegelig met historiese perspektiewe ten einde die ontwikkeling van ontwerp-tegnologie vir vloedbesproeiing, uit te beeld. In **Volume 2** word die voor- en nadele van empiriese-, volumebalans- en hidrodinamiese ontwerpprosedures teen 'n Suid-Afrikaanse agtergrond uitgewys. 'n Motivering vir die ontwikkeling van 'n geskikte ontwerpprosedure word beskryf. **Volume 1**, paragraaf 2.5.1, som die bevindinge op.

Volume 3: Bevestiging van hidrodinamiese modelle en kenmerkende eienskappe geldig vir vloedbesproeiing in Suid-Afrika

Weens die komplekse aard van vloedbesproeiing is die doelstellings gewysig sodat die

ontwikkeling van 'n gepaste ontwerpprocedure aan wiskundige modellering sowel as eksperimentele navorsing gekoppel kon word. Die gebruik van hidrodinamiese modelle moes, as 'n tussenstap, wetenskaplik onder Suid-Afrikaanse toestande verantwoord word alvorens die resultate van sodanige wiskundige modellering gebruik kon word in die projek.

Twee internasionale simuleringsmodelle is objektief met behulp van data evalueer. Data moes vir die doel ingesamel word op gronde met 'n ultrahoë infiltrasietempo. Verteenwoordigende data is verkry deur ook van die bestaande data uit 'n vorige projek van die Waternavorsingskommissie, asook projekte van die destydse Departement van Landbou, te herverwerk.

Die evaluering van die Sirmod-model (Walker 1989) het aan die lig gebring dat die voortjebesproeiingssubroetine misleidende resultate tot gevolg kan hê wanneer dit onder Suid-Afrikaanse toestande objektief aangewend word. Die voorspelingswaarde van die resultate beloop tussen 1,6% tot 85%. Die metode van Kruger (1989) waar 'n voortjie as 'n klein bedding met eenheidswydte beskou word, lewer egter deurgaans goeie simulerings met gemete resultate. 'n Voorspellingswaarde wat tussen 78% tot 99% wissel is vir hierdie metode verkry. Laasgenoemde metode word dus in Suid-Afrika aanbeveel.

Beddingbesproeiing word oor die algemeen goed gesimuleer deur beide simuleringsmodelle met 'n voorspellingswaarde van 80% - 99% (Resultate in **Volume 3**, hoofstuk 5). Die Sirmod- model word egter aanbeveel weens die gemak waarmee oplossings bereik word.

'n Objektiewe metode om infiltrasie en vloeiweerstand te bepaal moes ook ontwikkel word (**Volume 3** paragraaf). Die metode is geskik om 'n opvolgnavorsing tot 'n algemeen bruikbare tegniek vir ontwerpers ontwikkel te word.

Volume 4: Ontwikkeling en rekenarisering van die mees toepaslike ontwerpprocedure vir vloedbesproeiing

In **Volume 4** word kenmerkende eienskappe, wat op ontwerp in Suid-Afrika betrekking

het, uitgewys, bespreek en wiskundig ontleed. Tegnieke wat betrekking het op optimale besproeiing en wat in **Volume 2** uitgewys is, word tot 'n wiskundige ontwerpmodel ontwikkel. Die navorser het aanvanklik 'n sigblad-program geprogrammeer ten einde die werking van die model te toets. Die Optivloed 2.2-program is daarna op 'n objekgeoriënteerde wyse met behulp van die C++-rekenaartaal geprogrammeer. 'n Grafiese interaksie is ontwikkel deur die ontwerpberoeeninge grafies op die rekenaarskerm voor te stel.

Die ontwerper kan telkens sien hoedat 'n verandering in die ontwerpkeuses, die stelsel sal beïnvloed (Beskrywing in **Volume 4**, Hoofstuk6).

Die ontwerpprogram is ten volle tweetalig en sal met min insette in enige ander taal vertaal kan word. Die ontwerpprocedure is universeel, wetenskaplik gefundeerd en gebruikersvriendelik. As sulks beskik die procedure oor 'n wye aanwendbaarheid en aangesien dit tans enig in sy soort is, behoort daar ook 'n aanvraag vir die program buite Suid-Afrika te wees.

Die ontwerpprocedure is op beperkte skaal getoets soos in **Volume 4**, Hoofstuk 7, aangedui. Die wiskundige beredenering is korrek, en daar is in die programmering voorsiening gemaak vir die aanpassing van berekeninge soos wat meer inligting deur navorsing beskikbaar kom. In **Volume 4**, Hoofstuk 5, en ook in **Volume 1**, paragraaf 2.7, word aanbevelings oor die verbetering van die program in opvolgnavorsing gemaak.

3.4 POTENSIËLE BYDRAE WAT DIE PROJEKRESULTATE TOT DIE VLOEDBESPROEIINGSBEDRYF KAN MAAK

Vloedbesproeiing word steeds op sowat 40% van die totale besproeide oppervlak in Suid-Afrika toegepas. In **Volume 1**, paragraaf 2.6, word aangedui dat die resultate van die projek 'n potensiële bydrae op die volgende gebiede kan maak:

- Waterbesparing.
- Opleiding en tegnologie-oordrag.

- Ontwerp.
- Navorsing en ontwikkeling.
- Stelselbestuur.

3.5 AAANBEVELINGS TEN OPSIGTE VAN VERDERE NAVORSING WAT UIT DIE PROJEK KAN VOORTSPRUIT

In **Volume 1**, paragraaf 2.2, word breedvoerig aangedui watter verdere navorsing en ontwikkeling uit die projek mag voortspruit. Daar is drie vername aspekte wat aangespreek behoort te word, naamlik:

1) Verbetering van die Optivloed 2.2-program self

Bepaalde aspekte kon nie volledig in die huidige projek nagevors word nie (Kyk **Volume 1**, paragraaf 4.2.7.).

2) Standaard prosedures vir die bepaling van ontwerp insette

Tegnieke om infiltrasie en ander insette te bepaal is tans nie gestandaardiseer nie. Die toepassingswaarde van die Optivloed 2.2-program word tans daardeur benadeel.

3) Opleiding en ontwerphandleidings

Daar bestaan histories nie 'n praktiese ontwerphandleiding vir vloedbesproeiing in Suid-Afrika nie. So 'n ontwerpersgids moet beide teoretiese en praktiese aspekte behandel, soos dit in **Volume 2**, paragraaf 2.3.5, beskryf is.

Die ontwerpprocedure van die Optivloed 2.2-program berus op nuwe verbeterde teoretiese uitgangspunte, wat vir die meeste ontwerpers in die praktyk totaal vreemd is.

BEDANKINGS

Die skrywer van hierdie publikasie spreek graag sy dank en waardering uit aan die volgende instansies en persone:

1. Waternavorsingskommissie (WNK) vir die fondse en ondersteuning met hierdie projek.

Persone betrokke in die loodskomitees vanaf 1990:

Voorsitter: Mnr. D.S. Van der Merwe

Lede: Dr. G.R. Backeberg
Mnr A.D. Brink
Mev. M. de Lange
Prof. H.L.M. du Plessis
Mnr. D.J. du Rand
Mnr. J.H. Eckard
Mnr A.C. Fritz
Mnr. D.F.M. Korff
Mnr. F.P. Marais
Dr. P.C.M. Reid
Mnr. F.B. Reinders
Dr. D. Russell
Mnr. J.H. Smit
Mnr. H. Smith
Mnr. C.M. Stimie
Mnr. A. van Wyk
Prof. G. Venter

- 2) Die Departement Landbou. Afdeling Landbou-ingenieurswese vir die beskikbaarstelling van personeel, infrastruktuur, data en tyd. In besonder word die volgende persone bedank: (alfabetiese volgorde)
Mnre H.G.R. Coetzee, C.T. Crosby, J. Erasmus, H. Hamman, F. Hugo, P.A. le Roux en B. van Vuuren. Mev M. Liebenberg en E. Lourens.
- 3) Mnre W.I. du Plessis en A.S. Mabaso word bedank vir hulp met die insameling van data.
- 4) Die Universiteit van Pretoria, Departement Landbou-Ingenieurswese vir taalversorging en ander insette gelewer:

Prof. G. Venter en Prof. H.L.M. du Plessis en hul personeel.

- 5) Die volgende persone word bedank vir die beskikbaarstelling van data:
Mnre K. Meyer, T. Prinsloo, B. van Rensburg en Dr. D. Russell.
- 6) Die kantoorpersoneel van **REHAB** word bedank vir die tikwerk en ander insette:
Mevv. A.M. Hattingh, A. Kruger, K. Kruger en M. Redelinghuys.

AFKORTINGS & SIMBOLELYS

∂	Parsiële afgeleide/differensiaal
$\bar{A}$	'n Konstante
f	Funksie van / koëffisiënt
σ_2	Faktor waarmee die subprofiel/oppervlak gedefinieer word
α_3	Bestuursfaktor
I_{res}	Gemiddelde infiltrasietempo tydens die resessiefase
A	Area
bw	Beddingwydte
Cu/Uc	Verspreidingsdoeltreffendheid
E	Doeltreffendheid
E_a	Toedieningsdoeltreffendheid
E_s	Storingsdoeltreffendheid
E_u	Verspreidingsdoeltreffendheid
F	Froude-getal
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
F_n	Diepte van toediening
g	Swaartekragversnelling
ha	Hektaar
i	i-de inkrement
IF	Infiltrasie groep/inname-familie
I	Infiltrasie
k	Afsnykonstante
K	Kostiakov-infiltrasiekonstante
ℓ	Astand vanaf die vaste punt van die golfprofiel
L	Lengte/beddinglengte
n	Manningkonstante vir vloe weerstand
Θ	Grondwaterinhoud
pf	Oppervlakstoring op oneweredige grondoppervlaktes
Q	Stroomgrootte/eenheidstroomgrootte
q	Vloeitempo / stroomgrootte
q_{inf}	Infiltrasie met vloeitempo

Q_o	Beginstroom
Q_u	Uitvloeistroom / eenheidstroomgrootte
R	Hidrouliese radius/straal
R_{off}	Afloop ("tail water runoff")
S	Beddinghelling
SA	Suid-Afrika
SCS	Soil Conservation Service
S_f	Energie/wrywingshelling
S_o	Grond-/kanaalhelling
S_w	Waterhelling
S_y	Vloediepte konstante
t^* / t^x	Dimensielose tyd
T_{co}	Afsnytyd
T_g	Gemiddelde bruto kontaktyd
T_k	Kontaktyd
T_L	Resessietyd
T_{LAG}	Wegdreinerings tyd
T_n	Netto infiltrasietyd
USDA	United States Department of Agriculture
v	Snelheid
x	Afstand
x^*	Dimensielose vorderingsfunksie vir afstand
y	Vloediepte
Z	Bruto toediening / toediening
z^1	Vertikale hoogte

HOOFSTUK 1

INLEIDING

1.1 INLEIDING

Vloedbesproeiing behels dat grond gebruik word om as hidrouliese geleier die water oor 'n bepaalde oppervlak te versprei. Die verspreidingsproses word beheer deur beide natuurlike hulpbronne en bestuurbare of manipuleerbare faktore. Die natuurlike hulpbronne bestaan hoofsaaklik uit grond en gewasse, en die manipuleerbare insette is onder andere grondhelling, beddinglengte, stroomgrootte en afsnytyd (Volume 2).

Vloedbesproeiing is 'n dinamiese proses waarvan die eindresultaat deur universele wette oor die behoud van massa en energie bepaal word. Verskeie pogings is in die verlede aangewend om 'n sinvolle prosedure vir die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels saam te stel. Die komplekse prosesse wat by vloedbesproeiing geld, het egter ernstige beperkings op die sukses van die ontwerpproses van vloedbesproeiingstelsels geplaas. Gevolglik moes ontwerpers tot 'n groot mate op hul eie ervaring staatmaak wanneer hulle sulke stelsels moes ontwerp.

Bogenoemde beperkings is waarskynlik die hooforsaak waarom navorsers gedurende die grootste gedeelte van die afgelope eeu eerder op die ontleding en beskrywing van basiese dinamiese prosesse tydens vloedbesproeiing, gekonsentreer het. Die sogenaamde Saint Venant-vloeivergelykings waarmee hierdie dinamiese prosesse aan die hand van massa- en energiebehoud beskryf is, kon byvoorbeeld eers teen die middel van die tagtigerjare met behulp van gevorderde rekenaar tegnieke opgelos word.

Oplossingstegnieke is sedertdien verder verfyn en die akkuraatheid daarvan is oor 'n betreklik wye gebied getoets en vasgestel. Simulasiemodelle is dus ontwikkel, sodat 'n bepaalde

vloedbesproeiingsepisode gesimuleer kon word om die interaksie tussen faktore soos lengte, wydte, helling, infiltrasietempo, gewasweerstand, toediening, doeltreffendheid, stroomgrootte en afsnytyd te bepaal.

Simulasiemodelle is intussen ook vir Suid-Afrikaanse toestande ontwikkel en getoets en is in **Volume 3** van hierdie verslag meer volledig uiteengesit en akkuraat bewys. Enkele beperkings is egter geïdentifiseer en is in dieselfde volume toegelig en bespreek.

Die volgende fase van navorsing oor vloedbesproeiing het gebruik gemaak van die nuutste resultate oor die interaksie tussen bogenoemde faktore tydens vloedbesproeiing. Hierdie inligting het nuttig te pas gekom by die ontwikkeling van 'n geskikte ontwerpprosedure wat aan die vooropgestelde vereistes van die Waternavorsingskommissie sou voldoen. So 'n ontwerpprosedure moes uiteraard aan bepaalde kriteria voldoen (**Volume 2, Hoofstuk 5**). Kruger (1989) was reeds geruime tyd voordat daar met hierdie navorsing begin is, besig om data met behulp van simuleringmodelle te genereer en te ontleed met die doel om 'n geskikte ontwerpprosedure daar te stel. Sy metode word volledig in Hoofstuk 2 van hierdie volume uiteengesit.

Sedert 1989 het dit egter geblyk dat 'n meer analitiese benadering nodig is om vloedbesproeiingstelsels te ontwerp. Die rede waarom 'n analitiese benadering nodig is, is die komplekse aard van die oplossing van verbande tussen faktore wat betrokke is by die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels. Die betrokkenheid van die Waternavorsingskommissie het dit moontlik gemaak om hierdie analitiese benadering by die ontwikkeling van hierdie vloedbesproeiingsnavorsing en gepaardgaande ontwerpprosedure aan te wend.

Die teoretiese agtergrond vir hierdie analitiese benadering, is volledig in **Volume 2** gemotiveer, waar daar ook 'n aanbeveling gemaak is oor die mees geskikte ontwerpprosedure wat vir vloedbesproeiing onder tipiese Suid-Afrikaanse toestande aangewend kan word. Hierdie aanbeveling

word in hierdie volume (**Volume 4**) gebruik om 'n optimale ontwerpprocedure te ontwikkel en te rekenariseer.

1.2 PROBLEEMSTELLING EN HIPOTESE

1.2.1 Probleemstelling

Aan die begin van hierdie navorsingsprojek was daar nog geen geskikte ontwerpprocedure wat vir die ontwerp van Suid-Afrikaanse vloedbesproeiingstelsels aangewend kon word, beskikbaar nie.

1.2.2 Hipotese

Die hipotese is gestel dat dit wel moontlik behoort te wees om 'n geskikte ontwerpprocedure vir vloedbesproeiing te ontwikkel deur gebruik te maak van 'n hidrodinamiese simuleringmodel wat aan een of meer van die volgende vloedbesproeiingsaspekte gekoppel sou kon word, naamlik:

- (i) Die afdrogingsfronteienskappe,
- (ii) Die netto vloei-energie in die sisteem, en/of
- (iii) Sekere sensitiviteitskriteria

1.3 NAVORSINGSDOELWITTE

Die navorsing van hierdie volume (**Volume 4**) fokus hoofsaaklik op optimering wat tydens die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels gebruik kan word, asook op die ontwikkeling en rekenarisering van 'n geskikte optimeringsmodel.

Die vereistes vir 'n geskikte ontwerpprocedure is reeds in **Volume 2** behandel, terwyl die agtergrond tot, en data vir die hidrodinamiese simuleringmodelle in **Volume 3** behandel is.

Die navorsingsdoelwitte van hierdie volume kan dus soos volg uiteengesit word, naamlik:

- 1 Data van Kruger (1989) sal ge-analiseer word met die doel om die optimeringstendense wat vir ontwerpdoeleindes geskik sal wees, te identifiseer en te ontleed.
- 2 'n Ondersoek na die potensiaal om afdrogingsfront-eienskappe as 'n ontwerp-hulpmiddel te gebruik.
- 3 Die moontlike aanwending van netto vloei-energie en sensitiviteitskriteria as hulpmiddel by die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels moet ondersoek word om sinvolle aanbevelings te kan maak.
- 4 Die ontwikkeling van 'n teoretiese model, wat as eerste fase in die daarstel van 'n optimale vloedbesproeiingsontwerpprogram aangewend kan word.
- 5 Rekenarisering van hierdie eerste fase.
- 6 Die resultate wat uit hierdie ontwerpprogram verkry sal word, asook die ontwerpprosedure self, sal geëvalueer en getoets moet word teen die data wat in **Volume 3** vervat is, asook teenoor die volledige reeks gestelde eietydse norme wat in **Volume 2** gestel word.

HOOFSTUK 2

ONTLEDING VAN ONTWERPTENDENSE AAN DIE HAND VAN GESIMULEERDE DATA.

2.1 INLEIDING

2.1.1 Motivering vir die evaluering van die datagenerasieprojek van Kruger (1989)

Gedurende die datagenerasieprojek van Kruger (1989) waar 'n simuleringsmodel gebruik is om ontwerpdata vir vloedbesproeiing te genereer, is gevind dat die proses uiters tydrowend was en dat optimale ontwerpdata nie noodwendig verkry word nie. Die projek was egter rigtinggewend ten einde die gebrek aan 'n ontwerpprocedure vir vloedbesproeiing, ten spyte van die beskikbaarheid van simuleringsmodelle, aan te toon. Enkele belangrike resultate en gevolgtrekkings uit hierdie projek dien dus as motivering vir die ontwikkeling van 'n ontwerpprocedure vir vloedbesproeiing soos in die res van hierdie volume aangetoon.

2.1.2 Agtergrond

Die hidrodinamiese ontwerpprocedure van Kruger (1989) soos in **Volume 2** (Hoofstuk 8; paragraaf 8.4) van hierdie verslag beskryf, steun op die ontleding van ge-optimeerde besproeiingsdata. Hierdie data is met behulp van die simuleringsmodel van Strelkoff (1985) gegenereer. Daar is gevind dat die proses waartydens data vir 'n ontwerp gegenereer word, langdradig is omdat 'n groot aantal tydrowende simulerings vir elke ontwerp uitgevoer moet word. Gevolglik het Kruger (1989), "standaard" datastelle gegenereer in 'n poging om die ontwerpprocedure te bespoedig. Hierdeur is ook gepoog om onnodige duplisering van data wat deur verskillende ontwerpers gegenereer kon word, uit te skakel. Waardevolle data kon sodoende deur kundiges daargestel word. Die tegnieke en tendense wat Kruger (1989) vir die datagenerasie gebruik

het, kon dus met vrug gebruik word tydens die ontwikkeling en rekenarisering van 'n ontwerpprocedure.

2.2 DIE DATAGENERASIEPROJEK VAN KRUGER (1989)

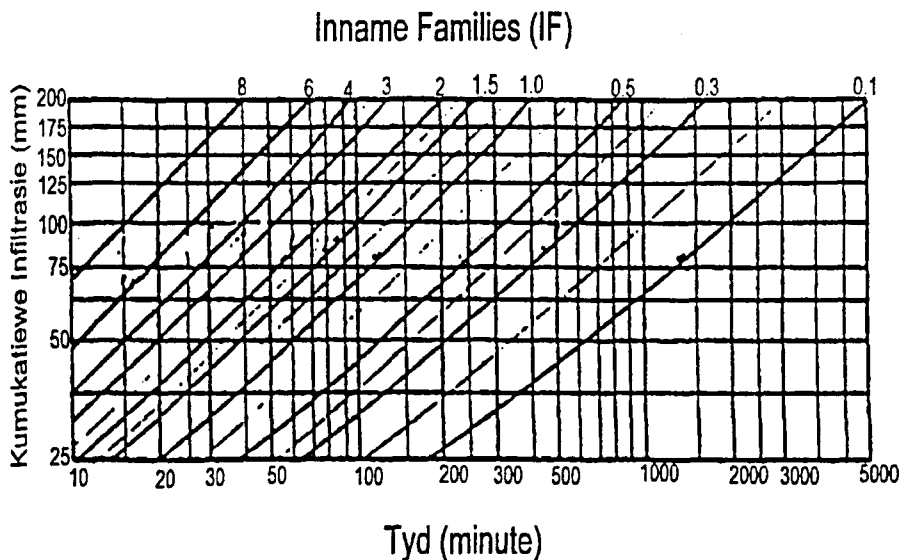
2.2.1 Doelwitte

Die hoofdoel van hierdie projek was om 'n reeks verteenwoordigende optimale datastelle te genereer. Hierdie datastelle kan dan aan navorsers en ontwerpers beskikbaar gestel word as hulpmiddel by die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels.

2.2.2 Metode

2.2.2.1 Infiltrasienorme

Datastelle is met behulp van standaard infiltrasiegroepe (Figuur 2.1) gegenereer. Hierdie standaard infiltrasiegroepe is in ooreenstemming met die SCS-stelsel gekies.



Figuur 2.1 Voorgestelde Infiltrasienorme van Kruger (1989).

2.2.2.2 Omvang van die projek

Dit is bekend dat die infiltrasie van 'n grond groot skommelings gedurende 'n enkele seisoen kan toon. Hierdie probleem is ondervang deurdat (binne perke) meer as een datastel vir gronde met wisselende infiltrasies gegenereer kan word. Tabel 2.1 toon die grenswaardes waaruit kombinasies saamgestel is, vir elke infiltrasiegroep (IF).

Tabel 2.1 Grenswaardes van insette wat vir elke infiltrasiegroep (IF) voorgestel word (Kruger, 1989).

IF	8	6	4	2	1	0.5	0.3	0.1
S_{min}	1:50	1:75	1:100	1:125	1:150	1:200	1:200	1:200
S_{maks}	1:300	1:400	1:500	1:800	1:1000	1:2000	1:2000	1:5000
n	.04-.35	.04-.35	.04-.35	.04-.35	.04-.35	.04-.35	.04-.35	.04-.35
L	50-200	50-250	50-300	100-400	100-500	100-800	100-1000	100-1500
$Q [(m^3/h)/m]$	10-60	10-60	10-60	10-60	10-60	10-60	10-60	10-60
$Z (mm)$	25-150	25-150	25-150	25-150	25-150	25-150	25-150	25-150
$T_{CO} (min)$	4-60	5-80	7-100	10-200	20-400	40-900	60-1500	200-4000

Uit Tabel 2.1 blyk dit dat:

- Die infiltrasie wissel tussen 0,1 IF en 'n ultra hoë 8,0 IF.
- Die helling (S) wissel tussen 1/50 vir gronde met 'n hoë infiltrasie en 1/5000 vir gronde met lae infiltrasie.
- Die vloe weerstand se n -waardes (Manning n) wissel tussen 0,04 vir ontblote gronde en 0,35 vir digte sooigewasse.

- Die **lengte (L)** wissel tussen 50m vir gronde met 'n hoë infiltrasie en 1500m vir gronde met 'n lae infiltrasie.
- Die **stroomgrootte (Q)** wissel tussen 10 en 60 (m^3/h)/m per meter wydte.
- Die **aanvangswaardes vir toedienings** wissel tussen 25 en 150 mm.
- Die **aanvangswaardes vir afsnytye** wissel tussen 4 minute vir gronde met 'n hoë infiltrasie en 4 000 minute vir gronde met 'n lae infiltrasie.

2.2.2.3 Prosedure vir rekenarsimulering en die optimering van data.

'n Spesifieke prosedure word voorgeskryf om rekenaaroperateurs in staat te stel om data sinvol te optimeer en berekenings uit te voer. Hierdie prosedure word grafies in Figuur 2.2 uitgebeeld.

Die projekteerders moes 'n aantal kombinasies van beginwaardes vir stroomgrootte en afsnytyd aan die rekenaaroperateur verskaf sodat hy 'n begin-oplossing daarmee kon simuleer. Hierdie begin-oplossing is dan in 'n voorgeskrewe tabel aangeteken. Daarna is verbeterde simuleringpogings geloods deur die stroomsterkte (Q) en die afsnytyd (T_{CO}) te verander en dan die nuwe resultate weer eens in die gegewe tabel aan te teken.

In gevalle waar water toegelaat is om aan die onderkant van die beddings uit te vloei, is die simuleringsoortuigings so uitgevoer dat die vorderingsfront- en die afdrogingsfrontkrommes redelik parallel aan mekaar sou wees. Die afloop (R_{off}) moes deurgaans so klein as moontlik gehou word.

Sodra die beste kombinasie verkry is, moes die operateur die verlangde watertoediening (Z), wat in die berekening van doeltreffendheidsmaatstawwe gebruik is, so verstel dat die hoogste moontlike

waardes vir beide die toedieningsdoeltreffendheid (E_a) en die storingsdoeltreffendheid (E_s) bereik kon word.

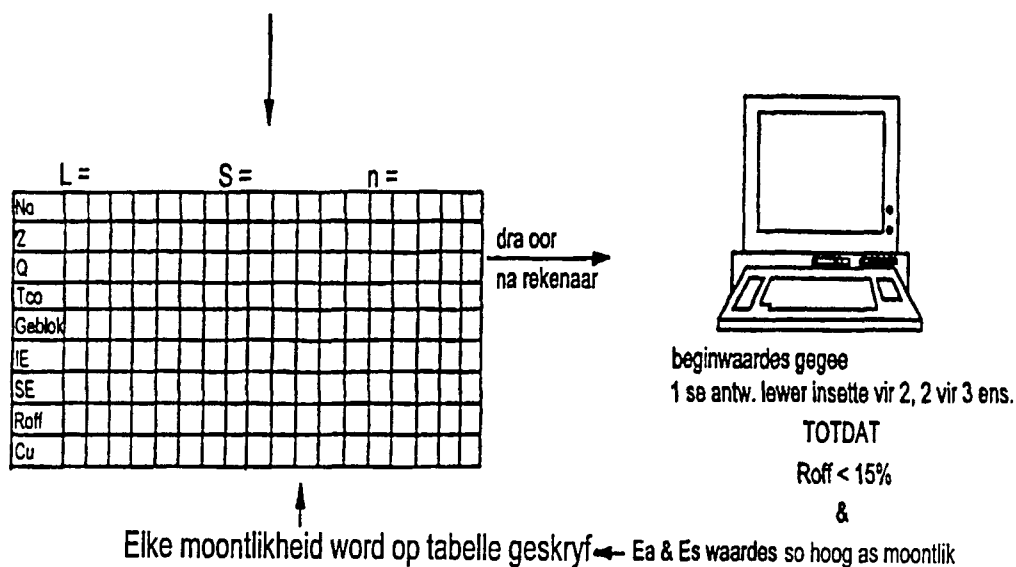
Die simuleringspoging met die kleinste afloop (R_{off}) en die hoogste doeltreffendheid is as die optimale besproeiing gekies. Hierdie beste poging staan dan bekend as 'n optimale datastel.

IF met kombinasies van

- (i) Helling (s)
- (ii) Lengte (L)
- (iii) Gewas weerstand (n)
- (iv) Toediening (Z)

Beginwaardes van Stroomsterkte (Q) en afsnytyd (T_{co})
gegee.

Bepaal die optimum kombinasies deur Q, Z en T_{co} se waardes te varieer



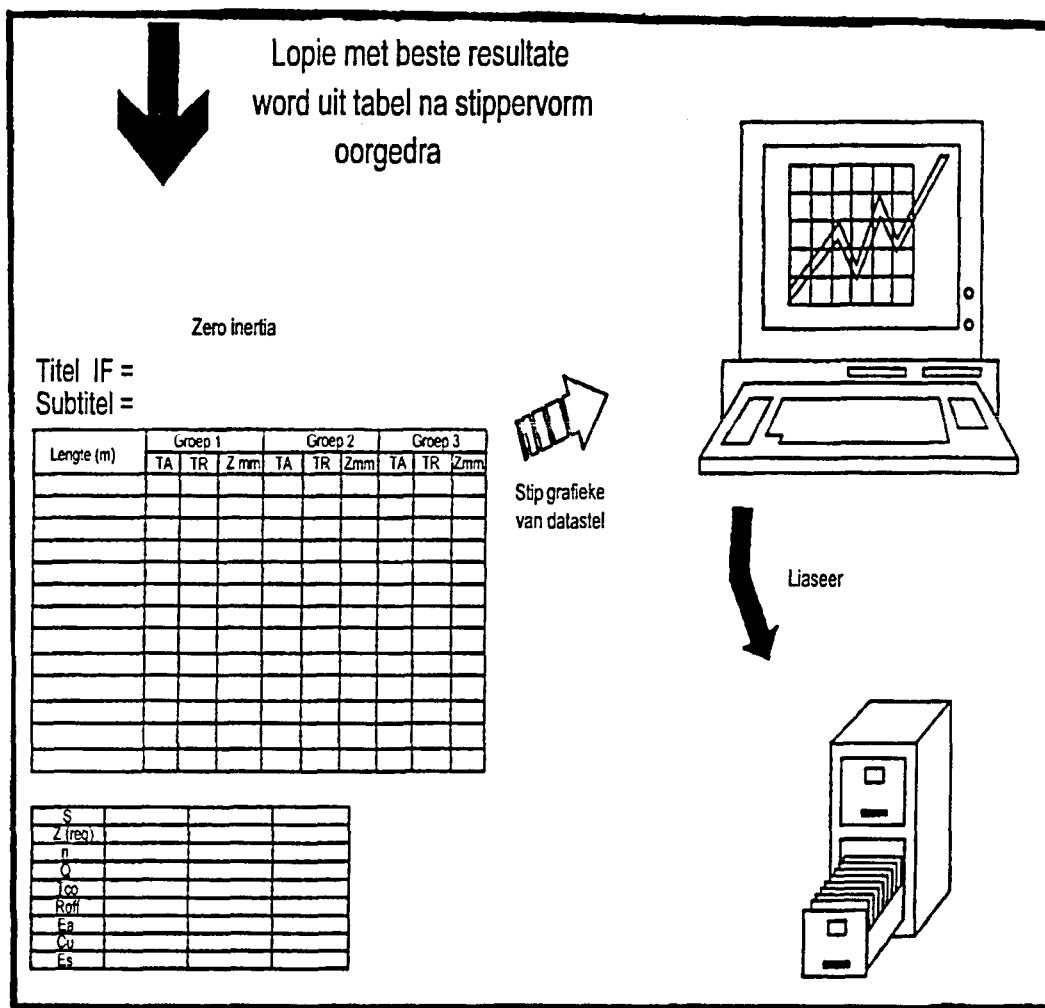
Figuur 2.2 Grafiese voorstelling van die datagenerasieprosedure

2.2.2.4 Verwerking van resultate

Die verwerking van resultate kan op twee wyses geskied, naamlik deur grafiese datastelle te gebruik, of deur die tendense te ontleed.

2.2.2.4.1 Grafiese datastelle

Die rekenaaroperateurs het optimale datastelle daargestel en onderling met mekaar vergelyk. Drie groepe optimale datastelle se vorderings- en afdrogingsfrontdata, asook die gesimuleerde watertoediening, is op bogenoemde wyse verwerk en is grafies in Figuur 2.3 voorgestel.



Figuur 2.3 Skematiese voorstelling van dataverwerking deur die rekenaaroperateur

Die data in Tabel 2.2 kan as voorbeeld gebruik word om 'n optimale datastel te illustreer.

Tabel 2.2: Voorbeeld van 'n gegenereerde optimale datastel

S = 1/200
L = 150 m

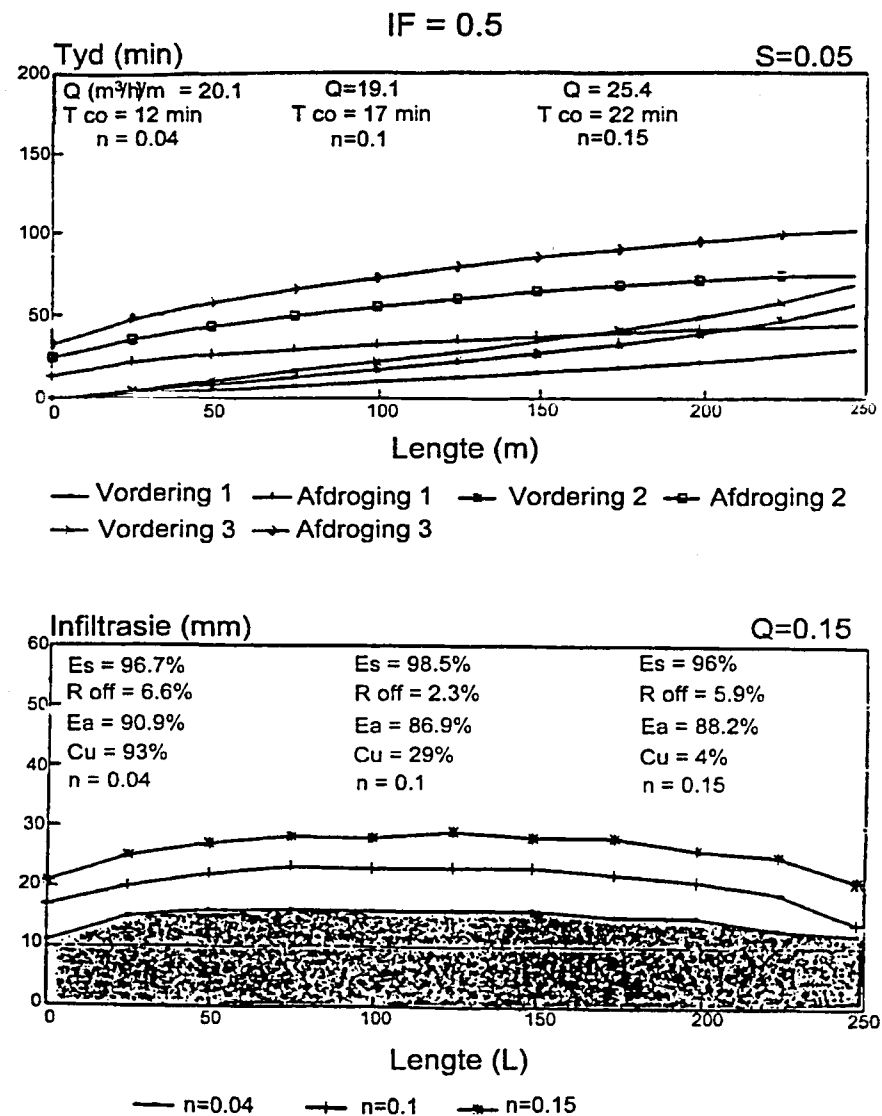
n = 0,15
4,0 IF (Vaalharts)

Simulasie no	Z	Q	Tco	Ea	Es	Uc	R off
Beginoplossing	On-bekend	27	±60	-	-	-	-
1	63,5	27	60	35,6	100	94,15	19,4
Verstel Z 2	76,2	27	60	42,72	100	94,5	19,4
Verstel Tco 3	76,2	27	55	40,61	100	93,9	17,4
4	76,2	27	50	51,27	100	93,1	15,14
5	76,2	27	45	56,96	100	92,2	12,6
6	76,2	27	40	64,08	100	90,9	9,73
7	76,2	27	35	te min water			
Na simulering 7 blyk dit dat die afsnytyd (Tco) nie kleiner as 40 minute behoort te wees nie. Die storingsdoeltreffendheid Es = 100 % en die toedieningsdoeltreffendheid Ea = 64 %. Deur Z te verhoog kan Es verlaag en Ea verhoog.							
8	85	27	40	68	100	90,9	9,73
↑ ↓							
12	111,76	27	40	88	94	90,9	9,73
Na twaalf simuleringe is gevind dat 'n toediening van sowat 110 mm sal realiseer onder bogenoemde toestande.							
Simulasie no 12 verteenwoordig die optimale datastel.							

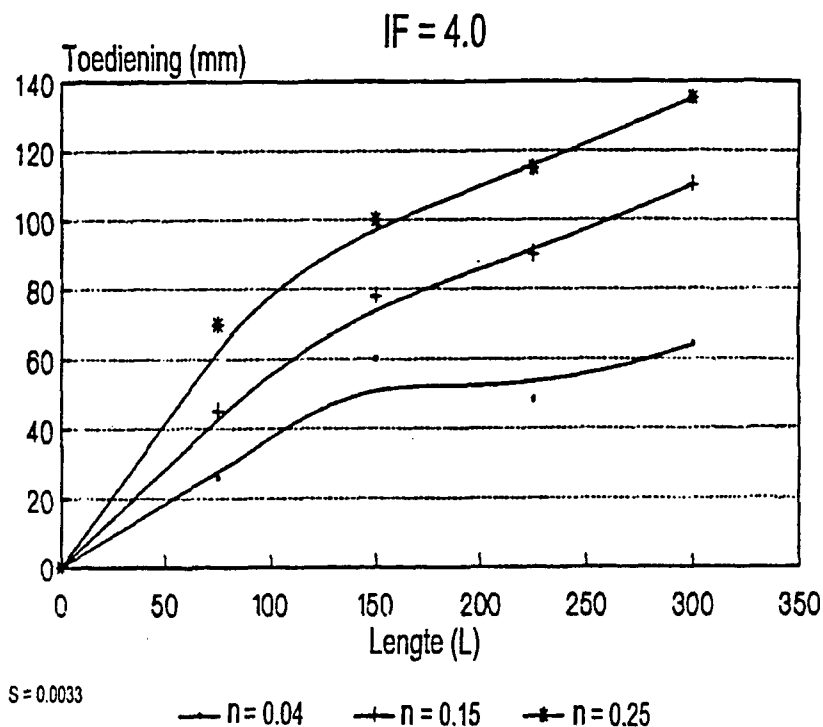
Die gesimuleerde optimale datastelle is daarna grafies saamgestel (Figuur 2.4) sodat dit deur potensiële ontwerpers in hul berekeninge gebruik kan word.

2.2.2.4.2 Ontleding van tendense

Die tendense is telkens, direk nadat die rekenaaroperateur genoeg data gegenereer het, ontleed. Figuur 2.5 toon 'n eenvoudige krommepassing van 'n aantal tipiese datastelle.



Figuur 2.4 Voorbeeld van 'n gesimuleerde optimale datastel



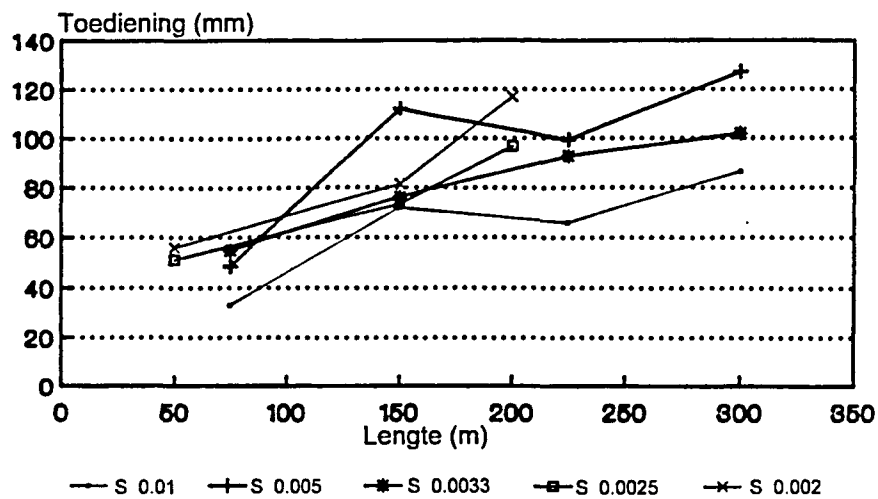
Figuur 2.5 Krommepassing van 'n aantal gesimuleerde optimale datastelle

Vanuit Figuur 2.4 is dit duidelik dat verhoogde vloe weerstande neig om tot groter watertoedienings te lei. Hierdie waarneming is verder ontleed en in Figuur 2.5 weergegee. In hierdie geval is vier gesimuleerde optimale datastelle by drie verskillende vloe weerstande met mekaar vergelyk. Die invloed van vloe weerstand (n) op watertoediening, is duidelik waarneembaar. Die invloed wat beddinglengte het op watertoediening word ook vir die betrokke vloe weerstandswaardes aangedui.

Namate die projek gevorder het, is 'n leemte in hierdie metode van dataverwerking geïdentifiseer, naamlik dat tendense nie altyd by alle datastelle duidelik onderskei kon word nie. Daar is gevind dat data nie altyd op 'n vertolkbare wyse voorgestel is nie omdat verskillende rekenaar-operateurs dieselfde data binne gegewe riglyne steeds na willekeur kon optimeer. Figuur 2.6 toon 'n tipiese voorbeeld van sulke optimale datastelle waarby die verwagte tendense nie meer duidelik onderskei kon word nie.

'n Statistiese rekenaarpakket is vervolgens gebruik om meervoudige re-

gressie-analises op hierdie data te doen, maar hierdie pogings was steeds onsuksesvol weens die beperkte aantal datapunte wat beskikbaar was.



Figuur 2.6 'n Voorbeeld van data waar geen tendense tydens krommepassings waargeneem kon word nie.

2.2.2.5 Resultate

Ten spyte van bogenoemde beperkings is 'n hele aantal waardevolle datastelle egter wel gegenereer.

Meer as 160 optimale datapunte is uit sowat 1800 simulerings verkry. Hierdie datapunte kan in verskeie kombinasies gebruik word om datastelle met bepaalde tendense te illustreer.

Vyf rekenaaroperateurs was oor 'n tydperk van ongeveer drie jaar besig om data op hierdie wyse te genereer.

Daar is gevind dat tussen vyf en vyf-en-dertig simulerings uitgevoer moes word voordat die beste optimale datastel geselekteer kon word.

'n Enkele simulering met behulp van die Strelkoff-model (1985) het tussen 20 minute en 12 ure in beslag geneem, en is tot 'n groot mate

beïnvloed deur die verwerkingsvermoë van die rekenaar wat gebruik is.

'n Enkele simulering moes soms verskeie kere herhaal word, omdat die oplossingskriteria van die Strelkoff-model (1985) sekere verstellings geverg het, voordat 'n sinvolle oplossing verkry kon word.

Hoewel die data van Kruger (1986) ook in hierdie Waternavorsingskommissie-projek gebruik word, kon die omvangryke hoeveelheid data nie sinvol in hierdie verslag saamgevat word nie.

Die tendense wat ontleed is ooreenstem tot 'n groot mate met die tendense wat uit die Optivloed 2.2-program verkry is en word in latere hoofstukke volledig bespreek.

2.2.2.6 Gevolgtrekkings en aanbevelings

Die komplekse aard van vloedbesproeiing verklaar waarom hierdie datagenerasie-projek van Kruger (1989) slegs gedeeltelik geslaagd was. Tydens hierdie projek is egter waardevolle data gegenereer waaruit toepaslike gegewens en voorstelle vir die huidige Waternavorsingskommissie-projek, asook vir moontlike opvolgprojekte bekom is.

Die volgende belangrike inligting kon uit hierdie datagenerasie-projek (Kruger, 1989) gekry word:

1. Inligting aangaande rekenaaroperateurs:

Tydens die datagenerasie-projek is daar gebruik gemaak van senior tegnisi sowel as van hulpdiensbeamptes om data te genereer. Na hierdie persone word verwys as rekenaaroperateurs. Groot variasies in die gesimuleerde data deur die rekenaaroperateurs, het voorgekom. Hierdie variasies kan gedeeltelik verklaar word aan die hand van die volgende twee waarnemings:

- (a) Verteenwoordigende kombinasies van die betrokke insette moet deur die rekenaaroperateur gesimuleer word om 'n enkele datapunt te optimeer. Dit is moontlik om goeie optimale datastelle met behulp van simuleringmodelle te genereer. Dit is egter noodsaaklik om 'n standaard prosedure vir hierdie doel te gebruik om betroubaarheid en herhaalbaarheid te verseker.
- (b) Indien die rekenaaroperateur die simulering subjektief benader deurdat die persoon vooropgestelde of "verwagte" antwoorde het, raak die optimering nutteloos, omdat die ondersoek-gebied waarbinne die operateur na antwoorde soek, beperk is. Dit dui weereens op die noodsaaklikheid van 'n gestandaardiseerde simuleringprosedure.

2. Inligting aangaande kriteria wat vir die optimering van data gebruik is

Die variasies in die gesimuleerde data kan ook verklaar word aan die hand van die kriteria wat tydens die optimering van data gebruik is.

Aangesien verskeie kombinasies van besproeiingsinsette tot 'n bepaalde besproeiingsdoeltreffendheid kan lei (byvoorbeeld $E_a=90\%$; $E_s=90\%$), moet addisionele kriteria daargestel word om besluitneming te vergemaklik. So byvoorbeeld moet die tempo van die vorderings- en afdrogingsfronte relatief tot mekaar gedefinieer word.

Probleme wat deur Kruger (1989) ondervind is, het gelei tot die volgende kriteria wat aanbeveel word vir die optimering van data:

- * Ten einde variasie in gesimuleerde data te beperk, moet die prosedure van paragraaf 3.4, **Volume 3**, streng toegepas en nagevolg word.
- * Die resultaat van die optimeringsproses word beïnvloed deur die doelwit wat gestel word. Bestuursensitiwiteit, afdrogingsfronteienskappe en netto vloei-energie kan as bykomende kriteria benut word om die resultaat te bepaal. Hoofstukke 3 en 4 verskaf meer detail oor hierdie aspek.

3. Inligting aangaande die gebruik van optimeringsmodelle

Die datagenerasie-projek van Kruger (1989) was grootliks geskoei op die vermoë van die rekenaaroperateur om optimale datastelle te genereer. Variasies in data, soos in Figuur 2.6 aangetoon, het egter veroorsaak dat data nie altyd sinvol vertolk en ontleed kon word nie. Derhalwe word aanbeveel dat:

- * Optimeringsmodelle gebruik moet word om die rol van die rekenaaroperateur by data-generasie tot 'n minimum te beperk (byvoorbeeld die Afdrogingsfront-gradiëntmodel van Kruger, 1986).
- * Die voorgestelde optimeringsmodelle behoort die rekenaaroperateur te lei om die kriteria so te definieer dat die oplossing die doel van die optimering bevredig, byvoorbeeld deur vrae te beantwoord oor die wyse van waterbestuur, hetsy deur middel van tyd óf afstand.

HOOFSTUK 3

METODE EN RESULTATE:

EIENSKAPPE VAN DIE AFDROGINGSFRONT AS ONTWERPHULPMIDDEL

3.1 INLEIDING

Verskeie navorsers het gevind dat afdrogingsfronte bepaalde tendense toon waaraan die prestasie van 'n stelsel geëvalueer en optimaal ingestel kan word (Merriam, 1978; Du Rand, *et al.*, 1985; Kruger, 1986). Ten spyte hiervan is hierdie tendense nie voorheen as eienskappe geïdentifiseer nie, en derhalwe is dit nie in vorige ontwerpprosedures aangewend nie.

In hierdie hoofstuk word gepoog om die tendense wat algemeen deur die navorser in die praktyk waargeneem is, as eienskappe van afdrogingsfronte te bewys. Sodoende word gepoog om die insluiting van afdrogingsfronteienskappe as ontwerphulpmiddel op 'n wetenskaplike wyse te motiveer.

3.2 METODE

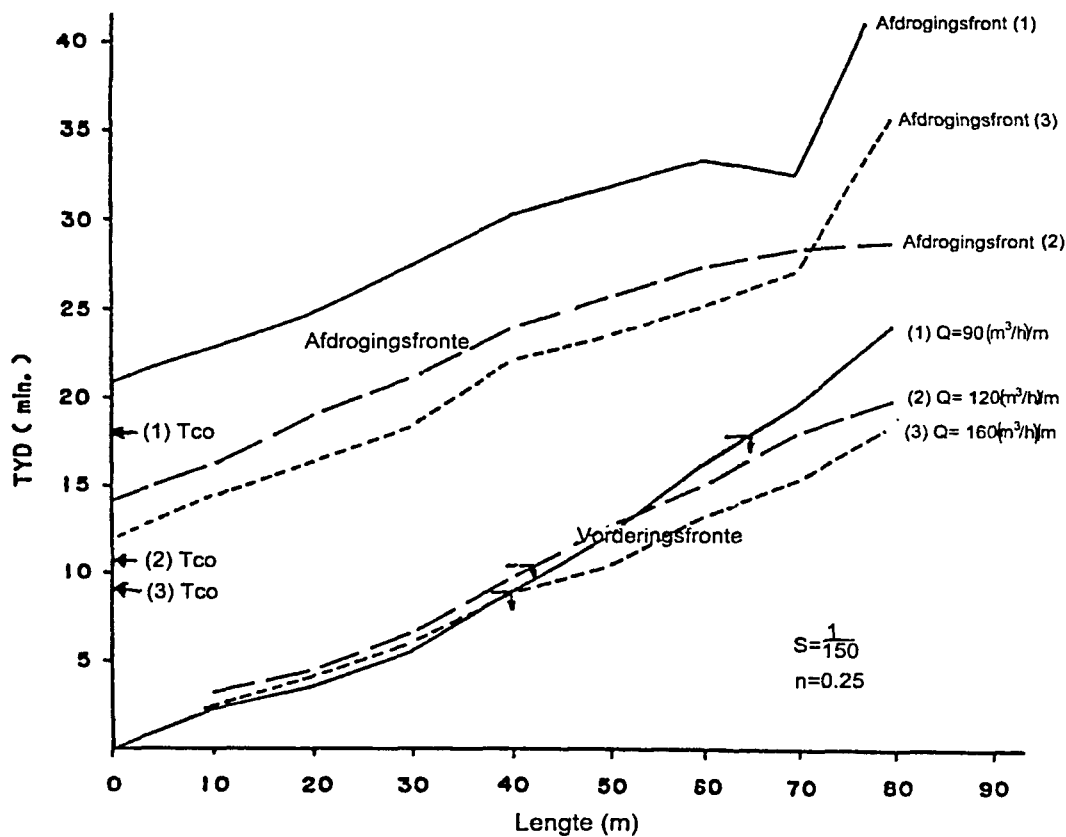
Kruger (1986) het gevind dat waargenome tendense van afdrogingsfronteienskappe ontleed kan word. 'n Wetenskaplike ontleding bewys dat die waargenome tendense wat in die praktyk vanaf gemete data, asook vanuit gesimuleerde data verkry is, as eienskappe van afdrogingsfronte beskou kan word, en dus daaraan gekoppel kan word.

Die metode wat uiteindelik gevolg is, bestaan uit die volgende, naamlik:

- * Die waargenome tendense wat vanaf gemete data verkry is, word in paragraaf 3.3 aangetoon en bespreek.
- * Hierdie waargenome tendense is aan die hand van studies oor simuleringmodelle ondersoek.

- * Die resultate van hierdie studies word in paragrawe 3.4 en 3.5 bespreek.
- * In die betrokke paragrawe word bewys dat die waargenome tendense ook as eienskappe van die stelsels gesien kan word.
- * Die eienskappe word in paragraaf 3.6 wiskundig ontleed om die waargenome tendense te staaf.
- * In paragraaf 3.7 word aangetoon hoedat hierdie eienskappe by die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels aangewend kan word.

3.3 WAARGENOME TENDENSE VANAF DATA WAT IN DIE PRAKTYK GEMEET IS

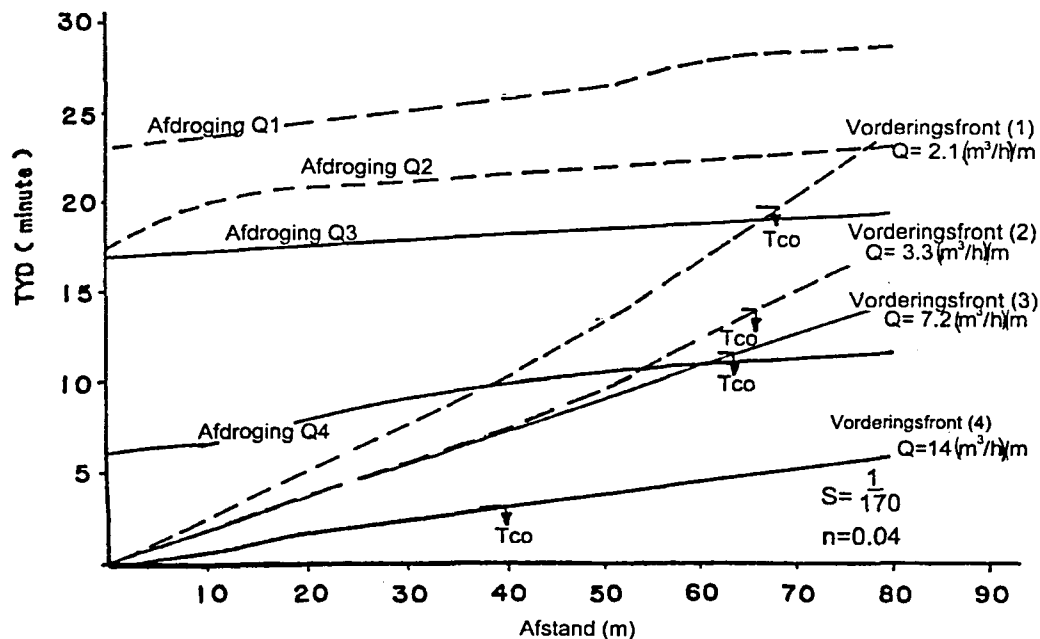


Figuur 3.1 Vorderingsfronte vir besproeiing van beddings te Vaalharts (Gewas: koring).

Figure 3.1 en 3.2 toon 'n grafiese voorstelling van waargenome tendense wat verkry is tydens die uitvoering van die OVH 77-projek en 'n voortjyebesproeiingsprojek by Vaalharts.

Figuur 3.1 toon die resultate van gemete vorderings- en afdrogingsfrontkrommes wat by beddingbesproeiing op koring gemeet is. Stroomgroottes het tussen 90 en 165 ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$) op 'n bedding met 'n ses meter wydte gewissel (lengte en helling word op die grafiek aangetoon).

- * Dit blyk dat die vorderingsfront van die kleiner stroomgrootte die onderpunt van die bedding op 'n later stadium as dié van die groter stroom bereik.
- * Daardeur is veroorsaak dat die afsnytyd (T_{co}) eers na 17 minute voorkom teenoor 9 minute by die groter stroom.
- * Ten spyte van hierdie bykans verdubbeling in afsnytyd tussen die groter en kleiner stroom, bly die afdrogingsfrontkrommes redelik parallel aan mekaar, en word nie juis deur die grootte van die stroom beïnvloed nie.



Figuur 3.2 Vorderingsfronte vir voortjiebesproeiing te Vaalharts.
(Gewas: rissies)

Figuur 3.2 toon 'n baie groter variasie in stroomgrootte (wissel tussen 2,1 en 14 ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$)). (Die wydte van die vore was 0,4m; lengte en helling soos op die grafiek aangetoon).

- * Soos verwag kan word, vertoon die kleiner stroomgrootte 'n baie stadiger vorderingsfrontkromme as vir die groter stroomgrootte.
- * Die afdrogingsfrontkrommes begin, volgens verwagting, op verskillende tye, met die kleinste stroomgrootte heel laaste.
- * *Ongeag hiervan toon die afdrogingsfrontkrommes steeds 'n parallele neiging.*

In die geval van die grootste stroomgrootte [$14 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$], verloop die vorderings- en afdrogingsfrontkrommes feitlik parallel aan mekaar. Die bo- en onderpunt van die voortjie ontvang dus min of meer ewe veel water.

Figuur 3.2 toon dat, in die geval van die kleinste stroomgrootte [$2,1 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$], meer water aan die bopunt van die voortjie toegedien word as aan die onderpunt. Hierdie verskil in toediening is te wyte aan die verskil in potensiële kontaktyd.

Indien die gemiddelde helling van die afdrogingsfrontkromme dus voorspel kan word, sal dit moontlik wees om die stroomgrootte daarby aan te pas sodat 'n eweredige benatting by die bo- en onderpunt verkry kan word. Deur die voortjie langer of korter te maak, kan die watertoediening verhoog of verlaag word deurdat die afsnytyd dienoooreenkomstig verleng of verkort sou word. Hierdie waarnemings (wat gedurende 1982 en 1983 uitgevoer is) het gelei tot die formulering van die sogenaamde Afdrogingsfrontgradiënt-model van Kruger (1986).

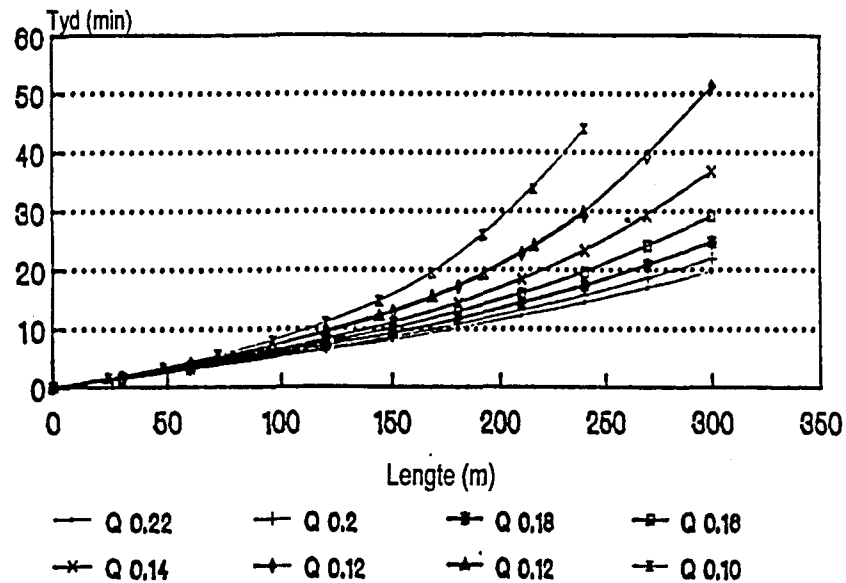
3.4 WAARGENOME TENDENSE WAT UIT GESIMULEERDE DATA VERKRY IS

Verdere ondersoeke na die eienskappe van afdrogingsfronte wat in 1991 met behulp van die Sirmod-Simulasiemodel (Walker, 1989) en die Borderflow-Simulasiemodel (Strelkoff, 1985) ontleed is, bevestig inderdaad die waarnemings van Kruger (1986).

In Figuur 3.3 word getoon hoe dat die vorderingsfrontkrommes vir 'n tipiese Vaalhartsgrond met 'n 4,0 inname familie daar uitsien indien dit

met verskillende stroomgroottes vloedbesproei sou word (Manning $n = 0,04$, en 'n helling van $S = 0,01$).

Daar is weer eens gevind dat vorderingsfronte stadiger vorder indien die stroomgroottes verklein word.

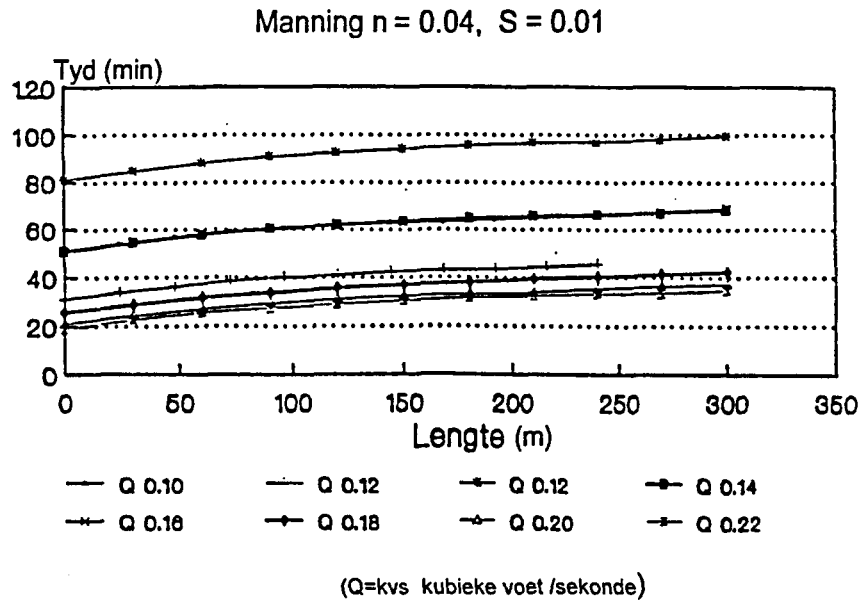


($Q = \text{kvs}$ kubieke voet /sekonde)

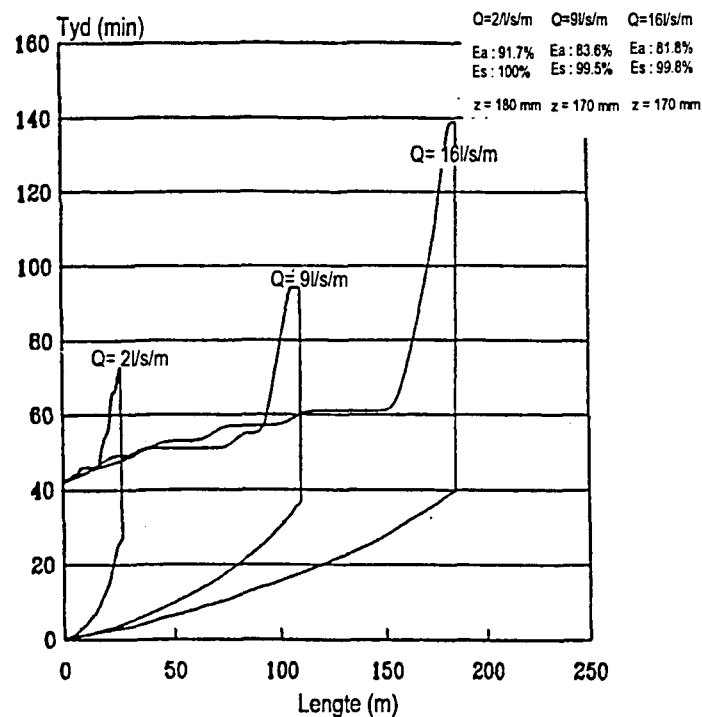
Figuur 3.3 Vorderingsfrontkrommes wat vir oop beddings met behulp van die Borderflow-simuleringsmodel van Strelkoff (1985) verkry is.

Figuur 3.4 toon die ooreenstemmende afdrogingsfrontkrommes vir beddings van verskillende lengtes indien uitvloeit aan die onderpunte van elke bedding toegelaat word. Verskillende afsnytye is gebruik. Die afdrogingsfrontkrommes neig parallel.

In Figuur 3.5 word beddings met geslote onderpunte uitgebeeld. Die resultate toon weer eens dat, in die geval van beddings met geslote onderpunte, die afdrogingsfronte parallel neig.



Figuur 3.4 Afdrogingsfrontkrommes vir oop beddings met behulp van die Borderflow-simuleringsmodel van Strelkoff (1985).



Figuur 3.5 Vorderings- en afdrogingsfrontkrommes vir geslote beddings met behulp van die Sirmod-simuleringsmodel van Walker (1989). IF = 8; S = 0.01

Die afdrogingsfrontkrommes in Figuur 3.5 is van 'n grond met 'n inname-familie van 8,0 en 'n helling S van 0,01. Die afsnytyd is konstant gehou op 40 minute, terwyl die stroomgrootte tussen 2 en 16 (l/s)/m gewissel het. Die beddingwydte was 1m.

Die afdrogingsfrontkrommes was weer eens parallel, maar het skerp opwaarts geswaai wanneer oppervlakstoring aan die onderpunt van die geslote bedding voorgekom het.

3.5 DIE INVLOED VAN VERSKILLEND FAKTORE OP DIE AFDROOGEIENSKAPPE

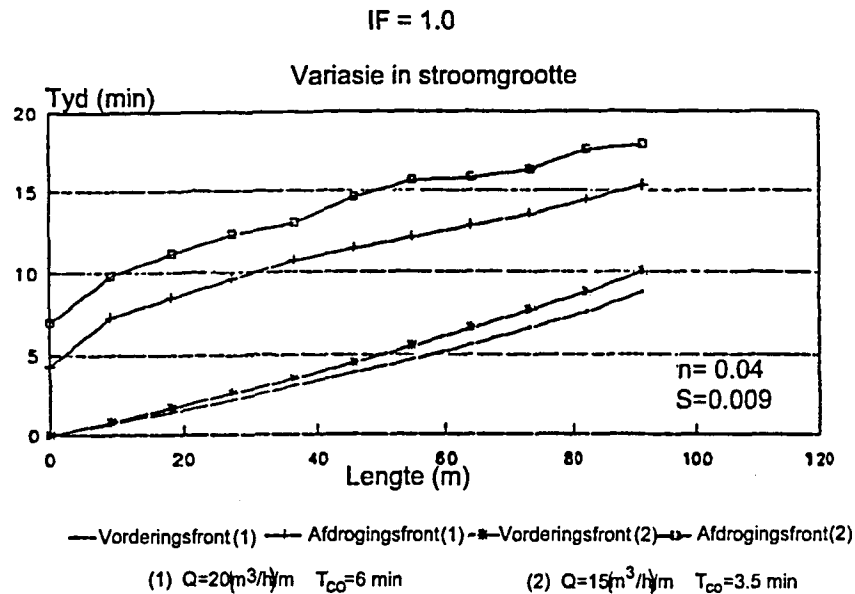
Beide simuleringsmodelle is gebruik om die afdrogingsfront-eienskappe te ondersoek. Figure 3.6 tot 3.9 toon die voorspelde afdrogingsfrontdata wat met verskillende stroomgroottes, infiltrasietempo's, hellings en vloeiweerstandswaardes verkry is. Enkele stelling data wat gemeet is, word ook getoon.

3.5.1 Die invloed van stroomgrootte

Figuur 3.6 toon dat 'n kleiner stroomgrootte 'n groter watertoediening tot gevolg het. Die afdrogingsfronte bly egter steeds redelik parallel.

Figure 3.7(a) en (b) toon die invloed van stroomgrootte op 'n grond met 'n ultrahoë infiltrasie. Die resultate is met sojabone tydens die huidige Waternavorsingskommissie-projek op besproeide voortjies verkry. In hierdie geval was die helling (S)=0,0065. Die waarde van Manning was $n=0,03$. Die stroomgrootte is gemeet as 5,56 (l/s)/m en 11,1 (l/s)/m per voortjie. Soos verwag kan word, vorder die 5,56 (l/s)/m stroomgrootte stadiger, afsnyding vind later plaas en die afdrogingsfront begin later.

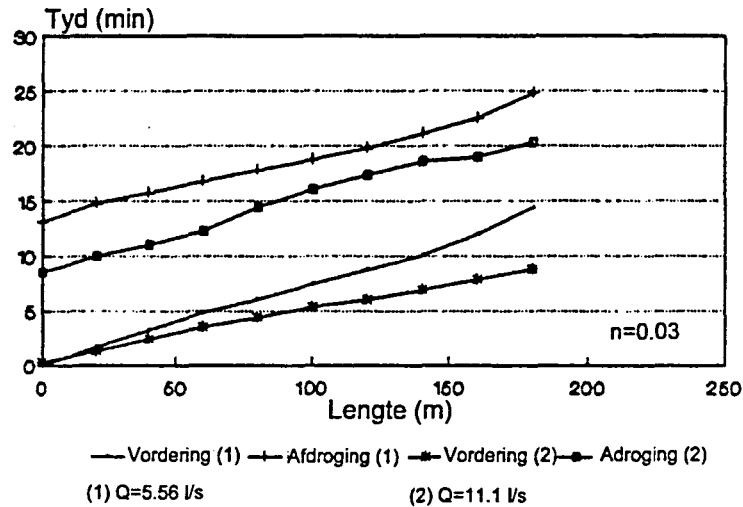
Die afdrogingsfrontkrommes bly egter steeds redelik parallel aan mekaar.



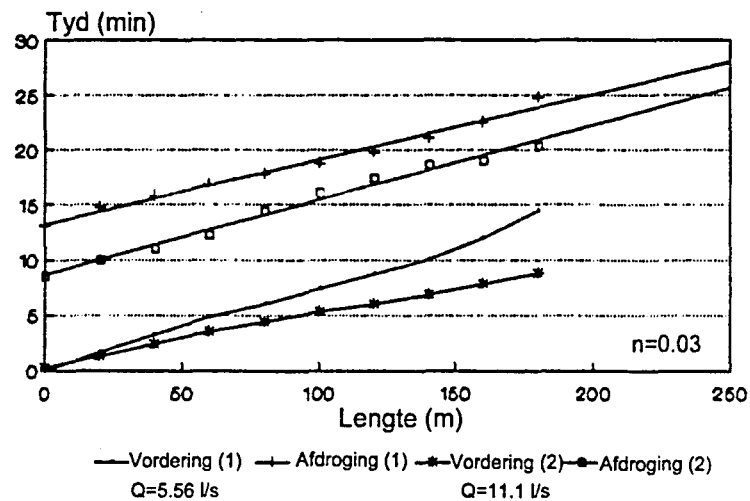
Figuur 3.6 Die invloed van stroomgrootte op die afdrogingsfrontkrommes.

Die stroomgrootte van 11,1 (l/s)/m was effens te groot, met die gevolg dat daar 'n mate van divergensie tussen die vorderings- en afdrogingsfronte voorgekom het namate langer voortjielengtes gebruik is. Die 5,56 (l/s)/m stroomgrootte was weer effens te klein, met die gevolg dat konvergensie tussen die vorderings- en afdrogingsfronte waargeneem is. Variasies kan waarskynlik toegeskryf word aan die feit dat die spesifieke voortjie nie baie akkuraat afgewerk was nie.

Die afdrogingsfrontgradiënte vertoon 'n bepaalde tendens wat nie deur stroomgroottes beïnvloed word nie.



Figuur 3.7(a) Die invloed van stroomgrootte op 'n grond met 'n ultrahoë infiltrasie. (voortjies;kaalgrond)



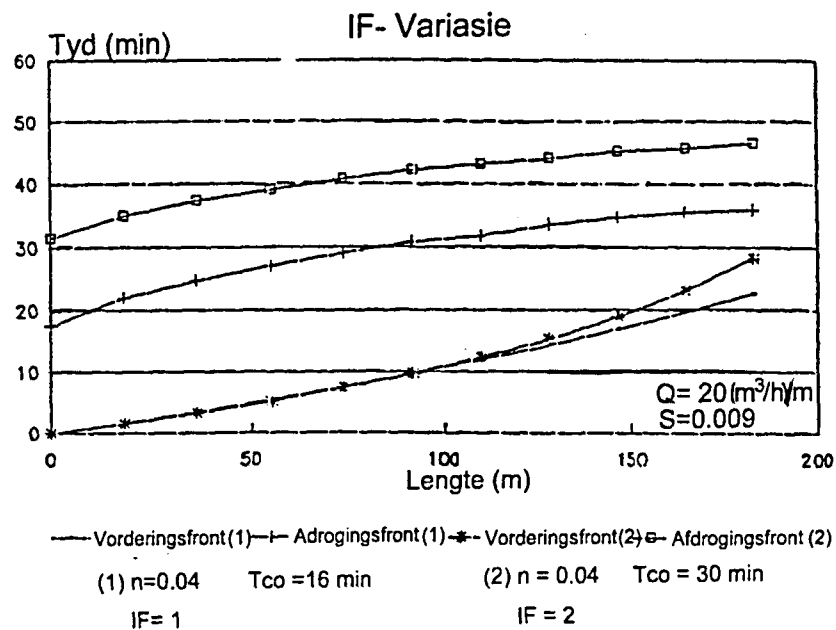
Figuur 3.7(b) Tendenslyne soos verkry uit die afrondingsfront-data van Figuur 3.7(a) (voortjies;kaalgrond)

Die tendens van parallelle afdrogingsfronte word versluier deurdat data vervorm word waar swakker afgewerkte hellings voorkom (Figure 3.7(a) en (b)).

In die geval van die 5.56 (l/s)/m toedieningstempo in Figuur 3.7 (b), blyk dit dat afsnyding van die stroom effens te vroeg plaasgevind het, met die gevolg dat die afdrogingsfront met 'n toename in die lengte van die voortjie "afgeknyp" raak.

3.5.2 Die invloed van infiltrasie

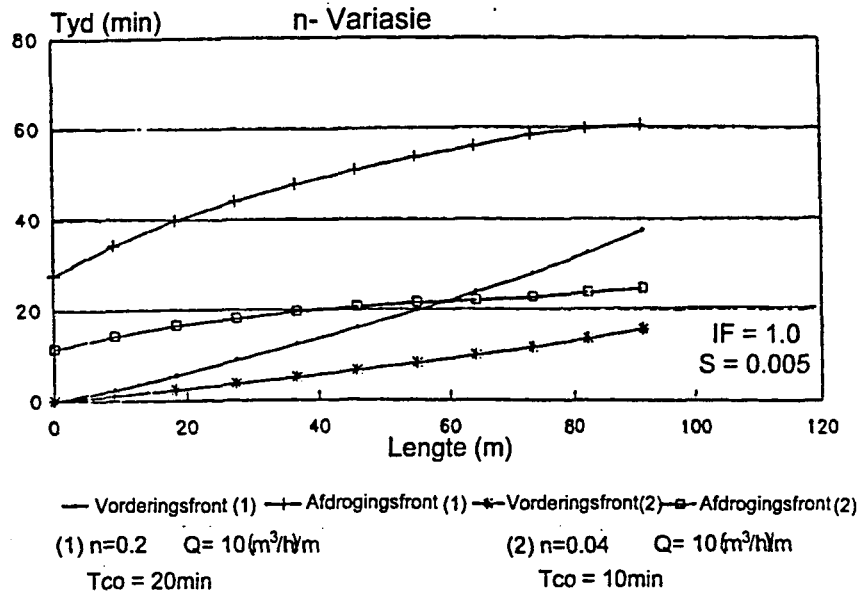
Figuur 3.8 toon duidelik dat die infiltrasie-eienskappe 'n groot invloed op watertoedienings kan hê. (By 'n verandering in die inname familie se waardes, naamlik vanaf 1,0 tot 2,0, verdubbel die toediening). Die afdrogingsfront se gradiënt is meer afgeplat by die hoër infiltrasietempo in vergelyking met die laer infiltrasietempo.



Figuur 3.8 Die invloed van infiltrasie-eienskappe op die afdrogingsfrontkrommes.

3.5.3 Die invloed van vloe weerstand

Figuur 3.9(a) toon die invloed van vloe weerstand op die vorderings- en afdrogingsfrontkrommes. Die C_u -waardes (verspreiding van water oor die volle lengte van die bedding) is nie wesenlik deur die verandering in die vloe weerstand beïnvloed nie.



Figuur 3.9(a) Die invloed van vloe weerstand op die afdrogingsfrontkrommes.

Figuur 3.9(a) toon hoedat die gradiënt van die vorderings- en afdrogingsfrontkrommes deur die vloe weerstand beïnvloed word.

Vir konstante stroomgroottes verdubbel die vorderings- en afdrogingstye wanneer die vloe weerstand vanaf 0,04 (kaal grond) tot 0,2 ('n grond met 'n digte kleingraanbedekking) toeneem. Gevolglik begin die afdrogingsfront veel later, en toon dit ook 'n ander gradiënt.

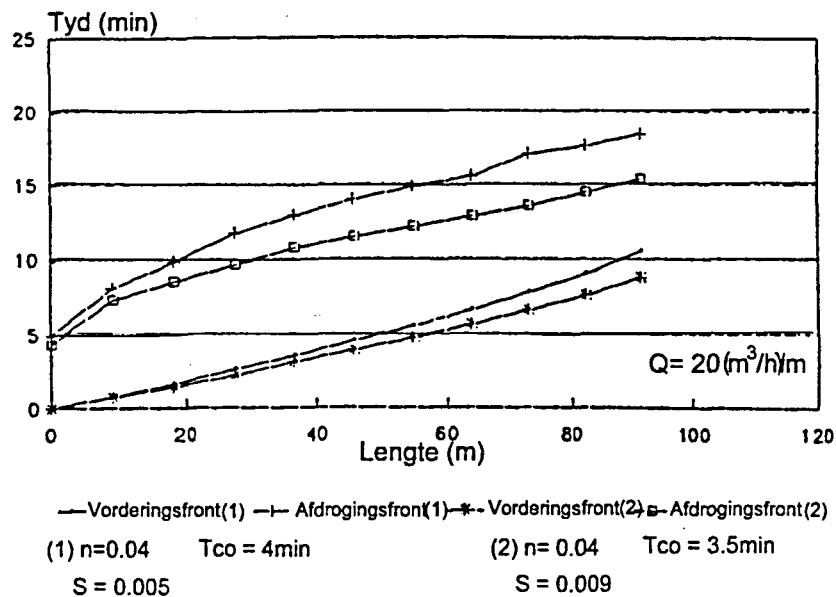
Strelkoff en Katapodes (1977) het gevind dat die waterverspreiding en dus haalbare besproeiingsdoeltreffendheid min deur bogenoemde veranderinge beïnvloed word. 'n Groter toediening vind egter by hoër vloe weerstande plaas.

In die praktyk kan hierdie eienskap benut word om groter toedienings te verseker namate die gewas groei en sy vloe weerstand verhoog.

Daar kan ook beter by die skeduleringsbehoefte van 'n gewas aangepas word indien die vloe weerstand kunsmatig gemanipuleer word by 'n vaste uitleg waarbinne sekere wisselbou-tegnieke toegepas word.

Hierdie beginsel word reeds deur die boere op die Vaalharts besproei-
ingsskema toegepas. Hulle plant byvoorbeeld hul koring dwars op die
helling om sodoende die vloeiweerstand kunsmatig te verhoog sodat 'n
verhoogde watertoediening verkry kan word.

3.5.4 Die invloed van helling

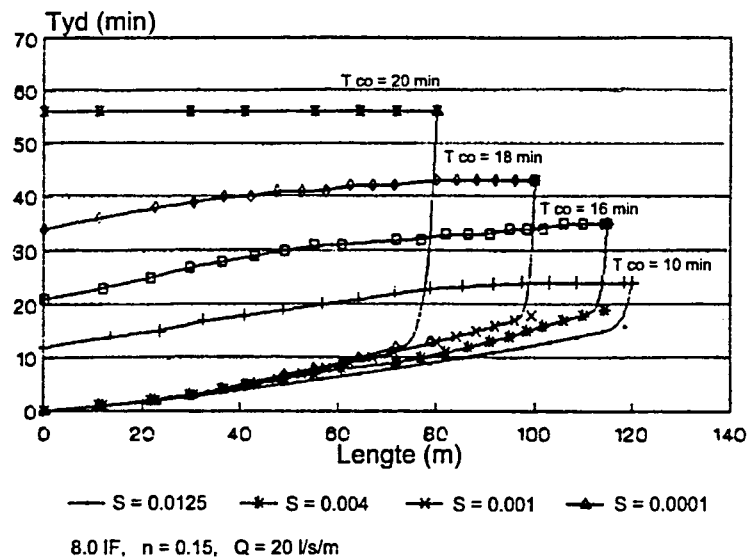


Figuur 3.9(b): Die invloed van helling op die vorderings- en afdrogingsfrontkrommes.

Die invloed van 'n verandering in helling [Figuur 3.9(b)] stem tot 'n groot mate ooreen met die invloed van verandering in vloeiweerstand [Figuur 3.9(a)]

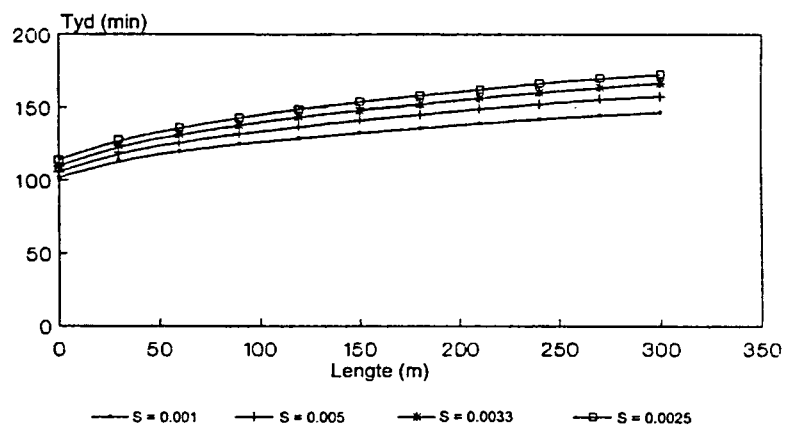
- * Beide die vorderings- en afdrogingskrommes word beïnvloed.
- * Indien die helling vanaf 0,005 na 0,009 verhoog, sal die water vinniger na die onderpunt van die bedding beweeg.
- * Die stroom sal gevolglik gouer afgesny word en die afdrogingsfront sal gouer begin. Hierdeur word die kontaktyd verkort, en gevolglik sal 'n laer toediening voorkom.
- * Die teenoorgestelde effek kan egter verkry word in die geval van plat- of waterpasbeddings. In sulke gevalle word die

afdrogingsfrontgradiënt baie klein. Let op die feitlik horisontale afdrogingsfrontkromme in Figuur 3.10(a) wat voorkom by 'n helling van $S=0.0001$, teenoor die res van die afdrogingsfrontkrommes in die grafiek.



Figuur 3.10(a)

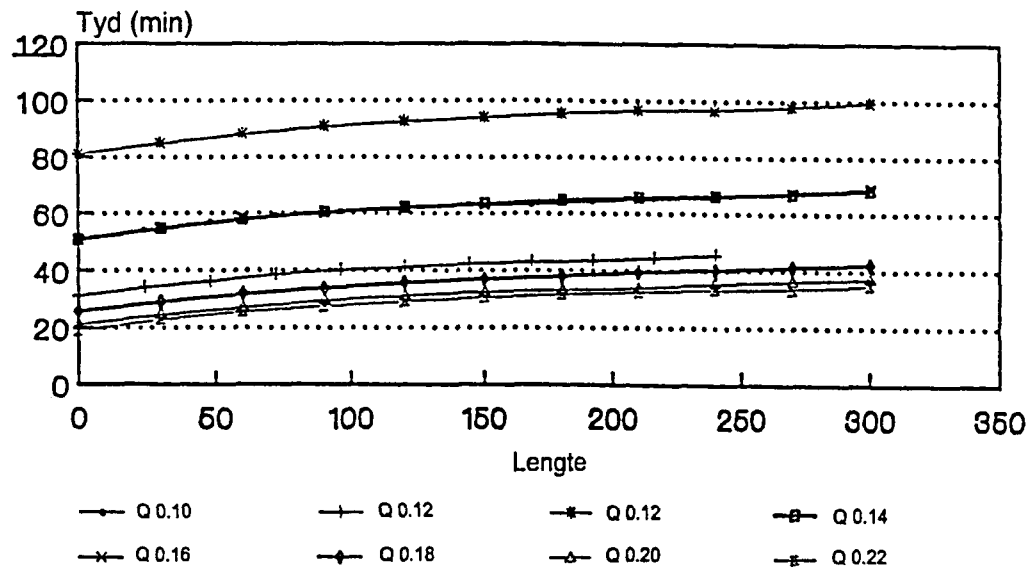
Die invloed van helling op afdroingskrommes van gronde met 'n ultra-hoë infiltrasie (Waargeneem in die huidige Waternavorsingskommissie-projek).



Figuur 3.10(b)

Die invloed van helling op die afdroingsfront-krommes
Manning $n = 0.15$

3.5.5 Die invloed van beddinglengte



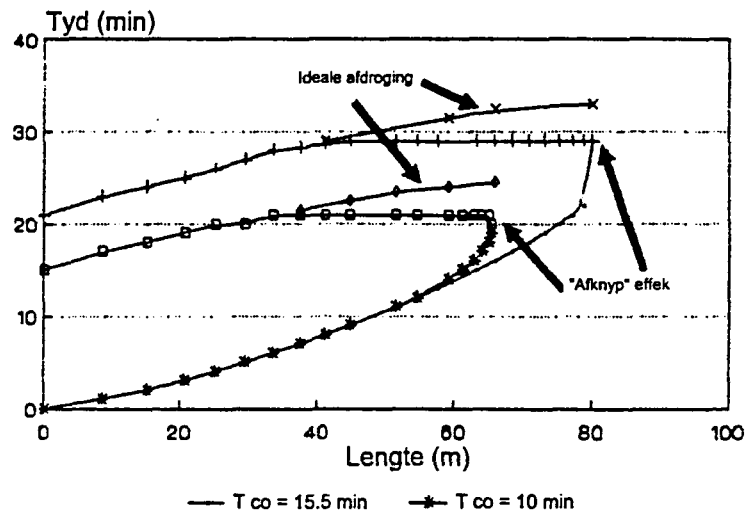
IF = 4 ; n = 0.04 ; S = 0.01

Figuur 3.11 Die invloed van beddinglengte op afdrogingsfronte by verskillende stroomgroottes.

Soos in Figuur 3.11 aangetoon, plat die gradiënt van die afdrogingsfront af namate beddinglengte toeneem.

3.5.6 Die invloed van afsnytyd

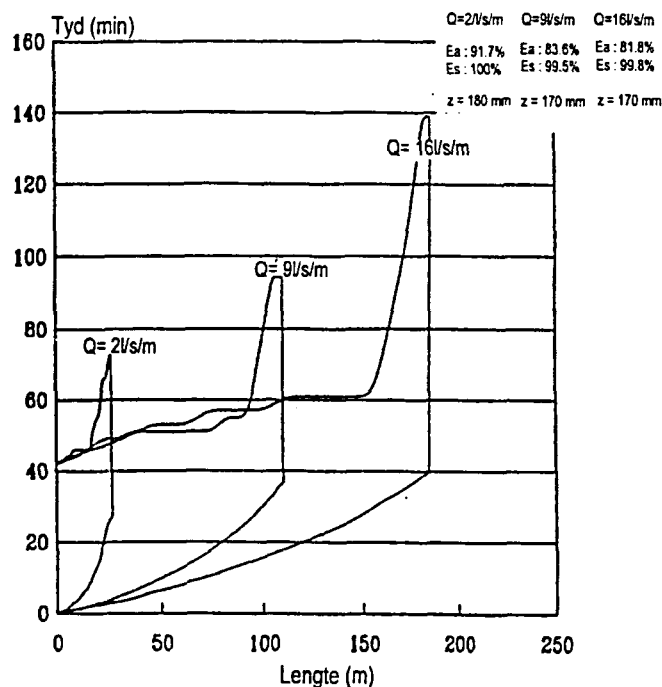
Een van die aannames van die afdrogingsfront-gradiënt-teorie (Kruger, 1986) is dat genoeg water op 'n bedding toegedien moet word om dit oor die volle lengte te benat. Figuur 3.12 toon hoedat 'n afsnytyd wat te kort gekies is, kan veroorsaak dat die afdrogingsfront "afknyp". Die afdrogings-front-eienskappe word gehandhaaf tot op die punt waar daar onvoldoende water is. Die infiltrasietempo oorskry dan die water se wegvloeiempo. Gevolglik word 'n min of meer horisontale of selfs negatiewe gradiënt van die afdrogingsfront aangetref.



Figuur 3.12 Die invloed van afsnytyd op die vorderings- en afdrogingsfrontkrommes .

3.5.7 Die invloed van geslote beddings

In Figuur 3.13 word die verwagte afdrogingsfront vir 'n bepaalde stroomgrootte en beddinglengte in 'n geslote bedding aangetoon.



Figuur 3.13 Die invloed van geslote beddings op die afdrogingsfront by verskillende stroomgroottes en beddinglengtes. IF = 8.0.

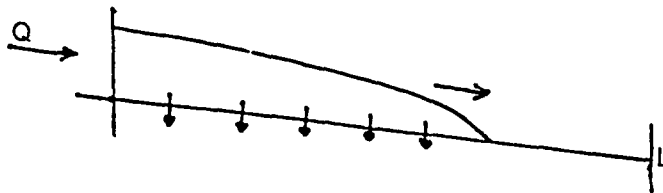
Sodra die geslote end van die bedding bereik word, vind opdamming plaas. Die afdrogingsfront vertoon 'n skerp opwaartse neiging weens die stadige infiltrasietempo van die opgedamde water (die wegvloeiterm in die volumebalans-vergelyking is dan gelyk aan nul).

3.6 WISKUNDIGE ONTLEDING VAN EIENSKAPPE VAN DIE AFDROGINGSFRONT

Tydens vloedbesproeiing op 'n grond waar *min of geen afloop toegelaat word nie*, kan die besproeiingsproses in drie fases ingedeel word, naamlik: (Vergelyk dit ook met die vier fases wat in **Volume 2**, Hoofstuk 2 bespreek word).

(1) Die Vorderingsfase:

Water vloei by die bopunt van die bedding in en 'n benattingsfront beweeg stadig in die bedding af.



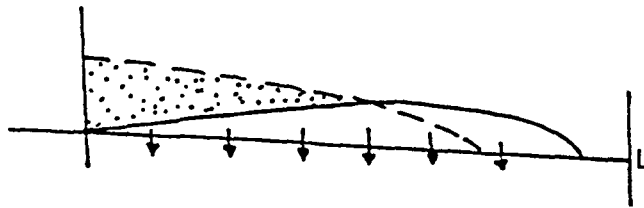
Figuur 3.14 Skematiese voorstelling van die beweging van water tydens die vorderingsfront.

(2) Die Wegdreiningsfase ("Depletion Phase")

Tussen vorderings- en afdrogingsfront kom 'n fase voor waar die helling van die water se oppervlak aan die bopunt van die bedding verander (afneem).

Gedurende die tydsverloop of vertraging wat voorkom vandat die watertoevoer afgesny is totdat die resessie nê begin (genoem

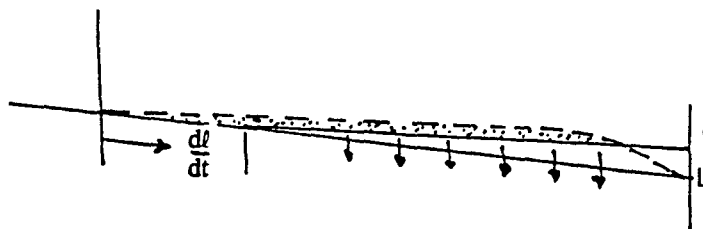
T_{Lag}) moet water in die gearseerde profiel deur infiltrasie wegdreineer en afloop soos in die onderstaande skets aangedui.



Figuur 3.15 Skematiese voorstelling van die beweging van water tydens die wegdreineringsfase.

(3) Die Resessiefase

Sodra die resessiefase begin, begin die waargenome afdrogingsfront beweeg, dit wil sê die bopunt van die bedding begin afdroog.

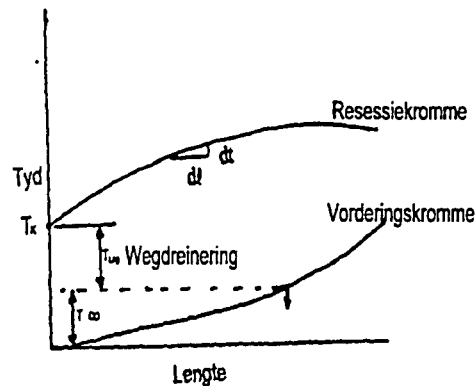


Figuur 3.16 Skematiese voorstelling van die beweging van water tydens die resessiefase

Onder Suid-Afrikaanse toestande word 'n dinamiese golfprofiel tydens die resessiefase verkry, soos hierbo aangetoon.

Die tempo waarteen die resessiefase plaasvind [dit wil sê die gradiënt van die afdrogingsfront ($d\ell/dt$)] word deur die gemiddelde infiltrasietempo op daardie stadium bepaal, asook deur die tempo waarteen water op die spesifieke stadium na die laerliggende gedeeltes van die bedding wegvloei.

Indien die voor- of beddinglengte teenoor tyd aangetoon word kan die drie fases opsommend soos volg grafies voorgestel word:



Figuur 3.17 Voorstelling van die gradiënt van die afdrogingsfront (dL/dt)

Vervolgens word die situasie tydens resessie of afdroging van nader beskou: Die volgende Saint Venant-vloeivergelykings geld: (Die afleiding word in **Volume 3**; Hoofstuk 2, getoon).

A. Massabehoud (kontinuiteitsvergelyking):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} + I_x = 0 \quad \text{----- [(i) 2.3.3.3 Volume 2]-----3.1}$$

B. Energiebehoud (bewegingsvergelyking):

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f + \frac{I_x V}{2gA} \quad \text{[(ii) 2.3.3.3. Volume 2]-----3.2}$$

Strelkoff en Katapodes (1977) toon deur middel van 'n orde-grootte-analise dat, wanneer die Froude (F) getal laer is as 0,3 (soos dit tipies voorkom tydens bestendige vloeitoestande), kanselleer die waarde van

die versnellingsterme in vergelyking 3.2 mekaar uit. Hul stel die sogenaamde “Zero Intertia” benadering voor waardeur vergelyking 3.2 soos volg vereenvoudig word:

C. Momentumlose (“Zero Intertia”) bewegingsvergelyking:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = S_o - S_f \text{ -----(Strelkoff en Katapodes, 1977)-----} \mathbf{3.3}$$

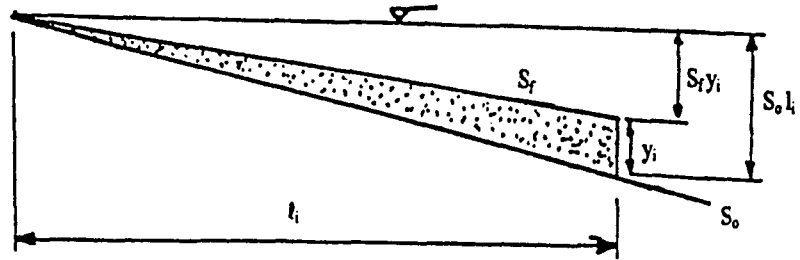
Soos in die literatuuroorsig (**Volume 2**; Hoofstuk 2) aangedui, het verskeie navorsers oor dekades heen gepoog om bogenoemde vloeivergelykings op te los met die doel om sodoende vorderings- en afdrogingsfrontkrommes daar te stel.

Aangesien hier gepoog word om die besproeiingsaksie deur die ontleding van afdrogingsfronteienskappe te optimeer is die volle oplossing van vorderings- en afdrogingskrommes dus nie relevant nie.

In hierdie geval word ‘n meer analitiese benadering vir die ontleding van afdrogingsfront-eienskappe gevolg.

In ooreenstemming met die benadering wat deur Strelkoff en Katapodes (1977), Strelkoff (1977), Essafi (1983) en andere gevolg is, word die dwarsnit van ‘n tipiese resessieprofiel tydens vloedbesproeiing ontleed.

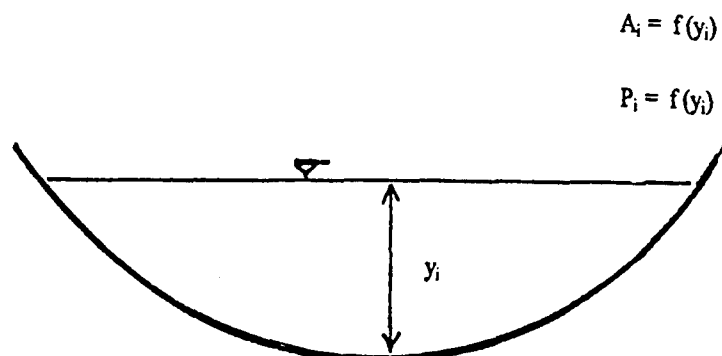
Die volgende figuur toon ‘n dwarsnit van die tipiese golfprofiel wat tydens die resessiefase van vloedbesproeiing voorkom:



Figuur 3.18 Voorstelling van die wiskundig ontleedbare resessiefase in vloedbesproeiing

Aannames:

- (i) Die oppervlakhelling van die driehoekige profiel kan aan die begin van die resessiefase deur 'n reguit lyn met helling S_r benader word. Voorts word aangeneem dat die driehoekige profiel van die oppervlak water tydens 'n groot gedeelte van die resessiefase, bestendig sal bly.
- (ii) Vir beddingbesproeiing word 'n konstante wydte aanvaar, en slegs 'n tweedimensionele situasie word dus beskou.
- (iii) Vir voortjiebesproeiing word aanvaar dat die profiel dwarsnit-beskrywing wiskundig in terme van vloeddiepte uitgedruk kan word. Hierdeur word weer eens 'n tweedimensionele benadering gevolg.



Figuur 3.19 Voorstelling van die profieleienskappe vir voortjiebesproeiing, in terme van vloeddiepte.

Die kontinuïteits- en bewegingsvergelykings kan dus tot die tweedimensionele vlak vereenvoudig word naamlik:

$$\frac{dQ}{dx} + \frac{dA}{dt} + I_x = 0 \quad \text{-----} 3.4$$

en

$$\frac{dy}{dx} = S_o - S_f \quad \text{-----} 3.5$$

Integreer vergelyking 3.4 tussen ℓ_0 en ℓ_1

$$\int_0^1 \left(\frac{dQ}{dx} + \frac{dA}{dt} \right) + I_x = 0 \quad \text{-----} 3.6$$

Daarom ook:

$$Q_{\text{uitvloe}} + \frac{dV}{dt} + q_{\text{infiltrasie}} = 0 \quad \text{-----} 3.7$$

(waar V = volume van driehoekprofiel).

of in woorde beskryf:

A	B	C
Verbyvloeiempo by ℓ_1	Volumeverandering van die driehoekige profiel (bogronds)	Infiltreerde volume water onder die driehoekige opper- vlakprofiel per eenheidtyd
	+	
		+
		= 0

Beskou weer die driehoekige profiel soos voorgestel in Figuur 3.18, dan volg die **Analise vir beddingbesproeiing** soos volg:

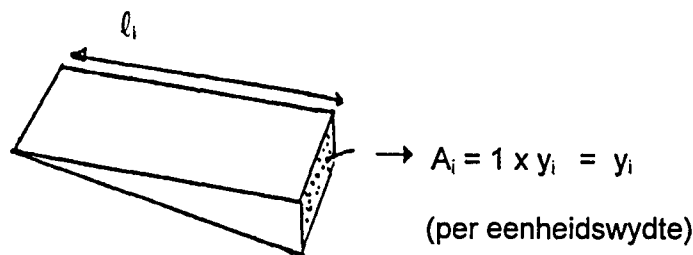
- Verbyvloei-vergelyking vir beddings (A van vergelyking 3.7)

Waarde van $Q_{uitvloei} = AR^{2/3} \frac{\sqrt{S_f}}{n}$ (Manning-tipe verband vir vloeiweerstand)

$$= y_i(l) y_i^{2/3} \frac{\sqrt{S_f}}{n}$$

$$= y_i^{5/3} \frac{\sqrt{S_f}}{n} \text{ -----3.8}$$

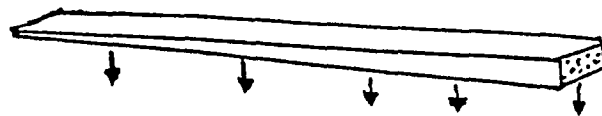
- Volumevergelyking vir beddings (B van vergelyking 3.7)



Figuur 3.20 Driedimensionele voorstelling van die volume water bo die grond.

$$\begin{aligned} \text{volume} &= \frac{1}{2} \ell_i A_i \\ &= \frac{1}{2} \ell_i y_i \text{ -----3.9} \end{aligned}$$

- Infiltrasie vergelyking vir beddings: (C van vergelyking 3.7)



Figuur 3.21 Driedimensionele voorstelling van die volume water bogronds en die infiltrasie wat plaasvind.

Waarde van $q_{inf} =$ gemiddelde Infiltrasietempo x oppervlak

$$= I_{res} \times \ell_i \times 1 \text{ (per eenheidswydte)}$$

$$= I_{res} \ell_i \text{ -----3.10}$$

Indien vergelyking 3.7 herrangskik word, is:

$$\frac{dV}{dt} = -q_{\text{infiltrasie}} - Q_{\text{uitvloei}} \text{-----} 3.11$$

Die waarde van die bopgrondse volume kan vanaf vergelyking 3.9 in vergelyking 3.11 vervang word:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d(1/2 \ell_i y_i)}{dt} = -q_{\text{inf}} - Q_{\text{uitvloei}} \text{-----} 3.12$$

vanuit vergelyking 3.5 kan afgelei word dat:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_i}{\ell_i} = S_o - S_f$$

[want: $y_i = \ell_i S_o - \ell_i S_f$
 $= \ell_i (S_o - S_f)$]

Stel : $S_o - S_f = S_y$

Dan is:

$$\frac{y_i}{\ell_i} = S_o - S_f = S_y$$

en: $y_i = S_y \ell_i$

Dus geld dat:

$$\frac{d(1/2 \ell_i S_y \ell_i)}{dt} = -q_{\text{inf}} - Q_{\text{uitvloei}}$$

$$\frac{d(1/2 \ell_i^2 S_y)}{dt} = -q_{\text{inf}} - Q_{\text{uitvloei}}$$

Differensieer die vergelyking:

$$\ell_i S_y \frac{d\ell}{dt} = -q_{\text{inf}} - Q_{\text{uitvloei}}$$

$$\frac{d\ell}{dt} / \ell_i = -\frac{q_{\text{inf}}}{\ell_i S_y} - \frac{Q_{\text{uitvloei}}}{\ell_i S_y} \text{-----} 3.13$$

Vervang q_{inf} en $Q_{uitvloei}$ uit vergelykings 3.8 en 3.10 in vergelyking 3.13

$$\frac{d\ell}{dt} /_i = - \frac{I_{res} \ell_i}{\ell_i S_y} - \frac{y_i^{5/3}}{\ell_i S_y} \frac{\sqrt{S_f}}{n}$$

maar:

$$S_y = \frac{y_i}{\ell_i}$$

dus:

$$\frac{d\ell}{dt} = - \frac{I_{res} \ell_i}{y_i} - y_i^{2/3} \frac{\sqrt{S_f}}{n} \quad \text{-----3.14}$$

Anders gestel:

$$\frac{d\ell}{dt} = - \frac{q_{inf}}{y_i} - y_i^{2/3} \sqrt{\frac{S_f}{n}}$$

Beskou weer die driehoekige profiel soos voorgestel in Figuur 3.18, dan volg die **Analise vir voortjies** as volg:

- Verbyvloei-vergelyking vir voortjies (A van vergelyking 3.7)

$$\text{Waarde van } Q_{uitvloei} = \frac{AR^{2/3} \sqrt{S_f}}{n}$$

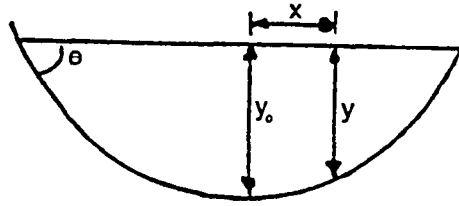
$$= \frac{C_5 y_i^3 \sqrt{S_f}}{n} \quad \text{-----3.15}$$

- Volumevergelyking vir voortjies (B van vergelyking 3.7)

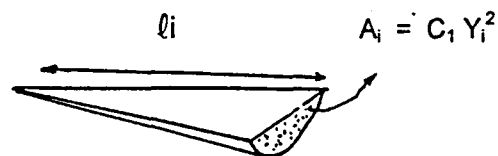
'n Stabiele voorvorm kan beskryf word deur die volgende formule vir 'n bepaalde grondtipe/voortjietipe:

$$A_i = \frac{2,04 y_i^2}{\tan \theta} = C_1 y_i^2$$

(kyk Figure 3.22 en 3.23)



Figuur 3.22 'n Voorstelling van die wiskundigontleedbare snitoppervlak vir voortjiebesproeiing.



Figuur 3.23 'n Drie dimensionele voorstelling van die volume water bo die grondoppervlak by voortjiebesproeiing.

$$\text{Volume} = C_2 \ell_i y_i^2 \text{ -----3.16}$$

(Waar C_1 tot C_4 afhanklik is van die geometrie van die voortjie).

- Infiltrasie vergelyking vir voortjies: (C van vergelyking 3.7)



Figuur 3.24 'n Drie dimensionele voorstelling van die volume water bogronds en die infiltrasie wat plaasvind in die geval van voortjiebesproeiing.

Waarde van $q_{inf} = I_{res} \ell_i \times P_i$ (met P_i die gemiddelde benatte omtrek)

waar $P_i = C_3 Y_i^{c_4}$

$$\text{Daarom } q_{inf} = I_{res} C_3 \ell_i y_i^{c_4} \text{ -----3.17}$$

Vanuit vergelyking 3.12 kan afgelei word dat:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d(C_2 \ell_i y_i^2)}{dt} = -q_{inf} - Q_{uitvloei} \quad \text{-----3.18}$$

weer is:

$$Y_i = S_y \ell_i = \ell_i (S_o - S_f) \quad (\text{sien beredenering 3.10})$$

dus geld dat:

$$\frac{d}{dt} (C_2 \ell_i^3 S_y^2) = -q_{inf} - Q_{uitvloei}$$

Differensieer hierdie vergelyking:

$$3C_2 \ell_i^2 S_y^2 \frac{d\ell}{dt} = -q_{inf} - Q_{uitvloei}$$

$$\frac{d\ell}{dt} /_i = \frac{q_{inf}}{3 C_2 (\ell_i^2 y_i^2)} - \frac{Q_{uitvloei}}{3 C_2 \ell_i^2 S_y^2} \quad \text{-----3.19}$$

Vervang q_{inf} en $Q_{uitvloei}$ uit vergelykings 3.15 en 3.17 in vergelyking 3.19

$$\frac{d\ell}{dt} /_i = - \frac{C_A I_{res} \ell_i}{y_i^{1,626}} - C_B Y_i \frac{\sqrt{S_f}}{n} \quad \text{-----3.20}$$

met C_A en C_B as veranderlikes vir spesifieke geometriese vorms van voortjies.

Vergelykings 3.14 en 3.20 is algemene vergelykings waarmee die tempo van die afdrogingsfronte vir besproeiing van beddings en voortjies bepaal kan word.

Vergelyking 3.20 is gebruik in die model vir die ontwerp van voortjiebesproeiing (Kruger, 1986).

3.7 TOEPASSING VAN AFDROGINGSFRONTEIENSKAPPE IN DIE OPTIMALE ONTWERP VAN BEDDINGS EN VOORTJIES TEEN VERSKILLENDHEDE

3.7.1 Ontwerpoogmerke

In Volume 2 (paragraaf 2.3.3.1) word die ontwerpoogmerke vir 'n vloed-besproeiingsstelsel bespreek. Dit word vervolgens kortliks opgesom:

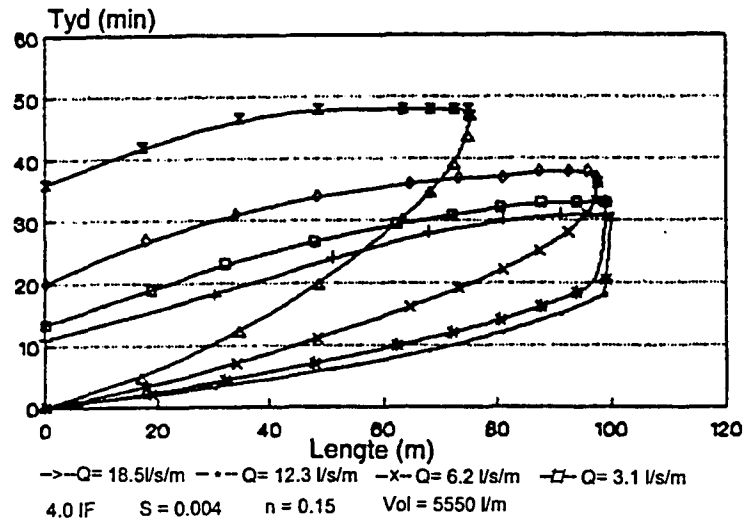
- Toediening van genoeg besproeiingswater om die wortelsone oor die hele bedding tot 'n aanvaarde vlak te benat.
- Die verlangde toediening moet so doeltreffend as moontlik geskied.
- Die bruto aanvulling moet so egalig as moontlik in die wortelsone, oor die totale lengte van die bedding, versprei word.

3.7.2 Bereiking van die ontwerpoogmerke tydens besproeiing

'n Groot aantal metings (vergelyk paragraaf 3.3 en Figuur 3.2) asook etlike duisende simulerings het aangetoon dat optimale ontwerpe onder Suid-Afrikaanse toestande verkry word wanneer:

- * Vorderings- en afdrogingsfrontkrommes parallel neig en daar dus eweredige kontaktyd oor die hele bedding voorkom
- * Die afdrogingsfront begin net voor, of wanneer, die vorderingsfront die eindpunt van die bedding of voortjie bereik.

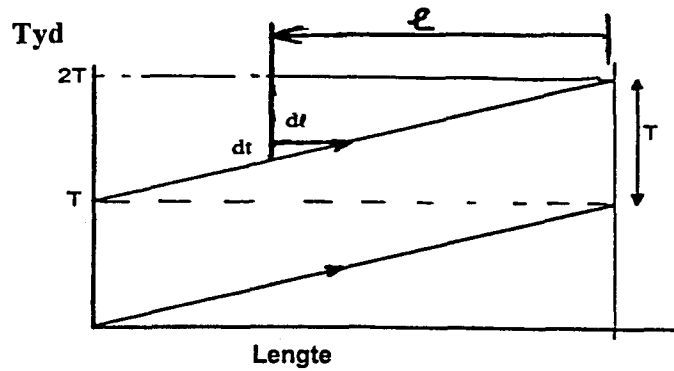
Bogenoemde stelling kan gedemonstreer word deur vordering en afdrogingskrommes tydens 'n tipiese besproeiing te ontleed. Die stroom-grootte en afsnytyd word telkens aangepas sodat 'n konstante volume water op 'n bedding ingelaat word. 'n Simulasieopie met Sirmod (Walker, 1989) bereken telkens die vordering en afdroging, asook die doeltreffendhede.



Figuur 3.25 Grafiese voorstelling van sommige van die vordering- en afdrogingskrommes van die data in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Besproeiingsdoeltreffendhede van data waarvan sommige getoon word in Figuur 3.14

Volume water toegedien per bedding : 5550 l/m wydte						
Stroomgrootte ((l/s)/m)	18,5	12,33	9,25	6,17	4,25	3,08
Afsnytyd (minute)	5	7,5	10	15	20	30
Toedieningsdoeltreffendheid (%)	82,6	84,5	87,0	79,3	71,8	63,0
Storingsdoeltreffendheid (%)	91,7	96,2	96,9	88	79	70
Verspreidingsdoeltreffendheid (%)	86	94,1	85,9	72,9	62,2	36,4



Figuur 3.26 'n Grafiese voorstelling van die afdrogings-frontgradient ($d\ell/dt$) waar die vordering- en afdrogingsfronte teen dieselfde tempo beweeg (met ander woorde hulle is parallel - ideale ontwerpogmerk).

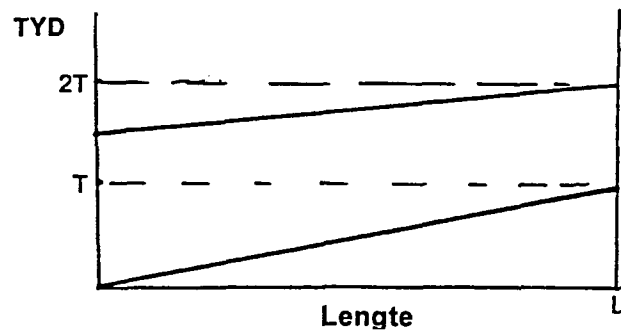
Die tempo van afdroging word dan soos volg voorgestel:

$$\frac{d\ell}{dt} /_{\text{gemid}} = - \frac{L}{T}$$

(ℓ word kleiner in die rigting waarin L groter word).

(Die negatiewe teken dui dus slegs op die afname in volume van die driehoekige waterprofiel).

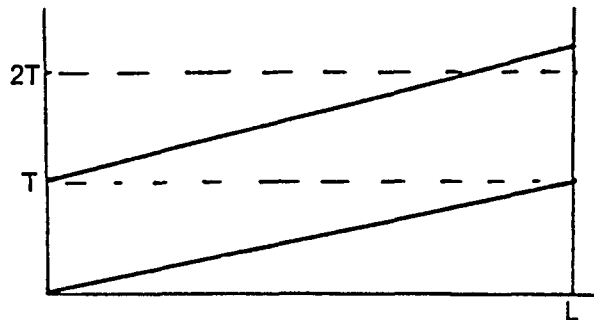
Dit is egter wel moontlik om steeds goeie besproeiingsresultate te kry wanneer matig van bogenoemde ontwerpogmerke afgewyk word. Die afwykings kan soos volg grafies voorgestel word (Figure 3.27 en 3.28):



Figuur 3.27 Grafiese voorstelling van die afdrogings-frontgradient ($d\ell/dt$) waar die afdrogingsfront vinniger as die vorderingsfront beweeg.

Die tempo van afdroging word dan soos volg voorgestel:

$$\frac{d\ell}{dt} /_{\text{gemid}} = - \frac{L}{a_3 T} \quad \text{waar } a_3 < 1$$



Figuur 3.28 Grafiese voorstelling van die afdrogingsfrontgradient ($d\ell/dt$) waar die afdrogingsfront stadiger as die vorderingsfront beweeg.

Die tempo van afdroging word dan soos volg voorgestel:

$$\frac{d\ell}{dt} /_{\text{gemid}} = - \frac{L}{a_3 T} \quad \text{waar } a_3 > 1$$

3.7.3 Berekening van die afdrogingsfront-eienskappe

Ten einde duplisering te vermy, word hierdie punt in Hoofstuk 5 behandel. Die afdrogingsfronteienskappe tesame met sensitiwiteitskriteria is in 'n model ontwikkel.

HOOFSTUK 4

RESULTATE VIR SENSIWITEITSKRITERIA BETROKKE IN OPTIMALE ONTWERP

4.1 INLEIDING

Waarnemings wat in die praktyk tydens die OVH 77-projek op Vaalharts uitgevoer is, het die belangrikheid van die afsnytyd tydens vloedbesproeiing beklemtoon.

Die algemene praktyk wat op Vaalharts gevolg word, kom daarop neer dat die operateur die watertoevoer afsny sodra die vorderingsfront by 'n bepaalde punt in die bedding/voortjie verby beweeg het. Nadat slegs enkele beddings natgelei is, is die operateur in staat om daardie afsnypunt te bepaal. Die res van die besproeiingsperseel word daarna op dieselfde wyse natgelei. Die afsnypunt wissel gewoonlik van besproeiing tot besproeiing namate omstandighede verander.

Waarnemings langs die Oranjerivier het egter aan die lig gebring dat daar nie 'n groot sensitiwiteit ten opsigte van die afsnytyd op lang beddings onder sekere toestande in daardie omgewing voorkom nie. Afloop van oortollige besproeiingswater kom daar baie selde voor, en word nie noemenswaardig deur die stadium wanneer die operateur die leestroom afsny, beïnvloed nie. In die praktyk word die water afgesny wanneer die vorderingsfront tot byna aan die einde van die bedding gevorder het.

Waarnemings het getoon dat die operateur, met dieselfde stroomgrootte en met geen afloop van oortollige besproeiingswater nie, op sommige beddings bykans dubbel die hoeveelheid water toedien as op ander.

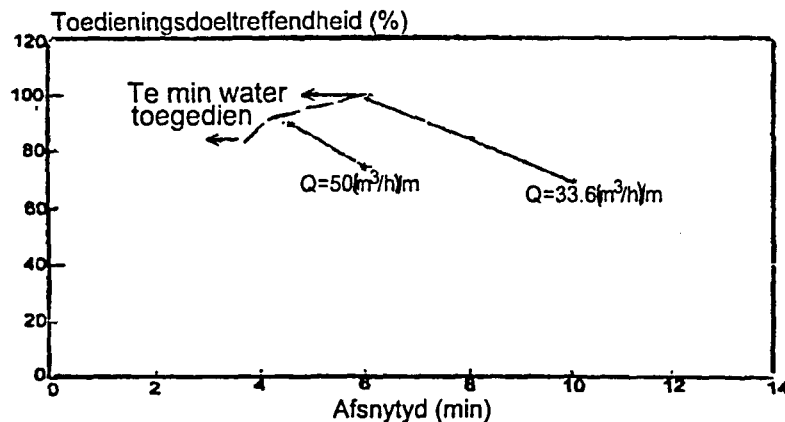
Uit bogenoemde twee uiteenlopende waarnemings ontstaan die volgende vrae, naamlik:

- * Waarom is bestuur by sekere besproeiingsstelsels meer krities as by ander?
- * Watter invloed het bestuur op die ontwerp en op die doeltreffendheid van so 'n besproeiingsstelsel?

4.2 BESTUURSENSITIWITEIT

Bogenoemde vrae is in 1991 deur middel van 'n hidrodinamiese simuleringmodel ondersoek, omdat daar op daardie stadium nog 'n tekort aan waarnemings en resultate uit die praktyk ondervind is.

4.2.1 Sensitiwiteit vir die volumebalans



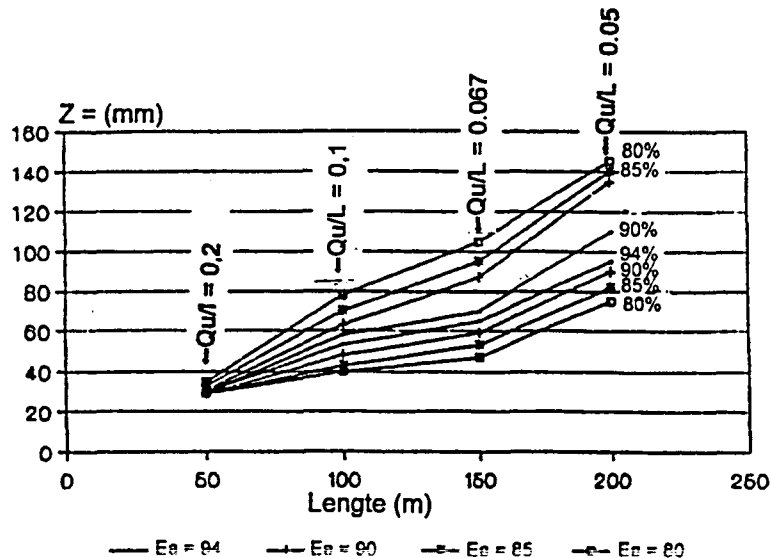
Figuur 4.1 Bestuursensitiwiteit aan die hand van die volumebalans-beginsel

Figuur 4.1 toon 'n tipiese ontleding van afsnytyd teenoor toedieningsdoeltreffendheid by verskillende stroomgroottes. Soos verwag, toon die doeltreffendheid 'n groter sensitiwiteit vir nie-ideale afsnytye, veral by groter stroomgroottes. 'n Afsnyfout van 1 minuut sal byvoorbeeld 'n groter afname in doeltreffendheid toon by 'n stroomgrootte van $50 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ as by 'n

stroomgrootte van $33,6 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$. Hierdie beginsel kan aan die hand van die volumebalans-beginsel verklaar word, naamlik

$$\text{Stroomgrootte (Q)} = \frac{\text{volume}}{\text{tyd}}$$

4.2.2 Sensitiwiteit vir beddinglengtes en toedienings

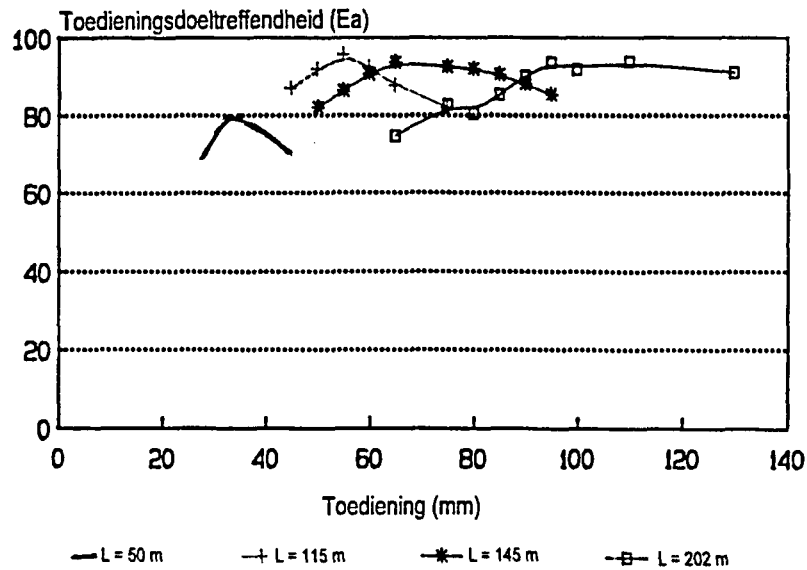


Figuur 4.2(a) Toedienings teenoor beddinglengtes met gepaardgaande toedieningsdoeltreffendhede

Figuur 4.2(a) toon dat 'n groot aantal toedienings met relatiewe hoë doeltreffendhede behaal kan word wanneer 'n konstante stroomgrootte met wisselende afsnytye gebruik word. Daar is egter vir elke lengte (L) 'n optimale toediening waar die hoogste doeltreffendheid bereik word. So byvoorbeeld sal 'n beddinglengte van 50m met 'n toediening van tussen 30 en 37mm 'n 80% toedieningsdoeltreffendheid hê. Net so sal 'n beddinglengte van 200m met 'n toediening van 75 tot 145mm 'n toedieningsdoeltreffendheid van 80% hê. In die praktyk is die implikasie dat die boer wat 'n bedding van 50m het, 'n baie beperkte vermoë het om die toediening aan te pas, terwyl die boer met 'n bedding van 200m 'n groot variasie in toedienings kan akkommodeer.

Die korter bedding het 'n hoë Q/L - verhouding ($Q/L = 0,2$) en dus kom 'n hoë netto vloei-energie in die sisteem voor. Die besproeiingsdoeltreffendheid

daal baie vinnig indien van die optimale toediening afgewyk word.



Figuur 4.2(b) Sensitiwiteit van toedieningsdoeltreffendheid vir verskillende beddingslengtes, Q/L-waardes en toedienings-tempo's.

Die langer bedding met 'n lae Q/L-verhouding ($Q/L = 0,05$) kan uitstekend werk om 'n skeduleerbare besproeiingstelsel te verkry. Sonder dat Q verstel word kan, deur slegs afsnytyd te beheer, verskillende toedienings teen 'n hoë doeltreffendheid verkry word. Die nadeel van hierdie metode is egter dat die netto vloei-energie naby die eindpunt van die bedding so laag kan raak dat 'n tydsbestuurstelsel vereis word.

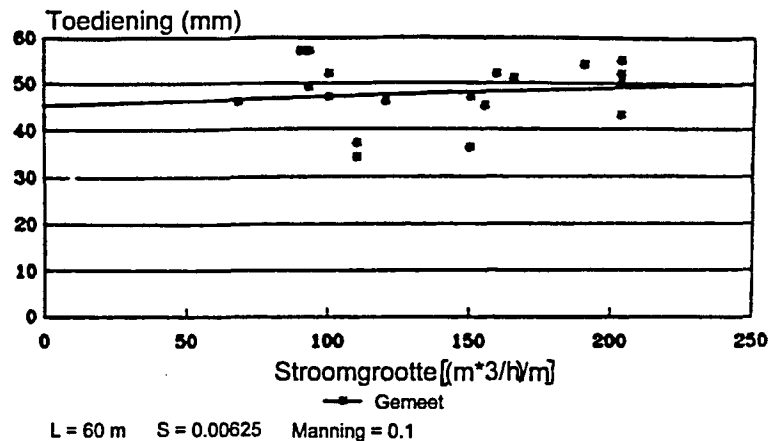
4.2.3 Sensitiwiteit vir stroomgroottes

Die optimale besproeiingsontwerp behoort 'n optimale netto vloei-energie in die sisteem te weerspieël sodat die stelsel by die bestuursnorme aangepas is. Sodoende word bestuursensitiwiteit aan stroomgroottes gekoppel.

In Vaalhartsprojek OVH 77 (Du Rand, *et al.*, 1985) is byvoorbeeld waargeneem dat die besproeiing op perseel 6A4 besonder doeltreffend was. Die stelsel was egter nie sensitief vir variasies in die stroomgrootte nie.

Stroomgroottevariasies tussen 68 (m³/h)/m en 203 (m³/h)/m is waargeneem by toedienings wat tussen 36 en 57 mm gewissel het. Toedienings was meestal tussen 45 en 50 mm.

Hierdie resultate word in Figuur 4.3 getoon.

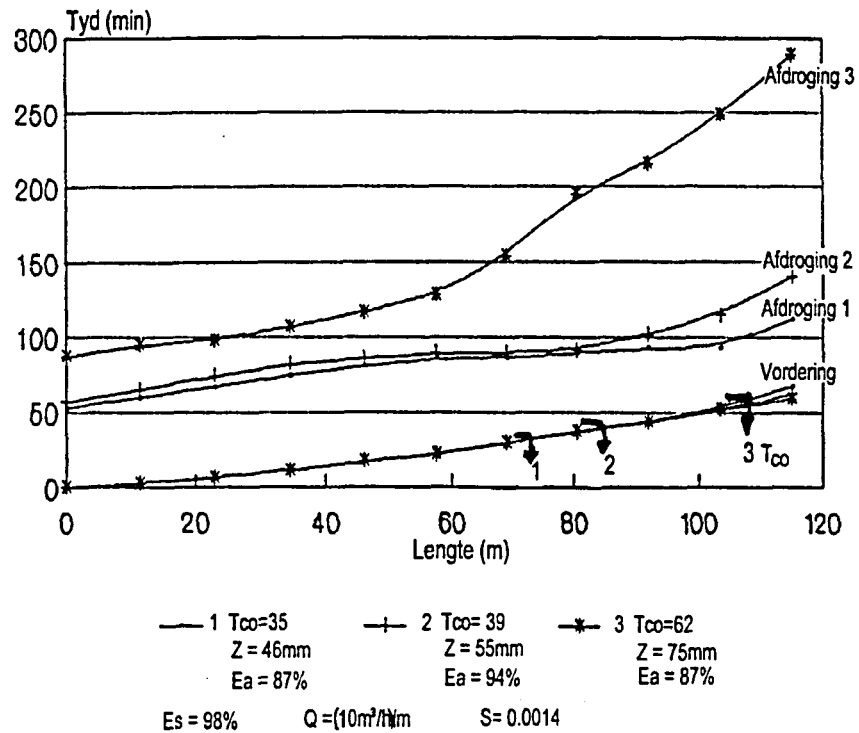


Figuur 4.3 Gemete data vir stroomgrootte teenoor toediening. (Perseel 6A4, Vaalharts; koring).

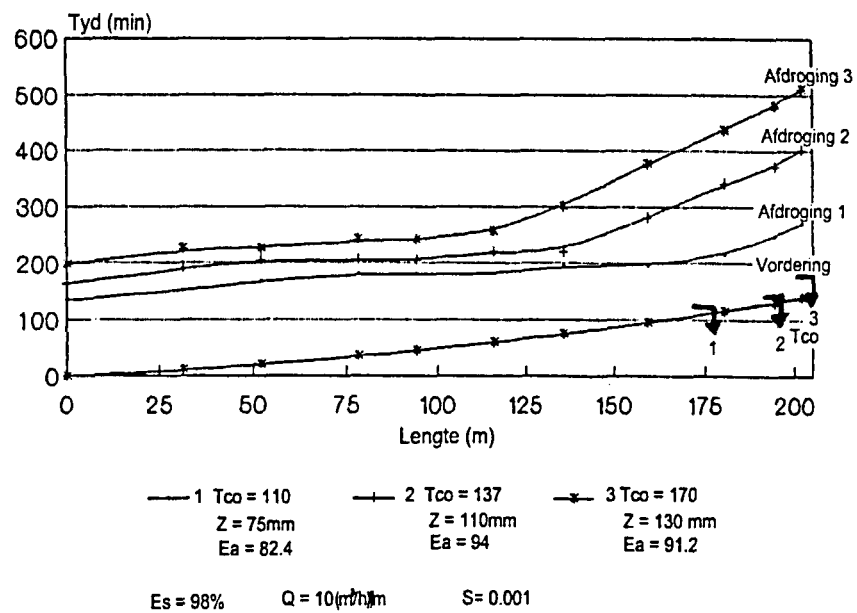
In hierdie geval word die energiebalans in die totale besproeiingsstelsel waarskynlik nie veel deur die verhoogde stroomgrootte (met verkorte afsnytye) beïnvloed nie. Verhoogde energie-insette (byvoorbeeld stroomgrootte) word waarskynlik deur verhoogde energieverliese (toenames in vloe weerstand en dinamiese infiltrasie) geneutraliseer. Gevolglik is die netto vloei-energie in die stelsel, nie sensitief vir die orde grootte van die variasie in stroomgrootte nie.

4.2.4 Sensitiwiteit vir wateraanvoerbestuur (die afsnytydsein).

Soos reeds genoem, blyk dit uit waarnemings in die praktyk dat die boere by Vaalharts eerder korter beddings gebruik (derhalwe groot Q/L -verhoudings, dus hoë vloei-energie). Dit is dus nie vir daardie boere moontlik om toedienings veel aan te pas nie. Ten spyte daarvan is daar egter gevind dat die beddingbesproeiing te Vaalharts oor die algemeen baie effektief is. Die rede hiervoor word in figure 4.4 en 4.5 verklaar.



Figuur 4.4 Toedienings op beddings met relatief hoë vloei-energie



Figuur 4.5 Toedienings op beddings met relatief lae vloei-energie

In die geval van die korter beddings (Figuur 4.4) is die stroomgrootte/lengte- verhouding (Q/L-verhouding), heelwat groter as by die langer beddings (Figuur 4.5). Dit is gevolglik vir die operateur moontlik om die stroom in die geval van die korter beddings op 'n afstand-sensitiewe punt af te sny (met ander woorde, daar is nog baie energie vir die voortbeweeg van die vorderingsfront in die sisteem beskikbaar wanneer die afsny van water plaasvind. Die vorderingsfront beweeg dus nog relatief vinnig wanneer die stroom afgesny word). In die geval van die langer beddings (Figuur 4.5) is daar 'n kleiner Q/L-verhouding en het die vroeë of latere afsnytyd nie maklik waarneembare gevolge nie. Die water word dus op 'n onsensitiewe afstand afgesny.

4.2.5 Sensitiwiteit vir vloei-energievariasies

Die term vloei-energie is gedefinieer na aanleiding van die boerebeskrywing, naamlik dat 'n bedding "vinnig" of "stadig" natlei. Die vloei-energie begrip word in **Volume 2**, (paragraaf 7.5.2.3) verduidelik.

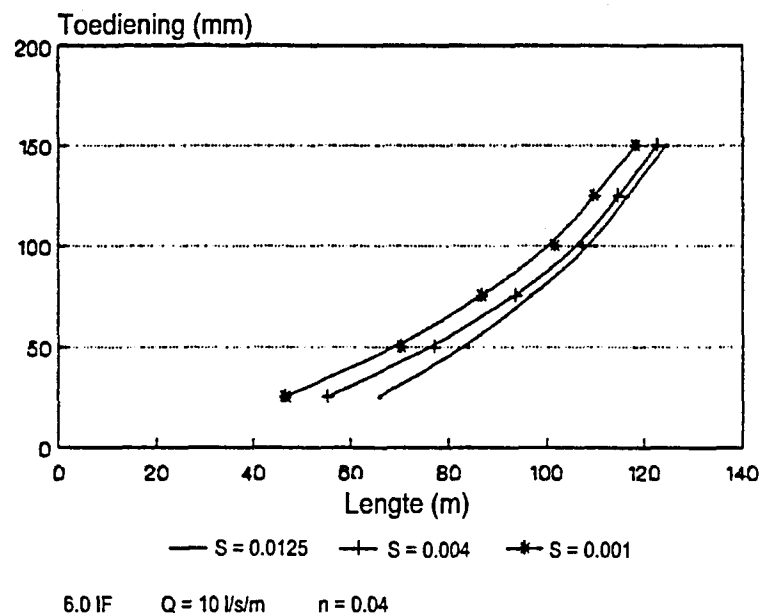
In die voorafgaande bespreking is stroomgrootte en die Q/L-verhouding telkens met bestuursensitiwiteit in verband gebring. Die tempo waarteen water oor 'n bepaalde beddinglengte beweeg, gee dus 'n aanduiding van die netto energie wat beskikbaar is om die water te laat vloei.

Die netto vloei-energie in 'n vloedbesproeiingstelsel is tans nog nie analities bepaalbaar nie, en gevolglik is die Sirmo-simuleringsmodel van Walker (1989) gebruik om die invloed van die netto vloei-energie te ondersoek.

In Figuur 4.6 word die invloed van netto vloei-energie op 'n grond met 'n ultrahoë infiltrasietempo, as maksimum vorderingsfrontafstande, getoon. 'n Stroomgrootte van 10 (l/s)/m is deurgaans in die simulerings gebruik. Die vereiste kontaktyd om 'n bepaalde toediening teen 'n 70% doeltreffendheid te verseker, is telkens gebruik om die afsnytyd te bepaal. Figuur 4.6 toon die maksimale vorderingsafstande wat met 'n 10 (l/s)/m stroomgrootte teen die berekende afsnytye (vir bepaalde

toedienings) vir hellings van $S=0,0125$, $S=0,004$ en $S=0,001$ bereik kan word.

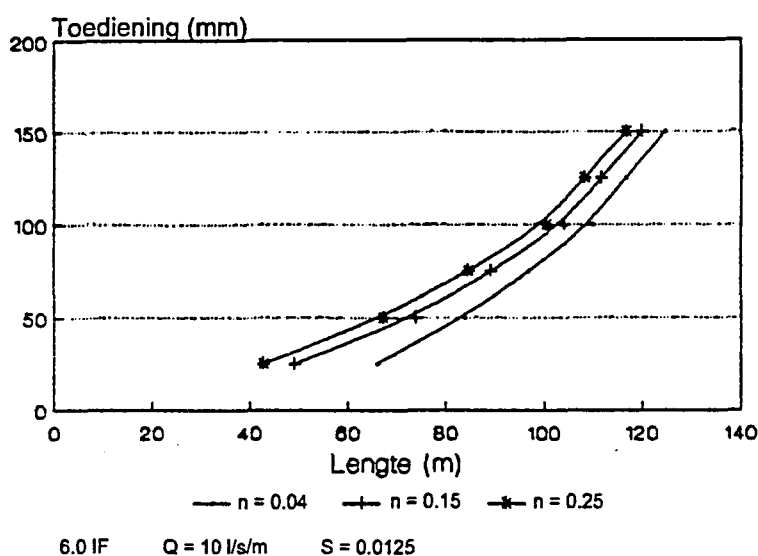
Dit is duidelik dat baie klein toedienings nie vir lang beddings prakties kan wees nie, omdat die netto vloei-energie in die sisteem te klein is. Vir 'n helling van $S=0,0125$ op 'n kaal grond ($n=0,04$), sal 'n toediening van 25mm op 'n bedding van langer as 63m (met $Q=10$ (l/s)/m) nie haalbaar wees nie. Vir groter toedienings, byvoorbeeld 100mm, kan beddinglengtes tot 109m wel met 'n stroomgrootte van 10 (l/s)/m besproei word. Dit is duidelik dat die netto vloei-energie afneem met 'n afname in helling ($S=0,0125$ tot $S=0,001$).



Figuur 4.6 Die invloed van die netto vloei-energie op maksimum vorderingsfrontafstande by verskillende hellings, soos bepaal op gronde met 'n ultrahoë infiltrasietempo.

Netso kan die invloed van vloeiweerstand op die netto vloei-energie deur maksimum vorderingsfrontafstande aangetoon word. (Figuur 4.7). Hier word die invloed van die vloeiweerstand op die netto vloei-energie vir gronde met 'n ultrahoë infiltrasietempo by 'n helling van $S=0,0125$

aangedui. Die afname in netto vloei-energie is duidelik waarneembaar indien 'n toename in die vloeiweerstand vanaf $n=0,04$ tot $n=0,25$ beskou word. Die maksimum vorderingsafstande is 'n maatstaf van die beskikbare netto vloei-energie.



Figuur 4.7 Die invloed van netto vloei-energie soos aangetoon deur maksimum vorderingsfrontafstande vir 'n stroomgrootte van 10 (l/s)/m by verskillende vloeiweerstande.

4.3 DIE INVLOED VAN FAKTORE BETROKKE BY VLOEDBESPROEIING OP DIE BESTUURSENSITIWITEITSKRITERIA

4.3.1 Die effek van stroomgrootte

Hoe groter die netto vloei-energie, en derhalwe ook die Q/L -verhouding, hoe meer sensitief raak die stelsel vir enige afwyking vanaf die ideale kombinasie van faktore.

4.3.2 Die effek van infiltrasie

Hoe hoër die infiltrasietempo van grond, hoe laer is die prakties-bereikbare netto vloei-energie in die sisteem. Aangesien die infiltrasie

hoog is, is daar min beskikbare energie vir die wegvloei van water. Dit is gevolglik moeilik om vorderingsfronte vinnig te laat vorder. In die praktyk het gronde met 'n ultrahoë infiltrasietempo 'n tydsbestuurstelsel nodig, terwyl gronde met lae infiltrasietempo's baie sensitief is vir afstand-afsnijbestuursontwerpe.

4.3.3 Die effek van vloeiweerstand

Vloeiweerstand het 'n direkte invloed op die tempo van die vorderingsfront as gevolg van die invloed daarvan op die netto vloei-energie (Figuur 4.7). 'n Besproeiingstelsel wat vir 'n aantal verskillende gewasse in 'n wisselboupraktyk ontwerp word, moet voorsiening maak vir effektiewe afsnytydbestuur. Effektiewe afsnytydbestuur moet volgens sensitiwiteit ontleed word (verwys paragraaf 4.4).

4.3.4 Die effek van helling

'n Groter helling verhoog die netto vloei-energie in die sisteem. Hoe groter die helling, hoe meer sensitief raak die stelsel vir afstand-afsnijbestuur.

4.3.5 Die effek van beddinglengte

Hoe langer die beddings, hoe laer sal die realiseerbare netto vloei-energie wees (weens die beperking wat die risiko van erosie op stroomgrootte, en derhalwe ook op Q/L-verhoudings het). Gronde met 'n ultrahoë infiltrasietempo sal dus slegs by kort beddinglengtes bestuursensitief wees. Die beperking wat beddinglengtes op gronde met 'n ultrahoë-infiltrasietempo het, word ook in Figuur 4.6 aangetoon.

4.3.6 Die effek van afsnytyd

Afsnytyd, en daarmee saam ook die stroomgrootte, beheer die vloeiempo en volume van die water wat op 'n bedding toegedien word. By hoë netto vloei-energie-waardes sal die afsnytyd dus relatief kort in

verhouding tot die totale kontaktyd moet wees. Hierdie relatiewe kort afsnytye vereis dus 'n bestuurstyl wat vir afstand-afsnij sensitief is.

4.3.7 Die effek van geslote beddings

Geslote beddings met 'n helling toon 'n sensitiwiteit vir beide die volume water wat toegedien word, asook die tempo waarteen die water toegedien word. Hoe hoër die netto vloei-energie, hoe groter raak die bestuursensitiwiteit. Geslote beddings met 'n helling, wat by 'n hoë netto vloei-energie besproei word, wys foutiewe afsnytyd-bestuur onmiddellik uit. Die operateur kan hierop reageer deur die stroomgrootte en afsnytyd aan te pas. Sulke stelsels kan, soos op Vaalharts die geval is, teen 'n hoë doeltreffendheid deur die operateur sonder gesofistikeerde apparaat en toesig bedryf word.

4.4 WISKUNDIGE ONTLEDING VAN SENSITIWITEITSKRITERIA

Sensitiwiteitskriteria kan op twee wyses ontleed word

- * Kwantifisering van die invloed van foutiewe bestuur.
- * Die stel van 'n voorafgekoese foutlimiet.

4.4.1 Die invloed van foutiewe bestuur

Die besproeiingsfases kan gekwantifiseer word deur 'n hidrodinamiese model te gebruik. Vorderings- en afdrogingsfronte word eers bepaal. Die netto toediening, afloop en doeltreffendheid word daarna bepaal. Deur bogenoemde bepalinge te doen vir 'n reeks "korrekte" en "foutiewe" bestuurspraktyke, kan die invloed van foutiewe bestuur gekwantifiseer word. Die resultate wat in Figure 4.1 tot 4.5 (uitgesluit Figuur 4.3) vertoon word, is op bogenoemde manier met behulp van die Sirmod-simuleringmodel van Walker (1989) bepaal.

4.4.2 Die voorafgekoese foutlimiet

Die afdrogingsfront-gradiënt-metode van Kruger (1989) voorspel die

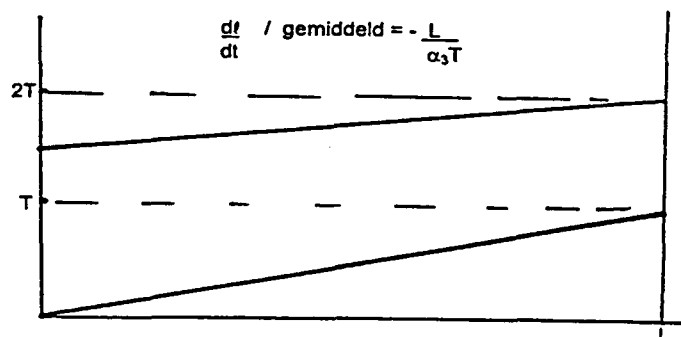
tempo van die afdroging op 'n bepaalde bedding. Die tempo van die vorderingsfront word tydens ontwerp hieraan "gepas" deur die stroomgrootte en afsnytyd te beheer. Stroomgrootte en afsnytyd bepaal die netto vloei-energie in 'n bepaalde besproeiingsituasie. Die netto vloei-energie weerspieël weer die bestuursensitiwiteit in elke bepaalde geval.

Die logiese gevolgtrekking kan dus gemaak word dat die bestuursensitiwiteit gekoppel kan word aan die tempo waarteen die vorderingsfront op 'n gegewe bedding sal beweeg. Deur derhalwe die verband tussen die tempo van die afdrogingsfront en vorderingsfront te kies, word die bestuursensitiwiteit binne 'n bepaalde limiet gestel. Die wiskundige benadering stem ooreen met dié in paragraaf 3.7 en word nie weer herhaal nie.

4.5 DIE TOEPASSING VAN SENSITIWITEITSKRITERIA VIR OPTIMALE ONTWERP VAN BEDDINGS MET HELLINGS

Uit voorafgaande bespreking is dit duidelik dat daar 'n aantal bestuursensitiwe elemente is wat ontleedbaar is en derhalwe gebruik kan word om 'n ontwerp te ontwikkel wat by sekere bestuursbeginsels aangepas kan word.

Daar word aanvaar dat 'n bedding, waarvan die vorderings- en afdrogingsfrontkrommes parallel is, as norm dien. Afwykings vanaf hierdie norm kan (soos in paragraaf 3.7) voorgestel word deur die grafiese verband tussen vordering en afdroging te ontleed (Figuur 4.8.)



Figuur 4.8 Grafiese voorstelling van die verband tussen vordering en afdroging.

Die α_3 -konstante in bostaande grafiek word, volgens paragraaf 4.4, as 'n bestuursensitiwe faktor beskou. Die waarde van α_3 vir 'n spesifieke bestuursensitiwiteit is onbekend. Die bepaling van waardes vir die α_3 -faktor vorm nie deel van die huidige Waternavorsingskommissie-projek nie. Die waarde van α_3 kan egter vasgestel word volgens die prosedure soos in paragraaf 4.4.1 bespreek. Die resultate van die Optivloed 2.2-program (Hoofstukke 5 en 6) word dan gepas aan die invloed van foutiewe bestuur. In Hoofstuk 7, word voorbeelde van die waardes vir α_3 vanuit die praktyk uitgewys.

4.6 DIE ONTLEDING VAN VLOEI-ENERGIE

Die vloei-energie is afhanklik van al die faktore wat 'n rol in vloedbesproeiing speel. Dit kan dus alleen deur middel van 'n hidrodinamiese ontleding gekwantifiseer word. Figure 4.6 en 4.7 toon die resultate van so 'n ontleding waar die netto vloei-energie as 'n funksie van die maksimum vorderingsafstand aangetoon is.

Die werklike beskrywing en modulering van vloei-energie val buite die bestek van die huidige Waternavorsingskommissie-projek. Dit is egter noodsaaklik om die netto vloei-energie te kan ontleed om randvoorwaardebegrensing van die Optivloed 2.2-program te kan doen. Hierdie aspek sal egter in 'n volgende navorsingsprojek hanteer moet word.

HOOFSTUK 5

TEORETIESE ONTWIKKELING VAN 'N OPTIMALE ONTWERPMODEL

5.1 SINTESE VAN DIE ONTWERPPROSES

Die ontwerpproses moet so logies en effektief moontlik saamgestel word dat die ontwerper met die minste moontlike moeite by 'n eindresultaat kan uitkom.

Die ontwerpresultaat word volledig in **Volume 2** (Hoofstuk 3) bespreek, en word gevolglik net kortliks hier weergegee:

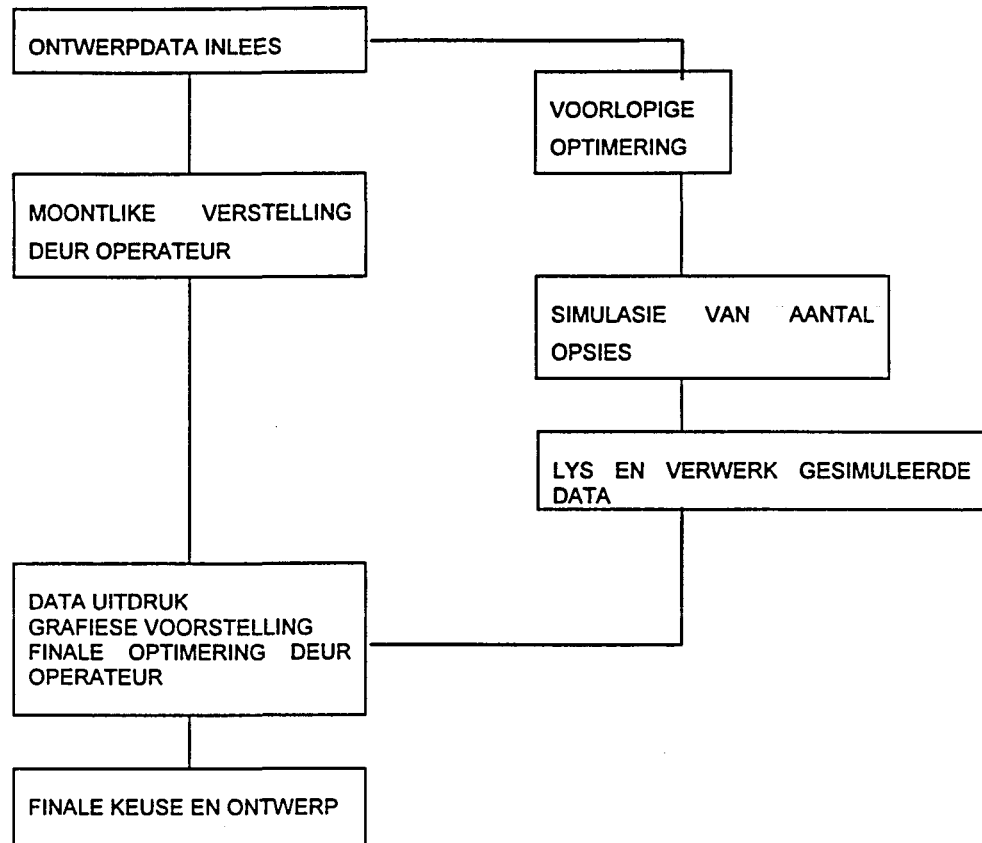
- * Die verband tussen faktore wat 'n rol in vloedbesproeiing speel, moet korrek opgelos word.
- * Die optimale kombinasies tussen faktore moet vir elke bepaalde geval met inagneming van bestuursensitiwiteit bepaal word.
- * Die oplossing moet koste-effektief in terme van ontwerp-koste wees, en moet met 'n redelike waarskynlikheid in die praktyk kan realiseer.

Tydens die bespreking van vloedbesproeiingsontwerp wat met behulp van hidrodinamiese tegnieke uitgevoer is (**Volume 2**; Hoofstuk 8), is daar tot die gevolgtrekking gekom dat dit nie koste-effektief sou wees om eers verbande tussen faktore (met behulp van simuleringsmodelle) te bepaal en daarna optimering te doen nie.

Die sintese van 'n ontwerpproses wat derhalwe nou voorgestel word, behels dat 'n voorlopige optimering eers gedoen word. Daarna word oplossings van die verbande tussen veranderlikes ontleed voordat die

ontwerper laastens 'n finale optimering met behulp van 'n beperkte aantal datastelle verkry.

Hierdie voorgestelde proses word grafies in Figuur 5.1 uitgebeeld.



Figuur 5.1 Voorgestelde ontwerpproses

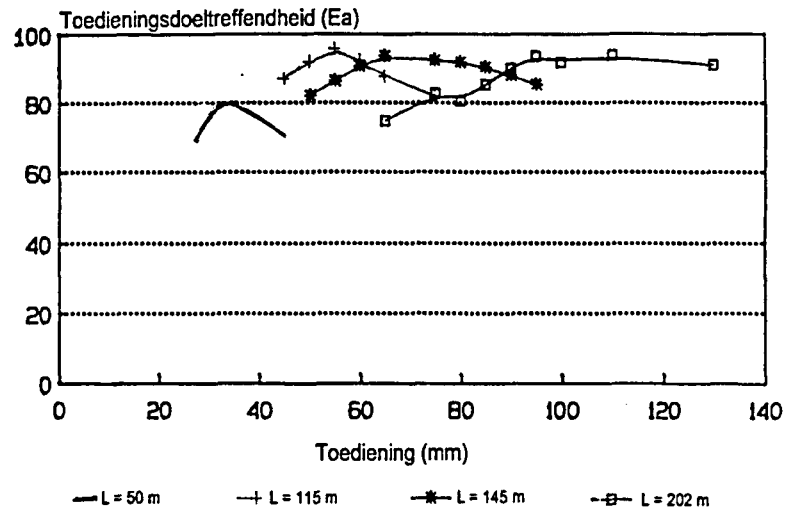
Die stappe wat in hierdie ontwerpproses voorgestel word, word vervolgens in meer detail bespreek. Stappe soos die inlees van data, verstelling deur die operateur ens. is selfverduidelikend, en gevolglik word meer op die voorlopige optimering, simulering en finale optimering van die ontwerp gekonsentreer.

5.1.1 Die voorlopige optimeringsproses

Voorlopige optimering is noodsaaklik om die potensiële aantal kombinasies wat ondersoek moet word, te beperk. Daardeur word tyd bespaar. Die ontwerper "fokus" die ondersoek op die gebied wat van

toepassing is, maar neem in die proses steeds 'n verteenwoordigende ondersoekgebied in ag.

Die data, soos in Figuur 5.2 voorgestel, kan as voorbeeld geneem word.



Figuur 5.2 Moontlike toedienings teenoor beddinglengtes met gepaardgaande toedieningsdoeltreffendhede

Figuur 5.2 illustreer die verband tussen toediening en toedieningsdoeltreffendheid by verskillende beddinglengtes vir 'n bepaalde stroomgrootte, helling en vloe weerstand. Vanuit hierdie figuur blyk dit dat 'n 80% toedieningsdoeltreffendheid in die geval van die 50m beddinglengte alleenlik met 'n toediening van ongeveer 30mm gehandhaaf kan word terwyl die spektrum vir toediening in die geval van die langste beddinglengte (202m) tussen 70mm en 120mm kan wissel. Ten einde tyd te bespaar en steeds die volle potensiele ontwerp kombinasies in ag te neem, moet die ontwerper in staat gestel word om vinnig op die ideale ontwerpgebied te fokus.

Die ontwerper moet nou binne die spektrum waarby 'n 80% toedieningsdoeltreffendheid verkry kan word vir 'n bepaalde beddinglengte, kan fokus sodat 'n optimale ontwerpgebied afgebaken kan word. Soos in Hoofstuk 4 (paragraaf 4.2) beredeneer, sal hierdie

optimale ontwerpgebied deur bestuursvoorkeure en waterbeheerstelsels bepaal word. Tensy die ondersoek dus eers vooraf deur 'n voorlopige optimeringsproses in die regte gebied gefokus word, sal dit 'n tydrowende ondersoek vereis om sinvolle resultate te verkry.

In die geval van 'n gerekenariseerde ontwerpproses raak dit des te meer belangrik om 'n programmeerbare "fokus"-prosedure daar te stel, aangesien die "gevoel" van die ontwerper nie noodwendig die ontwerponderzoek lei nie.

Die rekenaar moet self die ondersoek vanaf beginwaardes fokus deur 'n optimeringsprosedure te gebruik. Die afdrogingsfrontgradiëntmodel van Kruger (1986) kan uitgebrei word om die optimering te doen. Die wiskundige analise van die uitgebreide model word in paragraaf 5.2 bespreek.

5.1.2 Simulering van 'n gefokuste aantal opsies

Met die afhandeling van die voorlopige optimering kan 'n ontwerpondersoekgebied geïdentifiseer word waarop daar gefokus kan word. 'n Simuleringsmodel kan nou gebruik word om byvoorbeeld die verband tussen toediening en beddinglengte, of alternatiewelik die volle besproeiing, te simuleer. Slegs nege kombinasies van die potensieële ontwerpdata word ondersoek. Die nege kombinasies verteenwoordig 'n variasie in byvoorbeeld infiltrasie, vloeiweersand, helling, ens.

5.1.3 Finale optimering deur die ontwerper (of rekenaaroperateur)

Die gesimuleerde data vanuit die gefokuste ontwerpgebied word op so 'n wyse voorgestel dat die ontwerper 'n finale keuse vir die optimale ontwerp kan maak. Die ontwerper kan byvoorbeeld besluit op 'n groter of kleiner toediening as wat teoreties uit skeduleringsoorwegings beraam is. Net so kan die ontwerper ook besluit of langer of korter beddings gebruik moet word.

Hierdie finale optimering is dus gerig op die neem van kompromie-besluite ten einde die ontwerp by praktiese beperkings aan te pas. Die rekenaar ondersteun die ontwerper se besluitnemingsvermoë deur die implikasies van die kompromie telkens te kwantifiseer.

Hierdie interaksie tussen die rekenaar en die ontwerper bring mee dat die ontwerp finaal geoptimeer kan word vir die verwagte praktiese toestande wat sal voorkom.

5.2 WISKUNDIGE ONTLEDING VAN DIE AANGEPASTE AFDROGINGS-FRONTGRADIËNT-MODEL

Vergelyking 3.14 is reeds in Hoofstuk 3 vir beddingbesproeiing afgelei:

$$\frac{d\ell}{dt} = - \frac{I_{res} \ell_i}{y_i} - y_i^{2/3} \frac{\sqrt{S_f}}{n} \quad (\text{Vergelyking 3.14})$$

Hierdie vergelyking moet (volgens die vereistes soos in Hoofstuk 4 gestel) ook vir bestuursensitiwiteit aangepas word en die infiltrasiewaarde moet ook vereenvoudig word.

5.2.1 Infiltrasie-eienskappe

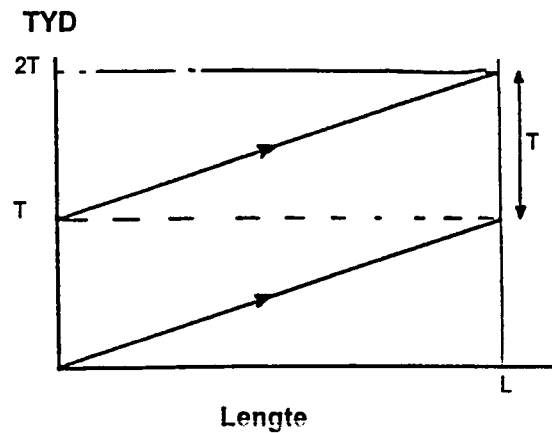
In die eenvoudigste vorm kan die infiltrasie-eienskappe van 'n bepaalde grond as 'n magsfunksie van tyd geskryf word. Die Kostiaikov-infiltrasiefunksie soos deur Strelkoff (1977) vir die evaluering van SCS ontwerpnorme gebruik is, sien soos volg daaruit:

$$z = a T^b$$

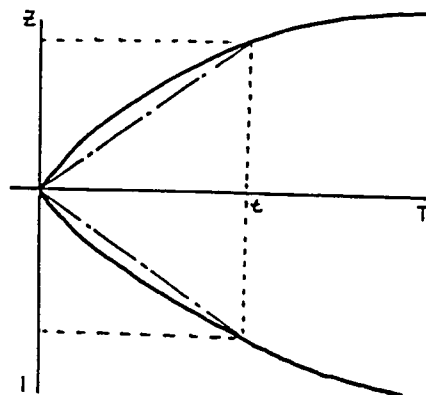
Hierdie funksie lewer ook goeie resultate onder Suid-Afrikaanse toestande (Kruger, 1989).

Gemiddelde infiltrasie tydens resessie

Die literatuuroorsig toon dat die bepaling van die gemiddelde tempo van infiltrasie tydens resessie 'n moeilike taak is. Die benadering van paragraaf 4.2.2 vereenvoudig hierdie taak egter aansienlik. Beskou weer die grafiese verband by optimale besproeiing (Figuur 5.3), asook die infiltrasiekromme (Figuur 5.4)



Figuur 5.3 Voorstelling van die ideale vorderings-en afdrogingsfronte wat parallel loop en toelaat vir 'n eweredige kontaktyd (T).



Figuur 5.4 'n Skematiese voorstelling van kummulatiewe infiltrasie (Z) en infiltrasietempo (I) teenoor tyd(T)

Vanuit Figure 5.3 en 5.4 kan afgelei word dat indien afdroging net sou begin wanneer vordering voltooi word, sal:

1. Die infiltrasietempo by $\ell_i = 0$ die tempo by Tyd $t = T$ wees.
2. Die infiltrasietempo by $\ell_i = L$ die tempo by Tyd $t = 0$ wees.

Dus sal die volle spektrum van infiltrasietempo's tussen $\ell_i = 0$ tot by $\ell_i = L$ (met ander woorde oor die volle lengte van die bedding) by die aanvang van resessie geld.

dus is:

$$\frac{I_{res}}{L_i = 0} = \frac{Z}{T}$$

Soos resessie verloop sal beide die infiltreerbare oppervlak en die infiltrasietempo afneem.

5.2.2 Die verband tussen bedding- of voortjielengte en toediening

Beskou 'n bedding of voor wat in vier kwarte verdeel is. Tabel 5.1 toon die formules vir die berekening van infiltrasie tydens die resessiefase.

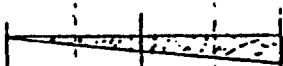
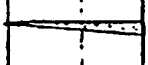
Indien die infiltrasiewaardes in vergelyking 3.14 soos volg vervang word, geld die volgende afleiding slegs tydens optimale besproeiing van 'n bedding of voortjie wat in vier kwarte verdeel is:

$$\frac{d\ell}{dt} \Big|_{i=0} = - \frac{Z \ell_i}{T_y} - y_i^{2/3} \frac{\sqrt{S_f}}{n} \quad \text{-----5.1}$$

$$\frac{d\ell}{dt} \Big|_{i=L/4} = - \frac{0.65 \ell_i Z}{T Y_i} - y_i^{2/3} \frac{\sqrt{S_f}}{n} \quad \text{-----5.2}$$

$$\frac{d\ell}{dt} \Big|_{i=L/2} = - \frac{0.42 \ell_i Z}{T Y_i} - y_i^{2/3} \frac{\sqrt{S_f}}{n} \quad \text{-----5.3}$$

Tabel 5.1 Infiltrasieberekeninge tydens die resessiefase, geldig vir optimale besproeiing

INFILTRASIE TYDENS RESESSIE		$q_{inf} = I \times A_{inf}$		
		Gemiddelde Infiltrasie tempo	Beddings Q_{inf}	Voortjies Q_{inf}
$L_i = 0$		$I_{res} = \int_0^L abt^{b-1} dl = \frac{Z}{T}$	$q = \frac{Z}{T} L$	$A_{inf} = \frac{1}{2} P L_i$ $q = \frac{Z}{T} \frac{P}{2} L$ $= 0,5 \frac{Z P_m L}{T}$
$L_i = \frac{L}{4}$		$I_{res} = \int_0^{\frac{3L}{4}} abt^{b-1} dl = 0,87 \frac{Z}{T}$	$q = 0,87 \frac{Z}{T} \frac{3L}{4}$ $= 0,65 \frac{ZL}{T}$	$q = \frac{Z}{T} \frac{P 3L}{8}$ $= 0,38 \frac{Z}{T} P_1 L$ $= 0,34 \frac{Z P_m L}{T}$
$L_i = \frac{L}{2}$		$I_{res} = \int_0^{\frac{L}{2}} abt^{b-1} dl = 0,83 \frac{Z}{T}$	$q = 0,83 \frac{Z}{T} \frac{L}{2}$ $= 0,42 \frac{ZL}{T}$	$q = \frac{Z}{T} \frac{PL}{4}$ $= 0,25 \frac{Z}{T} P_2 L$ $= 0,19 \frac{Z P_m L}{T}$
$L_i = \frac{3L}{4}$		$I_{res} = \int_0^{\frac{L}{4}} abt^{b-1} dl = 0,80 \frac{Z}{T}$	$q = 0,8 \frac{Z}{T} \frac{L}{4}$ $= 0,2 \frac{ZL}{T}$	$q = \frac{Z}{T} \frac{PL}{8}$ $= 0,25 \frac{Z}{T} P_3 L$ $= 0,074 \frac{Z P_m L}{T}$

$$\frac{d\ell}{dt} \Big|_{i=3L} = - \frac{0.2 \ell_i Z}{T Y_i} - y_i^{2/3} \frac{\sqrt{S_f}}{n} \quad \text{---5.4}$$

Vir beddings geld (die afleiding vir voortjies is analoog hieraan, maar is driedimensioneel)

$$\begin{aligned} - \frac{L}{\alpha_3 T} &= -1/4 \left[\frac{Z \ell_i}{T Y_i} (1+0,65+0,42+0,2) \right] - Y_i^{2/3} \frac{\sqrt{S_f}}{n} \\ &= -0,57 \frac{Z \ell_i}{T Y_i} - Y_i^{2/3} \frac{\sqrt{S_f}}{n} \end{aligned}$$

dus is:

$$L = +0,57 \alpha_3 \frac{Z \ell_i}{Y_i} + \alpha_3 T Y_i^{2/3} \frac{\sqrt{S_f}}{n}$$

maar:

$$Z = a T^b$$

vervang:

$$L = + \frac{0,57 \alpha_3 Z \ell_i}{Y_i} + \alpha_3 \left(\frac{1}{a} \right)^{1/b} Z^{1/b} Y_i^{2/3} \frac{\sqrt{S_f}}{n}$$

maar:

$$\frac{y_i}{\ell_i} = S_y = (S_o - S_f)$$

sodat:

$$L = + \frac{0,57 \alpha_3 Z}{S_y} + \alpha_3 \left(\frac{1}{a} \right)^{1/b} Z^{1/b} Y_i^{2/3} \frac{\sqrt{S_f}}{n} \quad \text{---5.5}$$

Stel:

$$+ \frac{0,57 \alpha_3}{S_y} = C_1$$

en

$$\alpha_3 \left(\frac{1}{a} \right)^{1/b} Y_i^{2/3} \frac{\sqrt{S_f}}{n} = C_2$$

In spesifieke gevalle geld die volgende:

$$L = C_1 Z + C_2 Z^{1/b} \quad \text{-----5.6}$$

Net so kan ook afgelei word dat

$$L = f\left(Z \frac{1}{n}\right) \text{ en } L = f(Z \sqrt{S})$$

$$L = (\text{konstant}) Z + (\text{konstant}) Z^{1/b} \quad \text{-----5.7}$$

of

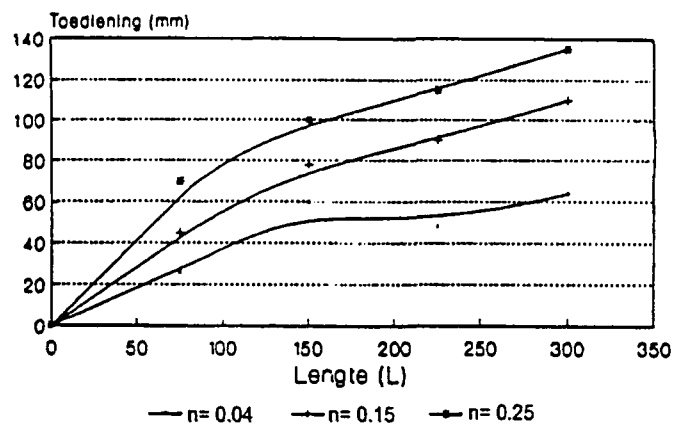
$$L = (\text{konstant}) Z + (\text{konstant}) Z^{1/b} \frac{1}{n} \quad \text{-----5.8}$$

of

$$L = (\text{konstant}) Z + (\text{konstant}) Z^{1/b} \sqrt{S_0} \quad \text{-----5.9}$$

Hierdie verbande is ook uit gesimuleerde resultate in Hoofstuk 2 bevestig.

Figuur 5.5 toon die gesimuleerde optimale verband tussen beddinglengte (L) en toediening (Z) vir verskillende vloeiweerstandswaardes (n). Soortgelyke verbande kan ook vir verskillende waardes van helling (S₀) verkry word.



Figuur 5.5 Die optimale verband tussen beddinglengte (L) en toediening (Z); IF = 4.0; S = 0.0033; Manning-n soos aangedui in legende. (Data verkry vanaf Kruger, 1989).

Bogenoemde vergelykings lewer dus die teoretiese agtergrond vir die bepaling van die optimale verband tussen beddinglengte en toediening.

Die resultate van die datagenerasie van Kruger (1989) kan aan die hand hiervan vertolk word. (Die resultate word in Hoofstuk 7 weergegee).

Genoemde vergelykings bied 'n unieke oplossing vir die optimeringsprobleem. Deur die korrekte keuse van konstantes vir 'n spesifieke situasie, kan die optimale besproeiingsontwerp gedoen word.

Die potensiele aanwending van hierdie formules vir die rekenarisering van vloedbesproeiingsontwerp word in die volgende afdeling bespreek.

5.3 TOEPASSING VAN DIE OPTIMERINGSVERBAND IN PRAKTIESE ONTWERPBEREKENINGE

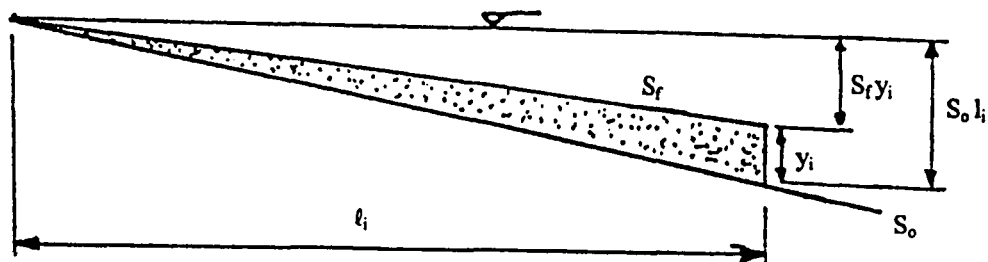
Die berekening van die optimale verband tussen toediening en bedding-lengte word met behulp van iterasie uitgevoer.

5.3.1 Die waardes van die vloeddieptekonstante (S_y):

Daar word aanvaar dat S_y en S_f tydens resessie redelik konstant bly.

$$S_y = \frac{y_1}{\ell_i} \text{ (gedefinieer in paragraaf 3.6).}$$

$$\text{Ook is } S_y = S_o - S_f$$



Figuur 5.6 Voorstelling van die wiskundigontleedbare resessiefase

Vanaf Tabel 5.1 kan 'n geweege gemiddelde waarde, vir die lengte (ℓ_i) in die driehoekige profiel (Figuur 5.6), as volg bereken word:

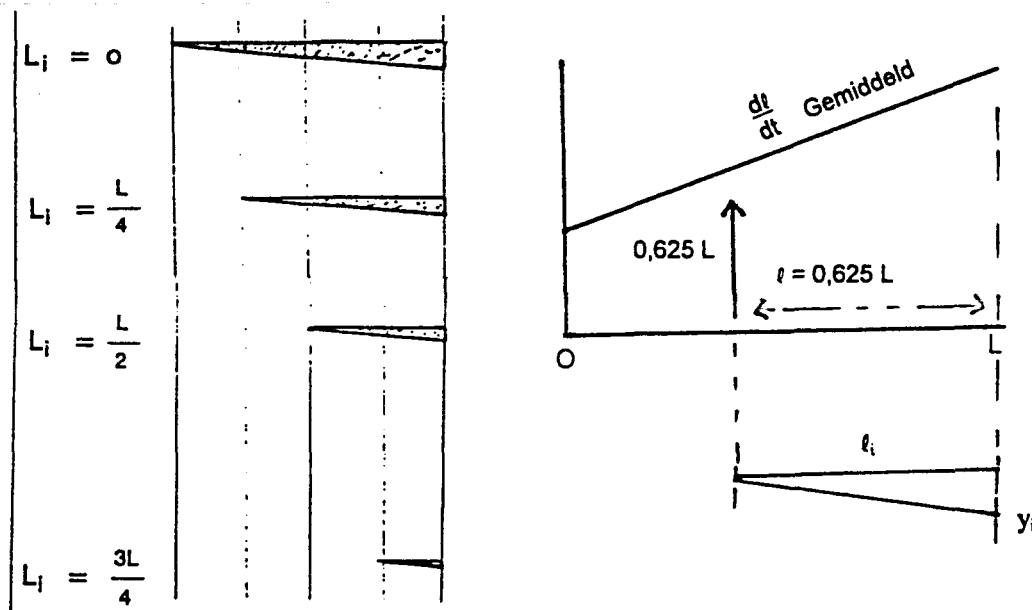
$$\ell_i = \frac{1}{4} \left(\frac{4L}{4} + \frac{3L}{4} + \frac{2L}{4} \right) = \frac{\ell}{4}$$

$$= 0,625 L$$

dus geld dat:

$$S_y = \frac{y_i}{0,625 L}$$

waar y_i die gemiddelde vloediepte verteenwoordig wat tydens resessie vir die resessieprofiel geld.



Figuur 5.7 Die resessieprofiel wat gebruik is om die gemiddelde afdrogingsfrontgradiënt ($\frac{d\ell}{dt}$ gemiddeld) te bereken.

Aanname:

Aangesien vloei oor die berekeningsgebied bestendig is, word die verhoudings tussen S_o , S_y en S_f gehandhaaf,

volgens Manning

$$y = \frac{Q^{0,6} (n^{0,6})}{S^{0,3}}$$

Dus kan aanvaar word dat:

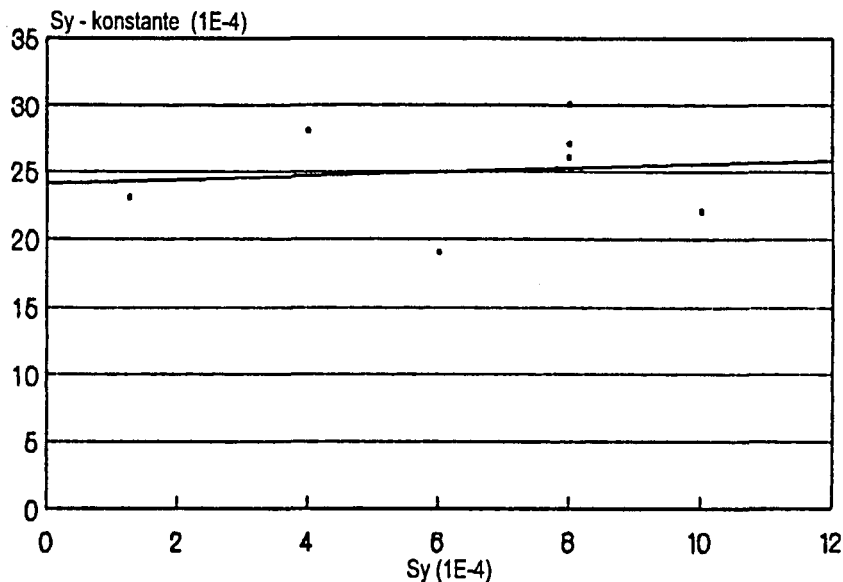
$$S_y = f \left(\frac{n^{0,6}}{S^{0,3}} \right)$$

Uit die voorgemelde vergelyking volg dat die volgende afleiding vir 'n spesifieke geval geldend is:

$$S_y = \frac{y_i}{\ell_i} = \frac{y_i}{0,625L} = (\text{konstante}) \left(\frac{n^{0,6}}{S^{0,3}} \right)$$

Genoemde konstante kan vanaf gemete data en met 'n hidrodinamiese simuleringsmodel (byvoorbeeld Sirmod van Walker (1987)), bepaal word.

Vir die eerste fase van die Optivloed 2.2-program in die huidige Waternavorsingskommissie-projek is die konstante as ongeveer 0,00026 bepaal. In die sagteware word egter ook voorsiening gemaak om die waarde aan te pas indien dit om een of ander rede dalk nodig sou blyk. In Figuur 5.8 word die bepaling deur middel van data weergegee.



Figuur 5.8 'n Voorbeeld van die waarde van die S_y -konstante soos dit uit beperkte data, wat beskikbaar was in die huidige projek van die Waternavorsingskommissie, bepaal is.

5.3.2 Oplos van veranderlikes

Vanaf paragraaf 5.2 volg dat: $L = f(Z)$

Daar kan ook geskryf word dat: $Z = f(L)$

Die veranderlikes in genoemde vergelykings word deur 'n iterasieproses bepaal. 'n Begin-oplossing word telkens verskaf, waarna die iterasieproses plaasvind. Ten einde konvergensie tydens die iterasies te verkry is die volgende formules in die sigbladprogram gebruik, naamlik:

$$L_1 = \frac{L_0 + L^1}{2} \quad \text{waar } L = f(Z)$$

en

$$Z_{n+1} = \left(\frac{Z^1 + Z}{n + 1} \right)$$

waar

$$Z = f(L)$$

Konvergensie vind normaalweg binne die bestek van 10 stappe plaas.

In die Optivloed 2.2-program word addisionele verkleining van iterasie stappe deur middel van 'n subroetine toegepas indien divergensie bespeur word. Die maksimum aantal stappe waarbinne konvergensie moet plaasvind, is in die Optivloed 2.2-program tot 6000 beperk.

5.3.3 Resultate van die optimeringsberekeninge

Deur die optimeringsverband van paragraaf 5.2 numeries op te los (soos hierbo in paragrawe 5.3.1 en 5.3.2 beskryf) kan die waardes van toediening (Z) en beddinglengte (L) bereken word. Deur agtereenvolgens 'n spektrum van kombinasies op te los, word die verband bepaal tussen al die faktore wat by vloedbesproeiing betrokke is.

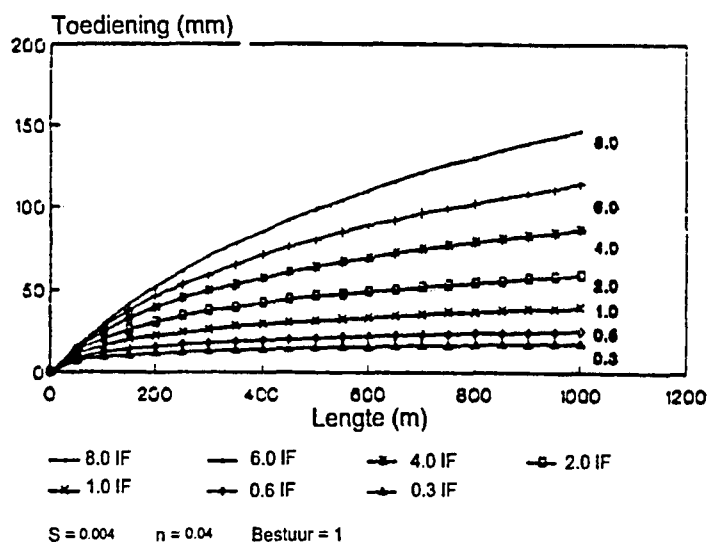
Figuur 5.9 en Tabel 5.2 dien as voorbeeld.

Die optimale verwantskap tussen beddinglengte en toediening word vir 'n verskeidenheid van infiltrasiegroepe (IF) vir 'n kaal grond met 'n Manning vloeiweerstand $n = 0,04$ aangedui.

Die helling (S_0) = 0,004.

Soortgelyke resultate is bereken vir 'n spektrum van hellings en vloeiweerstandwaardes.

Die resultate word in Bylae A getoon.



Figuur 5.9 Grafiese voorstelling van die resultate van Tabel 5.2. Die verband tussen beddinglengte en toediening wrd oor die volle infiltrasiespektrum aangetoon ($\text{Bestuur}(\alpha^3)=1$)

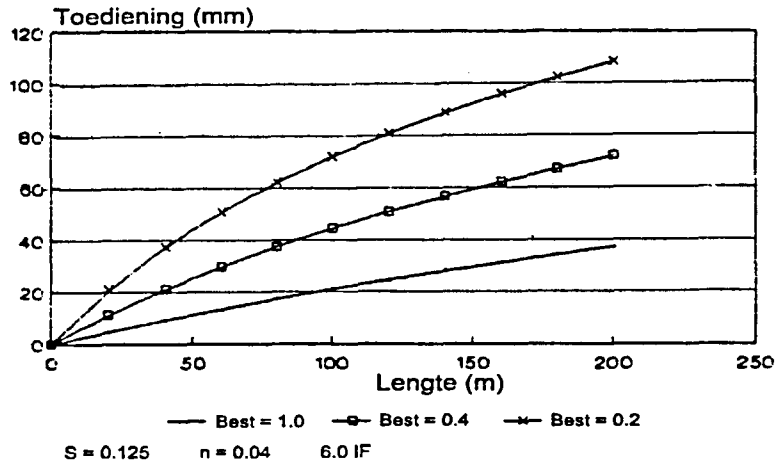
Optimering van die verband tussen beddinglengte en toediening kan ook by verskillende bestuursensitiwiteitswaardes gedoen word. (Verwys na die waarde van α_3 in paragraaf 5.2).

Figuur 5.7 vertoon die resultate vir so 'n spektrum van bestuursensitiwiteitswaardes vir kaal-grond, ($n=0,04$) met 'n helling (S_0) = 0,0125. Dit is gronde met ultrahoë infiltrasiewaardes.

Tabel 5.2 Resultate van optimale berekeninge met behulp van die Optivloed 2.2-program

S=0.004; n=0.04

Lengte (m)	Toediening (mm) vir verskillende infiltrasiegroepe / Inname families						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0
50	6.9	8.6	11	13	14.3	15	16
100	9.2	11.9	16	20	24.5	27	29
150	10.4	13.9	20	26	32.4	37	41
200	11.5	15.5	22	30	39.0	46	52
250	12.2	16.9	24	34	44.5	53	61
300	12.9	17.9	26	37	49.2	59	70
350	13.6	18.7	28	39	53.4	65	78
400	14.1	19.5	29	42	57.2	71	85
450	14.4	20.3	30	44	60.6	76	92
500	14.8	20.8	31	46	63.9	80	98
550	15.3	21.4	32	47	66.7	85	104
600	15.6	21.9	33	49	69.5	89	110
650	16.0	22.4	34	50	72.1	92	115
700	16.2	22.9	35	52	74.4	96	121
750	16.5	23.4	36	53	76.7	99	126
800	16.8	23.8	36	54	78.8	102	130
850	17.1	24.1	37	55	80.8	105	135
900	17.3	24.6	38	57	82.7	108	139
950	17.6	25.0	38	58	84.5	111	143
1000	17.8	25.3	39	59	86.2	114	147



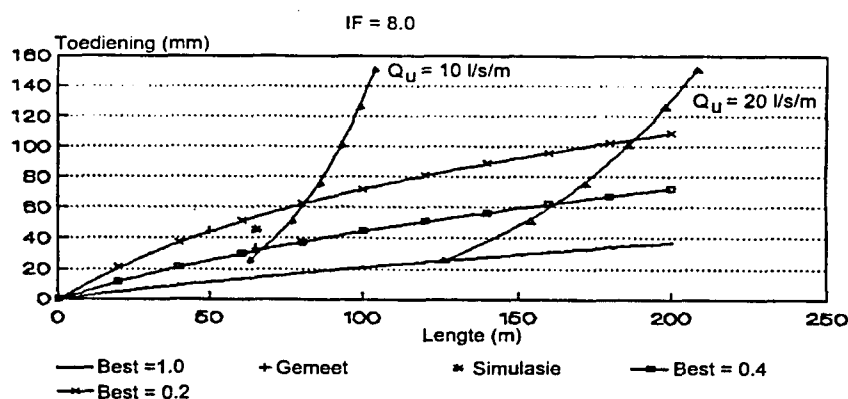
Figuur 5.10 Die verband tussen beddinglengte en bestuurs-sensitiwiteit α_3 (Best =bestuursensitiwiteit α_3)

Indien $\alpha_3 = 1$ in die ontwerp, is die vordering- en afdrogingsfronte parallel aan mekaar

5.4

BEPALING VAN RANDWAARDES óf DIE PRAKTIESE BEPERKINGE OP DIE OPTIMERINGSRESULTATE

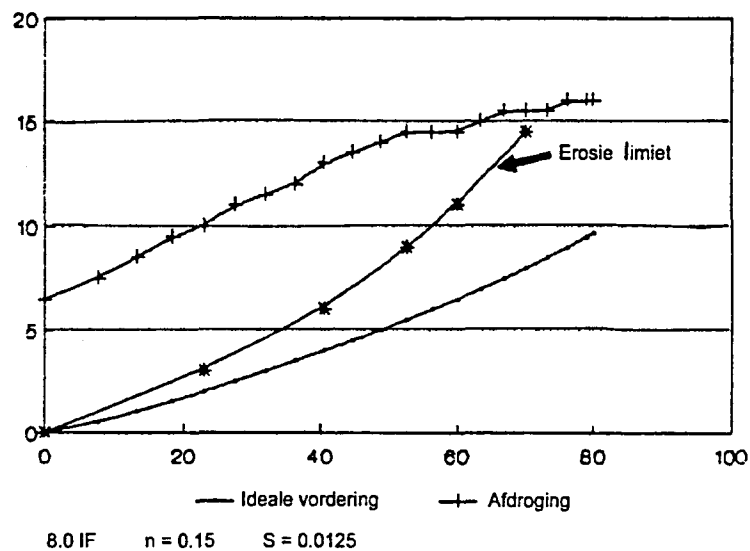
Die optimering wat in paragraaf 5.3 bespreek is, word uitgevoer sonder dat praktiese beperkinge in ag geneem word. In Figuur 5.8 word die optimale verband tussen lengte en toediening (IF=8.0) voorgestel. Praktiese randwaardes vir maksimum beddinglengte met bepaalde stroomgroottes word aangedui. Hierdie randwaardes is nodig omdat



Figuur 5.11 Optimale verband tussen lengte en toediening op 'n grond met 'n ultrahoë infiltrasietempo. Maksimum beddinglengtes vir bepaalde stroomgroottes word aangedui.

infiltrasietempo beperkinge op 'n ontwerp plaas, deurdat dit die beskikbare vloei-energie beïnvloed.

'n Ander faktor wat 'n beperkende invloed op 'n ontwerp het, is gronderosie. Daarom mag die vorderings- en afdrogingsfronte nie die erosielimiet, geldend vir elke betrokke bedding of voortjie, oorskry nie. Byvoorbeeld: die tempo waarteen afdroging op 'n bedding met 'n steil helling en ultrahoë infiltrasietempo plaasvind, is baie hoog. In so 'n geval sal die optimeringsmodel van paragraaf 5.3 'n plat afdrogingsfrontgradiënt simuleer waarop 'n ideale (met ander woorde, 'n parallelle) vorderingsfrontkromme gepas word. 'n Baie groot stroom word nou benodig om hierdie "vinnige" vorderingsfront te laat plaasvind ('n waarde van $Q = 72 \text{ (m}^3\text{/h)/m}$ is nodig). Hierdie stroomgrootte is egter onprakties omdat dit tot 'n vloeisnelheid sal lei wat gronderosie sal veroorsaak (Figuur 5.12).



Figuur 5.12 **Illustrasie van 'n onpraktiese ontwerp waar vorderings- en afdrogingsfronte die erosielimiet oorskry ten spyte daarvan dat die vordering- en afdrogingsfronte parallel verloop.**

Netso is die afsnytyd van $(T_{\infty}) = 5 \text{ min}$, onprakties kort.

Optimeringsresultate soos hierdie behoort as onprakties uitgewys te word. Randvoorwaardebegrensing moet dus toegepas word.

Weens 'n tekort aan fondse tydens die ontwikkeling van die Optivloed 2.2-program, kon al die nodige data vir randvoorwaardebegrensing nie verwerk en ingebou word nie.

Volledigheidshalwe word enkele aspekte egter genoem waarmee randvoorwaardebegrensing gedoen kan word.

* Maksimum stroomgrootte

Dit word bepaal deur nie die vloeisnelheid waarby erosie sou plaasvind, te oorskry nie. Geen plaaslike navorsing is tot op hede in hierdie verband gedoen nie. In die VSA word aanvaar dat erosiesnelheid afhanklik is van helling (S) en 'n grondverwante faktor (B) en word beskryf deur:

$$V_{\text{maks}} = (0,63 S^{0,75}) B, \quad (\text{Jensen, 1980}).$$

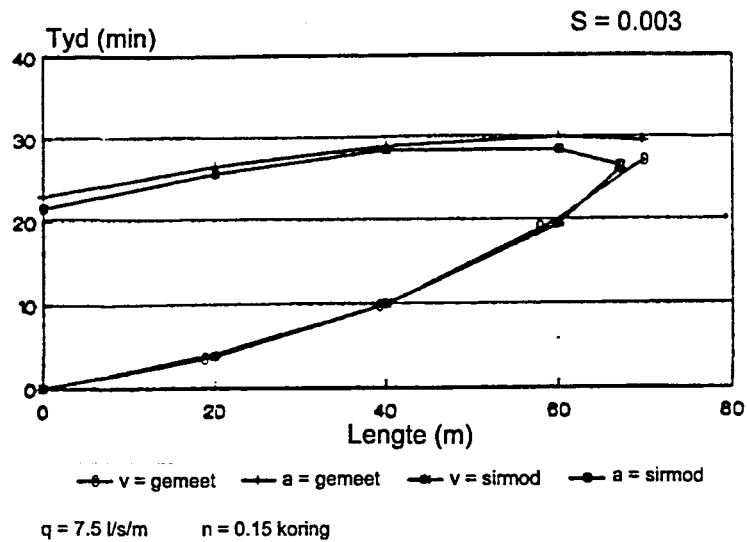
* Minimum vloeddiepte

By die besproeiing van beddings is 'n minimum vloeddiepte nodig om egalige benatting oor die volle wydte van 'n bedding te verseker. Sodra die bedding se helling te steil word, of die eenheidstroomgrootte te klein word, neig die water om op laagliggende areas te konsentreer. Sodoende word die bedding nie egalig besproei nie. Geen navorsing is nog vir die RSA op hierdie gebied onderneem nie. Teoreties kan die minimum vloeddiepte egter arbitrêr aanvaar en met behulp van 'n Manning-tipe verband bepaal word deur:

$$Y_{\text{min}} = \frac{Q_{\text{min}}^{0,6} n^{0,6}}{S^{0,3}}$$

* Maksimum beddinglengtes

Namate die beddings se lengtes toeneem, neem die doeltreffendheid van besproeiing normaalweg af. Dit gebeur as gevolg van die teenoorgestelde kromming van die vorderings- en afdrogingskrommes (Figuur 5.13).



Figuur 5.13 Teenoorgestelde krommings van die (v)vorderings- en (a)afdrogingsfronte waardeur beddinglengte beperk word.

Navorsing om die maksimum beddinglengtes vir Suid-Afrikaanse toestande te bepaal, is nog nie onderneem nie.

* Minimum hellings:

Die optimeringsteorie van paragraaf 5.2 is op beddings met 'n helling gebaseer, en is gevolglik slegs geldig wanneer resessie volgens die aanvaarde wyse plaasvind. Geen studie is tot op hede onderneem om die grenswaardes vir die minimum hellings, waarby hierdie teorie geld, vas te stel nie.

5.5 FINALE OPTIMERING DEUR DIE REKENAAROPERATEUR

In aansluiting by die doelwitte, soos gestel in paragraaf 5.1.2, word die aandag op die volgende gevestig:

Paragraaf 5.2 tot 5.4 beskryf die wiskundige verband en die wyse waarop optimering met behulp van die rekenaar gedoen kan word. Die wiskundige ontledings toon meestal afwykings van die praktiese toestande waarbinne 'n ontwerp plaasvind. So mag die verlangde toediening verskil van die waarde wat die optimeringsmodel as die optimale toediening bereken.

- * Ruimte word gelaat sodat die ontwerper self besluite oor hierdie aspekte kan neem.
- * Netso moet die ontwerper besluite neem oor dié gedeeltes van die Optivloed 2.2-program wat steeds nie volledig ontwikkel is nie - byvoorbeeld die randwaardes soos genoem in paragraaf 5.4.

Hierdie finale optimering verteenwoordig slegs die maak en insleutel van keuses, en het dus geen wiskundige toepassing in die program nie. Tydens programmering word die keuses wat die ontwerper insleutel aan die optimale resultate (wat reeds bereken is) gekoppel. Die ontwerpers-keuse word dus onmiddellik vanuit die reeds berekende data gekwantifiseer. 'n Grafiese skerm vergemaklik die keuses wat die ontwerper moet uitoefen. Die ontwerper kan herhaaldelik deur hierdie keuses beweeg totdat 'n besluit geneem is om voort te gaan met die finale ontwerp óf om die optimering te herhaal. In enkele gevalle word 'n foutboodskap "ONTWERP ONPRAKTIES" wel op die skerm vertoon.

5.6 DIE FINALE ONTWERP

Die finale ontwerp behels dat die ontwerper se keuse vanaf die optimale praktiese ontwerpinstette (paragraaf 5.5) tot uitvoer gebring moet word.

Op hierdie stadium van die program word aanvaar dat die ontwerpgebied "prakties" is en dat die toediening teen die aanvaarde doeltreffendheid sal kan realiseer.

Die basiese insette vir die ontwerp is reeds ingesleutel en die voorlopige sowel as finale optimering is afgehandel. Die finale ontwerp word met behulp van hierdie gegewens gedoen. Die finale ontwerp behels dus om slegs die stroomgrootte (Q) en afsnytyd (T_∞) te bereken.

5.6.1 Wiskundige verband vir die berekening van Eenheid-stroomgrootte en afsnytyd

Die stroomgrootte moet sodanig wees dat die vorderingsfront binne 'n bepaalde tyd die onderpunt van die bedding sal kan bereik. Hierdie tyd word as 'n funksie van die kontaktyd gedefinieer.

Dus is:

$$\text{Kontaktyd} \quad T_k = \frac{Z^{1/b}}{a}$$

waar $Z =$ toediening

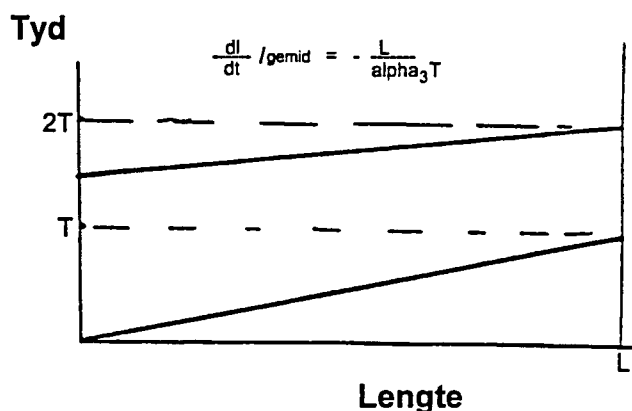
Ten einde vir bestuursensitiwiteit voorsiening te maak, moet die vorderingstyd (T_v) 'n funksie van die kontaktyd wees.

dus is:

$$T_v = \frac{1}{\alpha_3} T_k$$

waar α_3 die bestuursensiwiteitsfaktor (uit hoofstuk 3) voorstel.

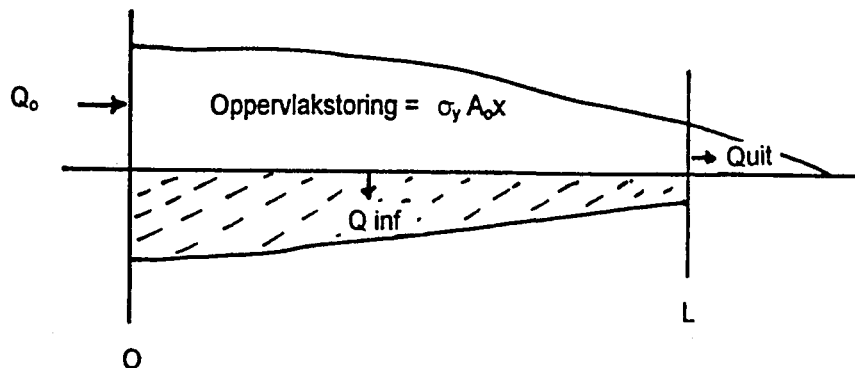
Hierdie vergelyking word skematies in Figuur 5.14 voorgestel.



Figuur 5.11 Skematiese voorstelling van die verband tussen lengte, tyd en die bestuursensiwiteitsfaktor α_3

Die bepaling van die vereiste stroomgrootte wat benodig word om die eindpunt van die bedding binne hierdie tydperk (T_v) te bereik, word gedoen aan hand van die metode wat in **Volume 2; Tabel 2.2** uiteengesit word. Hierdie metode is ontwikkel vanaf die Lewis-Milne - beginsel, (1938) wat deur Kiefer, (1959); Fok en Bishop, (1965); Hart *et al.*, (1968); Wu en Bishop, (1970) en Elliot *et al.*, (1982), ontwikkel is. Die metode is deur laasgenoemde outeurs gepubliseer. Die metode, soos gebruik deur die navorser, word kortliks bespreek. Die afleiding is volledig deur Walker en Skogerboe (1987) beskryf.

Die metode staan bekend as 'n volumebalans-vorderingsfunksie, en is op eksponensiële, empiries-bepaalde vorderingsfunksies gebaseer. Die metode is op die volumebalans-beginsel gebaseer en daar word aanvaar dat uitvloeï aan die einde van 'n bedding toegelaat word, soos voorgestel in die lengtesnitprofiel van Figuur 5.15.



Figuur 5.15 'n Lengtesnitprofiel wat die volumebalans-beginsel met uitvloeï voorstel

Volgens die volumebalans-beginsel geld die volgende:

Volume in = Oppervlakstoring + infiltrasievolume + uitvloeivolume

$$Q_o t = \sigma_y A_o x + Q_{inf} t + Q_{uit}$$

nou is:
$$Q_{inf} = \sigma_z k t^a + \frac{f_o t}{1 - r}$$

$$\sigma_y = 0,7 - 0,8$$

(waarde 0,77 aanvaar)

$$\sigma_z = \frac{b(1-r) + (1+r)}{(b+1)(1+r)}$$

waar : $x = p(t_a)^r$

Die bepaling van stroomgrootte (Q_0) vind individueel per gewas plaas. Die berekening word met behulp van 'n iterasie gedoen en die program benodig dus aanvangswaardes. Ten einde voorsiening te maak vir moontlike aanpassings van die berekende stroomgrootte, word konstantes voorsien.

Konstantes benodig:

$$Q_1 = 0,667 - (\text{standaard waardes "default"})$$

$$r = 1,0 - (\text{standaard waardes "default"})$$

Die subprofiel-faktor (Subsurface shape factor). σ_z word bereken.

Bruto kontaktyd word bereken as:

$$T_k = \frac{(z)^{1/b}}{(a)}$$

waar Z = toediening

Die iterasieformule word soos volg geskryf:

$$Q_1 = \frac{(\text{term A} \times Q_0^{0,6} + \text{term B}) \alpha_3}{T_k}$$

met: $Q_0 = \frac{\text{lengte (L)} \times \text{toediening (Z)}}{0,8 T_k}$

waar: $\text{Term A} = \frac{0,77 n^{0,6} L}{S^{0,3}}$

$$\text{Term B} = \sigma_z * \text{toediening} * \text{Lengte}$$

HOOFSTUK 6

REKENARISERING VAN DIE OPTIMALE ONTWERPPROSEDURE

6.1 INLEIDING

In **Volume 2** (Hoofstuk 4) is die rekenariseerbaarheid van 'n ontwerpprosedure in detail bespreek. Klem is gelê op die rol van die ontwerper as besluitnemer. Die invloed van wisselende parameters soos infiltrasie en gewasweerstand vereis dat 'n interaksie tussen die besluitneming deur die ontwerper en die verloop van die rekenaar-program moet bestaan. Kern-element of objekgeoriënteerde rekenarising is beklemtoon as die logiese wyse waarop beide geprogrammeerde en ongeprogrammeerde besluitnemingsprosesse in 'n ontwerpprogram gebruik kan word. Sodoende kan die meer ervare ontwerper slegs kern-elemente gebruik om mee te ontwerp, terwyl die minder ervare ontwerper stapsgewys die ontwerp uit al die elemente "opbou".

In **Volume 2** (paragraaf 4.5.2) is aangedui dat alle potensiële faktore, wat 'n invloed op die ontwerp het, ondersoek en die onderlinge verbande beskryf moet word alvorens 'n rekenariseerbare vlak bereik kan word. **Volume 3** asook die eerste vyf hoofstukke van **Volume 4**, behandel hierdie aspek in detail.

Ten einde 'n rekenariseerbare model te kon ontwikkel, is 'n sigbladprogram eers gebruik om die optimeringsteorie te toets. Daarna is 'n objekgeoriënteerde Borland C++-program ontwikkel. Alhoewel die OPTIVLOED 2.1-program reeds opgradeer moes word ten einde bepaalde gebruikslimiete te kan akkommodeer, word voorsien dat die OPTIVLOED 2.2-program ook mettertyd opgradeer en meer uitgebrei sal kan word. Dit vorm egter nie deel van die huidige navorsingsprojek nie.

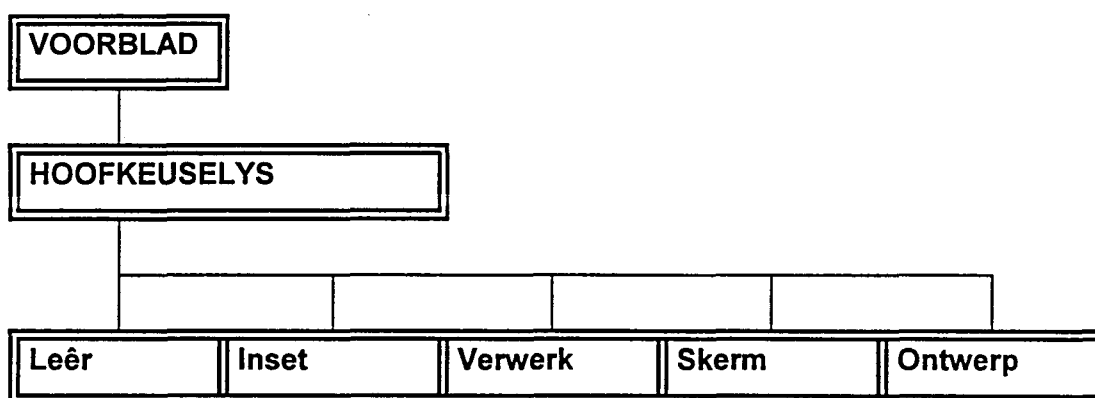
Die rekenarisering van die optimale ontwerpprocedure (Optivloed 2.2-program), word vervolgens beskryf.

6.2 DIE OPTIVLOED 2.2-PROGRAM

6.2.1 Funksionele velde

Die program vertoon tipiese vloedbesproeiing op die voorblad. Die hoofkeuselys word op die tweede skerm vertoon en bestaan uit vyf funksionele velde soos in Figuur 6.1 aangedui.

OPTIVLOED 2.2

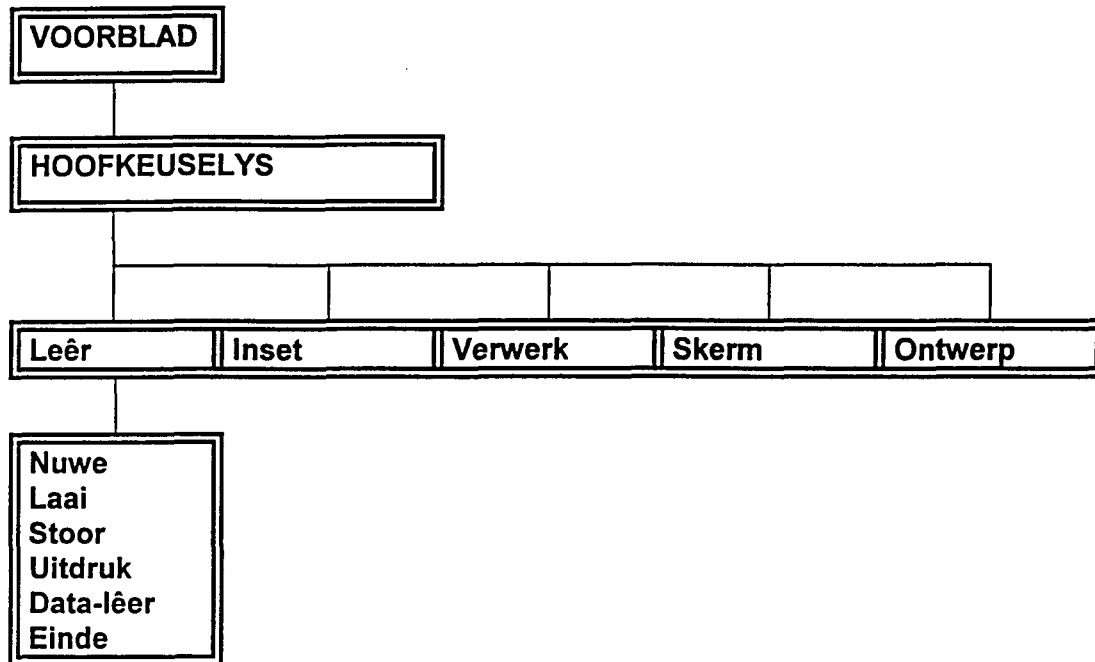


Figuur 6.1 Die vyf funksionele velde in die hoofkeuselys van die Optivloed 2.2-program

6.2.2 Kern-elemente

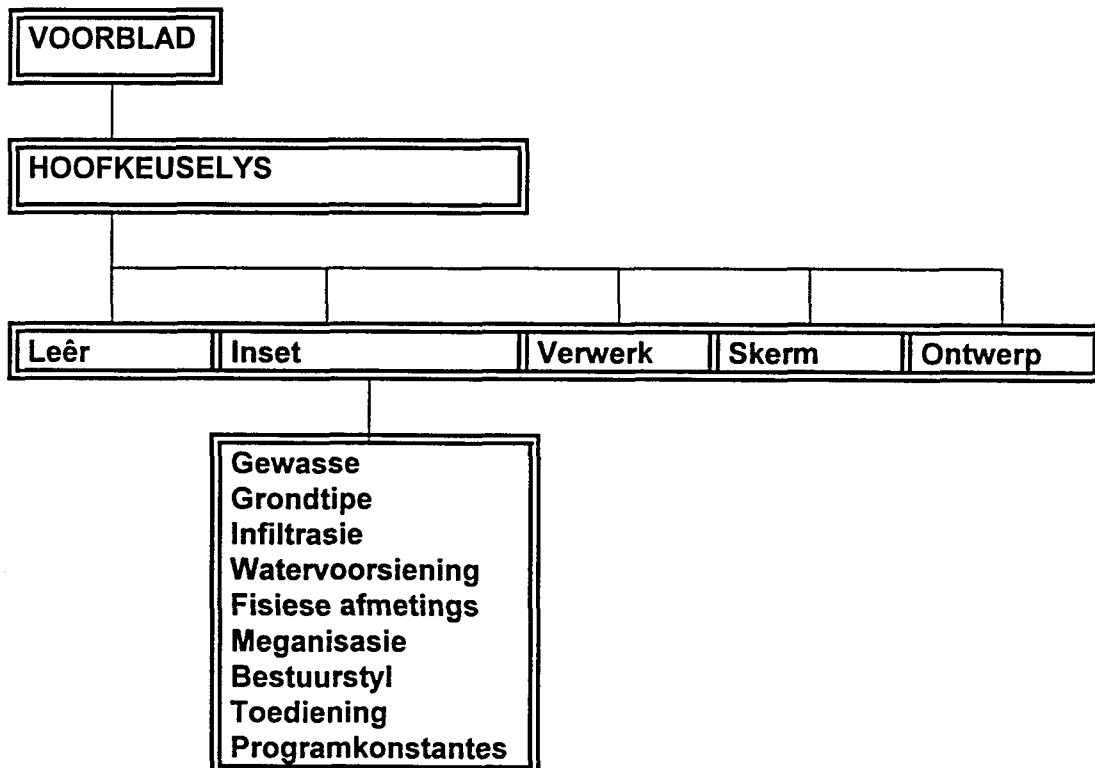
Elk van hierdie vyf funksionele velde verteenwoordig 'n aantal kern-elemente soos in figure 6.2 tot 6.6 aangetoon. So byvoorbeeld verteenwoordig die funksionele veld "verwerk" alle kern-elemente rakende dataverwerking en die berekening van optimale datastelle (Figuur 6.4).

OPTIVLOED 2.2



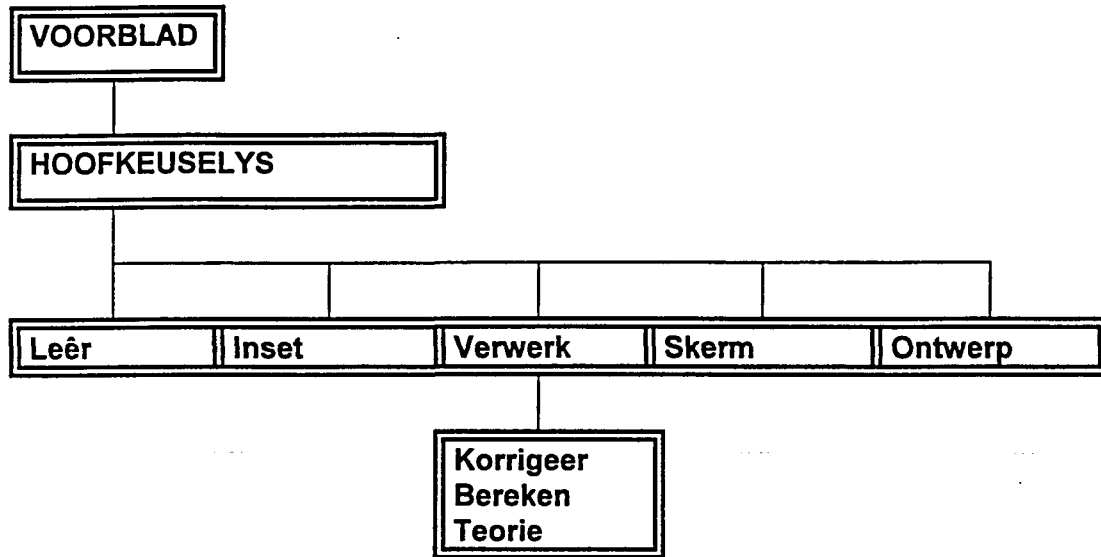
Figuur 6.2 Kern-elemente onder Optimflow 2.2 se funksionele veld "Lêer"

OPTIVLOED 2.2



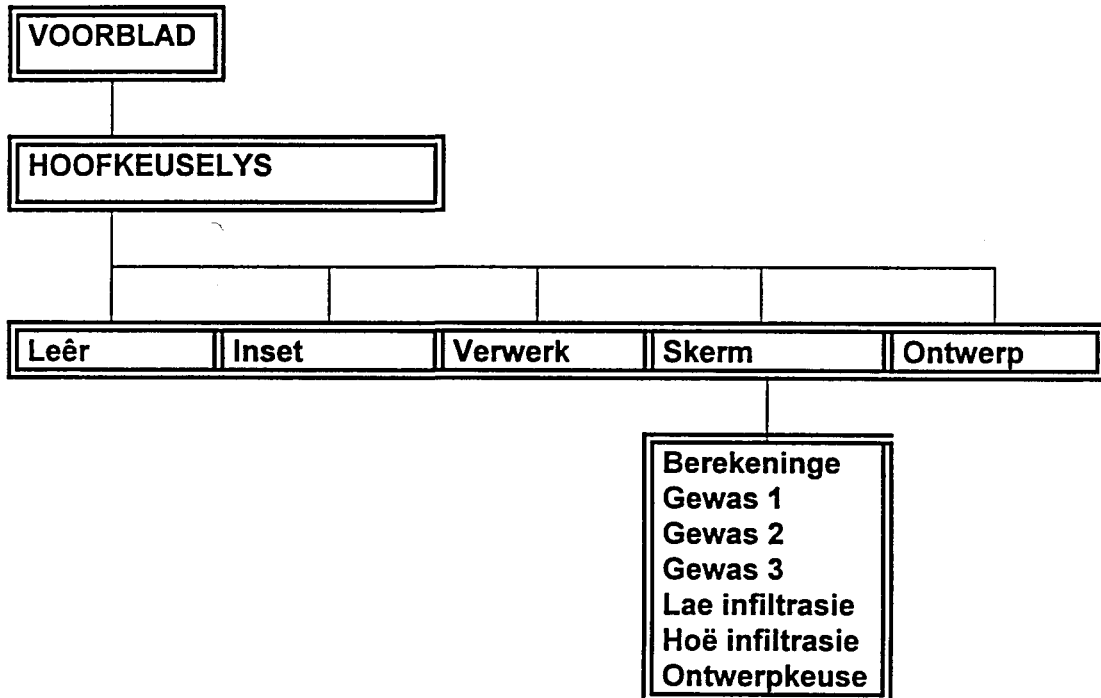
Figuur 6.3 Kern-elemente onder Optimflow 2.2 se funksionele veld "Inset"

OPTIVLOED 2.2



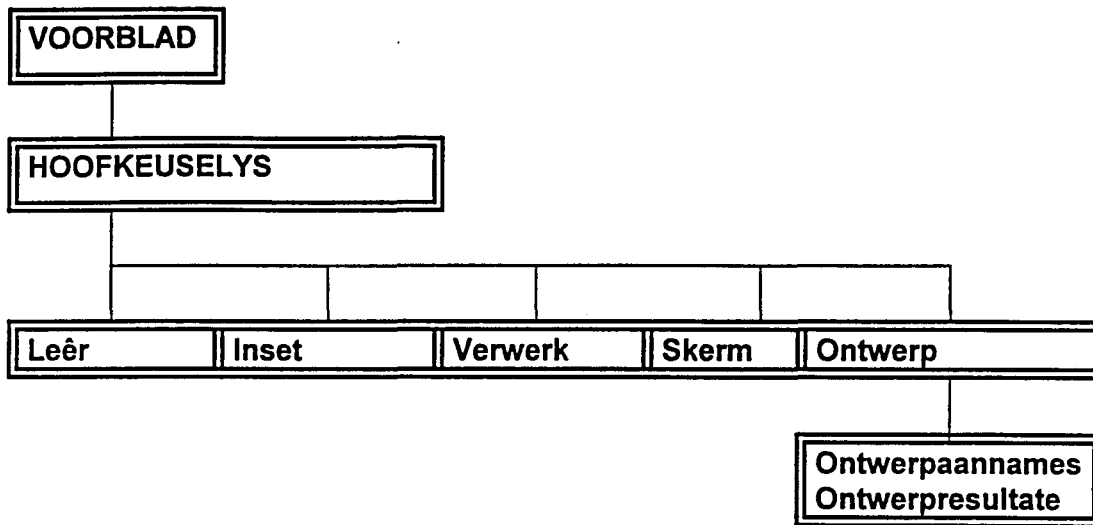
Figuur 6.4 Kern-elemente onder Optivloed 2.2 se funksionele veld "Verwerk"

OPTIVLOED 2.2



Figuur 6.5 Kern-elemente onder Optivloed 2.2 se funksionele veld "Skerm"

OPTIVLOED 2.2



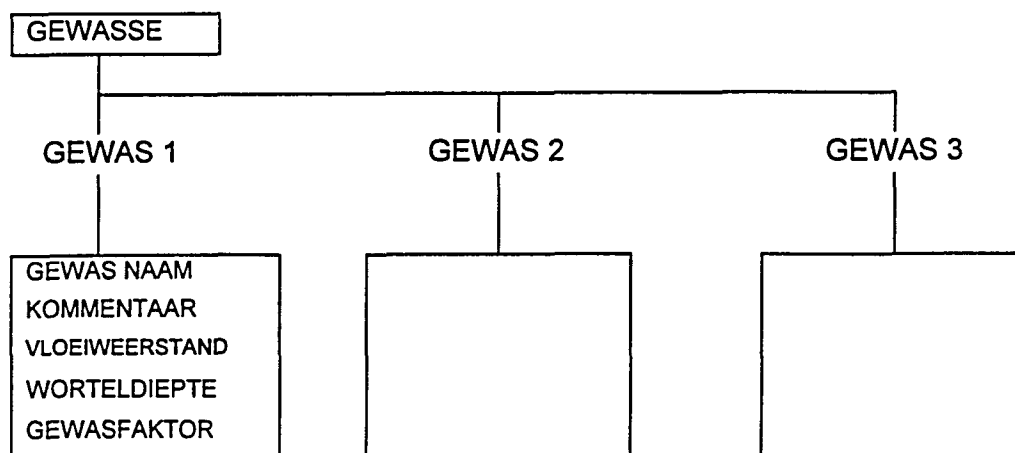
Figuur 6.6 Kern-elemente onder Optivloed 2.2 se funksionele veld "Ontwerp"

Die ontwerper kan na willekeur tussen die vyf funksionele velde, kern-elemente, elemente en die sub-elemente beweeg deur die pyltjies en "ESC" te gebruik (met uitsondering van enkele sub-elemente waar die program die verloop van keuses dikteer).

6.2.3 Elemente en sub-elemente

Enkele kern-elemente van paragraaf 6.2.2 bestaan uit 'n aantal elemente en soms ook sub-elemente. So byvoorbeeld bestaan die kern element "gewasse" uit een tot drie potensiële gewasse. ('n Enkelgewas met drie stelle sub-elemente kan ook gekies word - byvoorbeeld lusern by drie vloe weerstandswaardes).

Figuur 6.7 toon die kern-element "gewasse" met subelemente aan.



Figuur 6.7: Die kern-element “gewasse” vertoon die elemente vir 1 tot 3 gewasse

Vloeiweerstand is 'n element wat bestaan uit 'n getal sub-elemente. Fig. 6.8 vertoon die sub-elemente. In die Optivloed 2.2-program word die sub-elemente deur middel van 'n hulpskerm opgeroep sodra die rekenaaropérateur die vloeiweerstandswaarde wil inlees.

Kern-element :

GEWAS

Element :

VLOEIWEERSTAND

Subelemente :

(Hulpskerm)

Gewas	Voorbeelde	Vloeiweerstand
Ry	mielies, katoen, sojabone	0,02 - 0,06
Beddekking	koring	parallel plant = 0,1 dwarsplant = 0,15 - 0,20
Sooi	kikuyu	lank 0,20 - 0,30

Figuur 6.8 Die element “vloeiweerstand” met 'n hulpskerm waarmee die sub-elemente aangetoon word

Vir die doel van hierdie Waternavorsingskommissie-projek is die sub-elemente van die element "vloeiweerstand" nie verder in sub-sub-elemente verdeel nie. Uit Figuur 6.8 is dit egter duidelik dat die sub-elementwaardes wat in die hulpskerm verskaf word, baie beter nagevors en omskryf behoort te word. Die vloeiweerstandswaarde vir koring wissel byvoorbeeld vanaf Manning $n = 0,1$ tot Manning $n = 0,2$. 'n Onervare of selfs ervare ontwerper sal baie moeilik besluit tussen hierdie waardes vir 'n bepaalde ontwerp.

Net soos in figure 6.7 en 6.8, word al die ander kern-elemente in elemente en sub-elemente verdeel. Die Optivloed 2.2-program is gebruikersvriendelik en daarom word al die elemente met hul sub-elemente nie verder hier beskryf nie.

Soos in die geval van die sub-elemente van die element "vloeiweerstand", is ook ander sub-elemente wat verdere navorsing benodig soos byvoorbeeld die sub-elemente van die element "infiltrasienorme". ***In laasgenoemde geval behoort 'n subprogram vir infiltrasiebepaling ontwikkel te word analoog aan die metode beskryf in Volume 3, (paragraaf 3.4.2.2). Sodoende kan die sub-elemente gekwantifiseer word.***

6.2.4 Taalvoorkeur

Die Optivloed 2.2-program is as 'n tweetalige rekenaarprogram ontwikkel aangesien die amptelike landstale tydens ontwikkeling Afrikaans en Engels was.

Die meeste rekenaarskerms vertoon beide tale naas mekaar soos in Figuur 6.9 aangedui.

OPTIVLOED OV-2.2

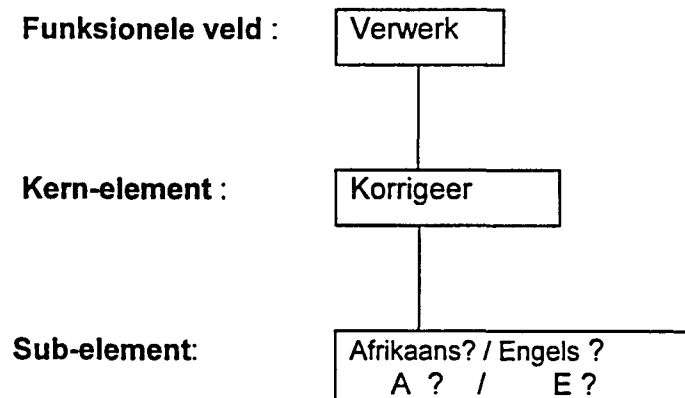
Programdoelwit : Optimering van lengte teenoor toediening

Program goals : Optimisation of length versus application

Leër / file	Inset / Input	Verwerk / Run	Skerm/Display	Ontwerp/Design
		Kliënt Gewasse Grondtipe Infiltrasie Watervoorsiening Fisiese afmetings Meganisasie Bestuurstyl Toediening Program konstantes /Client /Crops /Soil type /Infiltration /Water supply /Physical dimension /Mechanisation /Management /Application /Programme variables		

Figuur 6.9 Tweetalige boodskappe word in die Optivloed 2.2-program vertoon

Bepaalde boodskappe is egter van so 'n aard dat die vertoon daarvan in beide tale nie tegelykertyd kan plaasvind nie. Gevolglik is in die funksionele veld "verwerk", onder die kernelement "korrigeer", 'n taalvoorkeur keuse ingebou. Figuur 6.10 toon hierdie keuse.



Figuur 6.10 Die keuse ten opsigte van taalvoorkeur

Die C++ programmering maak dit ook moontlik om die Optivloed 2.2-program in verskeie ander tale te vertaal. Dit sou byvoorbeeld in enige van die huidige 11 landstale vertaal kan word met byvoorbeeld Engels of Afrikaans as 'n tweede taalopsie. So 'n vertaling is egter nie deel van die huidige Waternavorsingskommissie-projek nie.

Die taalgebruik in die Optivloed 2.2-program moes uiteraard aangepas word by die beskikbare vertoonruimte op elke skerm. Funksionele kern-woorde is telkens gebruik, soms ten koste van taalkundig-korrekte sinsnede.

6.2.5 Gids- en hulpboodskappe

Optivloed 2.2 is 'n gebruikersvriendelike rekenaarprogram. Op elke skerm is 'n duidelike gidsboodskap wat onder aan die skerm verskyn. Hierdie gidsboodskappe verduidelik die aksie wat die rekenaaroperateur telkens moet neem. Figuur 6.11 toon so 'n tipiese skerm met 'n gidsboodskap.

OPTIVLOED OV-2.2

Programdoelwit : Optimering van lengte teenoor toediening

Program goals : Optimisation of length versus application

Leër / file	Inset / Input	Verwerk / Run	Skerm/Display	Ontwerp/Design
		Kliënt /Client		
		Gewasse /Crops		
		Grondtipe /Soil type		
		Infiltrasie /Infiltration		
		Fisiese /Physical		
		afmetings dimension		
		Watervoorsiening /Water supply		
		Meganisasie /Mechanisation		
		Bestuurstyl /Management		
		Toediening /Application		
		Program /Programme		
		konstantes variables		
Gee die hoeveelheid en beskryf die wyse van watervoorsiening Describe and quantify the water supply				

Figuur 6.11 Skerm met 'n gidsboodskap wat onderaan vertoon word vir die kern-element "watervoorsiening"

Die Optivloed 2.2-program gebruik ook hulpskerms wat outomaties opgeroep word wanneer 'n bepaalde element genader word. Die ontwerper kan dus met behulp van die hulpskerm bepaalde sub-elementwaardes kwantifiseer en in die program inlees. Figuur 6.8 toon so 'n hulpskerm wat moontlike waardes vir vloe weerstand bevat.

6.2.6 Addisionele faktore wat 'n invloed op vloedbesproeiing het, maar wat nie in die Optivloed 2.2-program verreken is nie. ("Reminders" oftewel wenke.)

Verskeie elemente soos byvoorbeeld worteldiepte, gewasfaktore en opbrengs word in die program vermeld. ***Die ontwerper word net daaraan herinner dat die faktore 'n rol in die ontwerp speel.*** Die faktore behoort dus in ag geneem te word. So byvoorbeeld word die "verlangde toediening" deur die worteldiepte van die gewas beïnvloed. Die "gewasfaktor" ter sprake word weer deur die potensiële opbrengs van die gewas beïnvloed. Die piek-vogbehoefte en skedulering word hierdeur beïnvloed.

Netso word die infiltrasietempo op 'n bepaalde land deur die meganisasiepraktyke beïnvloed. 'n Pas losgemaakte grond sal 'n veel hoër infiltrasietempo hê as 'n grond met 'n vaste/verdigte wortelbed.

Die vloe weerstand word weer deur die grootte van kluite op die grondoppervlak beïnvloed. Die saadbedbereiding het 'n wesentlike invloed hierop.

Die saadbedvoorbereiding en meganisasie vorm in die algemeen 'n integrale deel van die hidrouliese ontwerpaannames. So word vloe weerstand, oppervlaktestoring in duike en poele en vloediepte direk deur die standaard van afwerking van die bedding of voortjie beïnvloed.

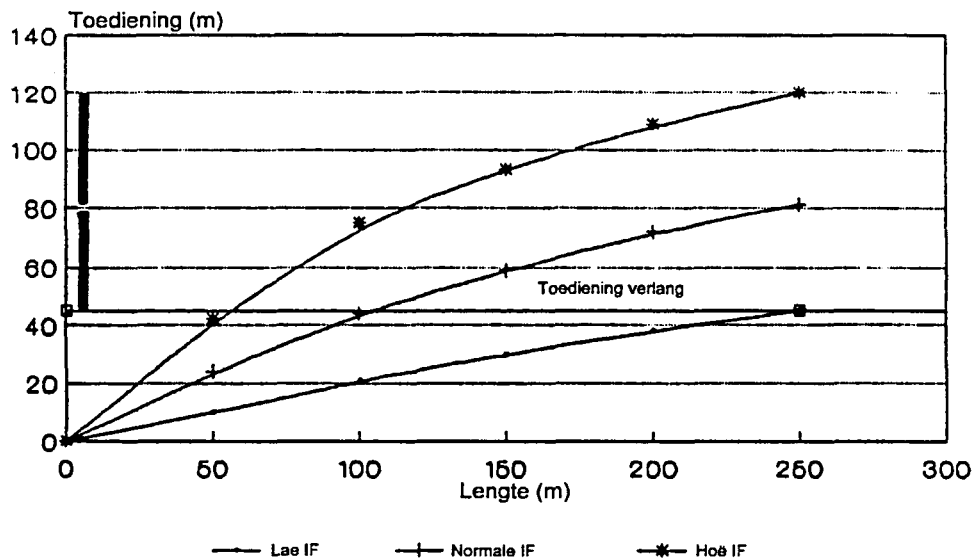
Selfs die aksie van wielspore tydens gemeganiseerde bewerking beïnvloed die stelsel. Wielspore vorm gekompakteerde stroke grond wat laer as die omliggende bedding is en sodoende oppervlakstoring of

vloeikanale veroorsaak. Soms kan hierdie kompaktering by voortjiebesproeiing voordelig wees aangesien sywaartse infiltrasie verbeter word.

Bogenoemde faktore is nie in die Optivloed 2.2-program verreken nie. Daarom word na hierdie faktore as "reminders" of "wenke" verwys. Omdat die bepaling van hierdie faktore buite die aard van die huidige Waternavorsingskommissie-projek geval het, is hierdie faktore nie nagevors nie.

6.2.7 Grafiese voorstellings en interaksies

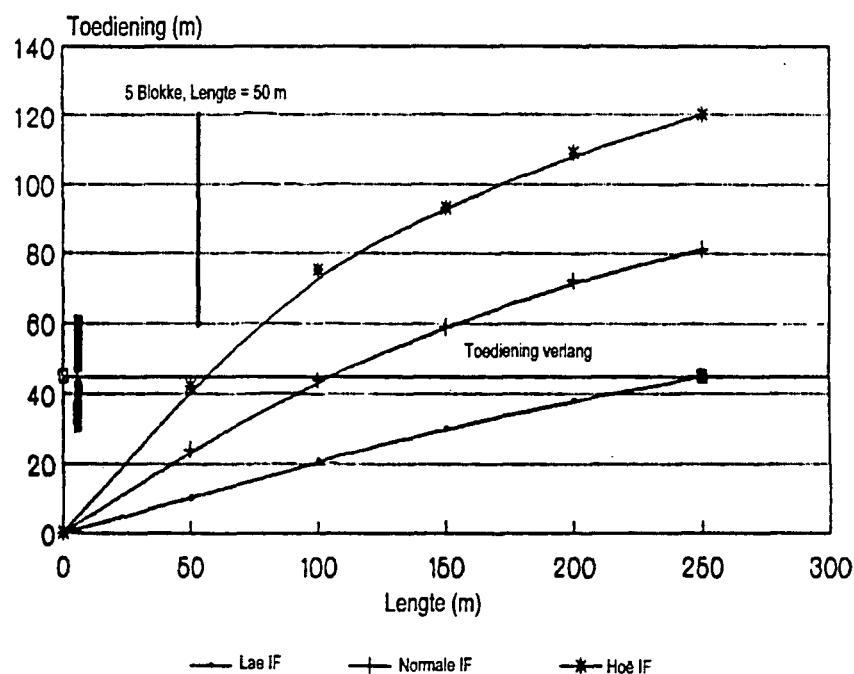
Onder die funksionele veld "Skerm" by die kern-element "Berekeninge" (kyk Figuur 6.5) word die optimale waardes van lengte teenoor toediening as sub-elemente in tabelvorm in die hulpskerm vertoon. Ten einde die ontwerper in staat te stel om die optimale waardes van lengte teenoor toediening met die verlangde ontwerptoediening asook praktiese beddinglengtes in verband te bring, word die data grafies vertoon. Figuur 6.12 vertoon so 'n grafiese skerm.



Figuur 6.12 Grafiese voorstelling van optimale data ten einde die beddinglengte te kan kies

In Figuur 6.12 word die data vir "Gewas 1" vertoon. 'n Hoë, normale en lae infiltrasiekromme word vir die maksimale beddinglengte (of landafmeting) aangetoon. Die gekose "verlangde toediening" wat in die funksionele veld "Inset" bepaal is, word as 'n reguit lyn vertoon. Die spektrum van moontlike toedienings word as 'n dik vertikale reguit lyn links op die grafiek vertoon. Van die ontwerper word verwag om die bedding se lengte sodanig te kies dat die "optimale toediening" en "verlangde toediening" vir die infiltrasiespektrum ooreenstem. Dit word soos volg gedoen:

- * Aanvanklik is die beddinglengte maksimaal - met ander woorde daar is slegs een besproeiingsblok.
- * Deur die nommer 2 in te sleutel word die maksimum beddinglengte of landafmeting in die helfte gedeel. 'n Vertikale lyn stel nou die nuwe beddinglengte voor. Soortgelyk word die beddinglengte in 5 gedeel deur die getal 5 in te sleutel. Figuur 6.13 toon die grafiese voorstelling van vyf besproeiingsblokke op die land aan.



Figuur 6.13 Grafiese voorstelling van optimale data vir 'n beddinglengte waar die land in 5 blokke verdeel is.

- * Die ontwerper kan na willekeur die beddinglengte verander deur die land in 1 tot 10 blokke te verdeel. Die grense waartussen die toedienings kan wissel word weereens grafies voorgestel deur die dik vertikale reguit lyn op die linkerkant van die grafiek.
- * Sodra die ontwerper tevrede is met sy keuse, kan die keuse vir ontwerpdoeleindes ingesleutel word deur **ENTER** te druk. Alternatiewelik kan die ontwerper die optimering herhaal deur na die funksionele veld "Inset" terug te beweeg.

Soortgelyk aan bogenoemde word al die kern-elemente van die funksionele veld "Skerm" hanteer.

6.2.8 Programuitset

Drukstukke

Die Optivloed 2.2-program maak voorsiening vir die uitdruk van resultate. Die funksionele veld "Lêer" en die kern-element "Uitdruk" word gebruik. Tabel 6.1 toon 'n voorbeeld van 'n rekenaardrukstuk vir Optivloed 2.2-resultate. Die insette soos in die program ingevoer word weergegee sowel as die resultate van die optimering en die finale ontwerp.

Tabel 6.1 Resultate van die Optivloed 2.2-program.

OPTIMERING			
GEWAS INFORMASIE			
NAAM	KORING	MIELIES	LUSERN
Vloeiweerstand	0.15 mm	0.04 mm	0.25 mm
Worteldiepte	0.60 mm	0.60 m	0.60 mm
Gewasfaktor	1.00	1.00	1.00
Opbrengsmikpunt	6000 kg	9000 kg	2500 kg
Daaglikse vogbehoefte	7 mm	11 mm	6 mm
Toedieningsdoeltreffendheid	90 %	85 %	100 %
P.B.W.K.	150 mm	150 mm	150 mm
Gekose toediening	110 mm	90 mm	130 mm
Infiltrasie konstante - a	0.000102	0.000126	0.000232
Infiltrasie konstante - b	0.660000	0.680000	0.720000
GRONDTIPE			
Grond series			
Persentasie klei	15.00 %		
Gronddiepte	1.00 %		
WATERVOORSIENING			
Stroomgrootte	420 (l/s)/m		
Ure per week	72 ure		
Kapasiteit van dam	1800 kubieke m		
Tipe aanvoer			
Verspreidingstelsel			
FISIESE AFMETINGS			
Lengte helling	0.0013 m/m		
Dwars helling	0.0001 m/m		
Maksimum lengte	1000.0 m		
Voortjiespasiëring	0.9 m		
Beddingwydte	10.0 m		
MEGANISASIE			
Wortelbedbewerking	rip,dis saai, rol		
Oppervlakterofheid			
Duike en poele			
Haalbaarheid van spesifikasies.	± 30 mm		
Onderhoud			
Bestuurstyl	1.0		

RESULTATE: TOEDIENING IN mm			
GEWAS 1 - KORING			
Lengte	Lae Infiltrasie	Normale Infiltrasie	Hoë Infiltrasie
0 m	0.0 mm	0 mm	0 mm
50 m	18.4 mm	24 mm	38 mm
100 m	24.0 mm	32 mm	60 mm
150 m	27.5 mm	38 mm	785 mm
200 m	30.0 mm	42 mm	87 mm
250 m	32.0 mm	45 mm	97 mm
300 m	33.6 mm	48 mm	105 mm
350 m	35.1 mm	50 mm	112 mm
400 m	36.3 mm	52 mm	119 mm
450 m	37.4 mm	54 mm	124 mm
500 m	38.5 mm	56 mm	130 mm
550 m	39.4 mm	57 mm	134 mm
600 m	40.3 mm	58 mm	139 mm
650 m	41.1 mm	60 mm	143 mm
700 m	41.8 mm	61 mm	147 mm
750 m	42.5 mm	62 mm	150 mm
800 m	43.3 mm	63 mm	154 mm
850 m	43.9 mm	64 mm	157 mm
900 m	44.5 mm	65 mm	160 mm
950 m	45.1 mm	66 mm	163 mm
1000 m	45.6 mm	67mm	166 mm
GEWAS 2 - Mielies			
Lengte	Lae Infiltrasie	Normale Infiltrasie	Hoë Infiltrasie
0 m	0.0 mm	0 mm	0 mm
50 m	9.3 mm	12 mm	18 mm
100 m	12.1 mm	16 mm	28 mm
150 m	14.0 mm	19 mm	36 mm
200 m	15.4 mm	21 mm	42 mm
250 m	16.3 mm	23 mm	46 mm
300 m	17.4 mm	24 mm	50 mm
350 m	18.0 mm	25 mm	54 mm
400 m	18.6 mm	265 mm	57 mm
450 m	19.3 mm	27 mm	60 mm
500 m	19.9 mm	28 mm	63 mm
550 m	20.4 mm	29 mm	65 mm
600 m	20.9 mm	30 mm	67 mm
650 m	21.2 mm	30 mm	69 mm
700 m	21.7 mm	31 mm	71 mm
750 m	22.0 mm	31 mm	73 mm
800 m	22.3 mm	32 mm	74 mm
850 m	22.7 mm	32 mm	76 mm
900 m	23.1 mm	33 mm	77 mm
950 m	23.3 mm	34 mm	79 mm
1000 m	23.7 mm	34 mm	80 mm

GEWAS 3 - Lusern			
Lengte	Lae Infiltrasie	Normale Infiltrasie	Hoë Infiltrasie
0 m	0.0 mm	0 mm	0 mm
50 m	25.5 mm	33 mm	52 mm
100 m	33.3 mm	45 mm	83 mm
150 m	37.9 mm	53 mm	105 mm
200 m	41.4 mm	58 mm	123 mm
250 m	44.3 mm	63 mm	137 mm
300 m	46.5 mm	67 mm	149 mm
350 m	48.6 mm	70 mm	159 mm
400 m	50.4 mm	73 mm	168 mm
450 m	51.9 mm	75 mm	176 mm
500 m	53.4 mm	78 mm	184 mm
550 m	54.6 mm	80 mm	191 mm
600 m	55.9 mm	82 mm	197 mm
650 m	57.0 mm	84 mm	203 mm
700 m	58.1 mm	85 mm	208 mm
750 m	59.2 mm	87 mm	213 mm
800 m	60.1 mm	88 mm	218 mm
850 m	61.0 mm	90 mm	223 mm
900 m	61.7 mm	91 mm	227 mm
950 m	62.6 mm	93 mm	232 mm
1000 m	63.4 mm	94 mm	236 mm

FINALE ONTWERP			
ONTWERP RESULTATE			
Gewas	Koring	Mielies	Lusern
Vloeiweerstand	0.15 mm	0.04 mm	0.25 mm
Worteldiepte	0.60 m	0.60 m	0.60 m
Gewasfaktor	1.00	1.00	1.00
Opbrengsmikpunt	6000 kg	9000 kg	25000 kg
Daaglikse vogbehoefes	7 mm	11 mm	6 mm
Toedieningsdoeltreffendheid	90 %	85 %	100 %
P.B.W.K.	150 mm	150 mm	150 mm
Helling	0.00130 m/m	0.00130 m/m	0.00130 m/m
Infiltrasie konstante - a	0.000126	0.000126	0.000126
Infiltrasie konstante - b	0.680000	0.680000	0.680000
Aantal blokke	10	10	10
Lengte van blok	100 m	100 m	100 m
Toediening verkry	30.00 mm	30.00 mm	30.00 mm
Spitskapasiteit	7.78 mm/dag	12.94 mm/dag	6.00 mm/dag
Kortste siklus	3.86 dae	2.32 dae	5.00 dae
Eenheidstroomgrootte	1.27 (l/s)/m	0.81 (l/s)/m	1.70 (l/s)/m
Afsnytyd	39.45 min	61.35 min	29.44 min
Netto kontaktyd	52.13 min	52.13 min	52.13 min

Datalêers

Die funksionele veld "Lêer" maak ook voorsiening vir die oordrag van resultate deur middel van datalêers. Die kern-element "Datalêer" word hiervoor gebruik.

6.2.9 Rand- en standaard-waardes ("Default Values")

Randwaardes is gestel ten opsigte van die data wat ingelees word ten einde die formaat binne die C++-program te kan verstel. Die ontwerper

kan dus sy eie waardes slegs binne die geformateerde perke in die program inlees. Normaalweg sou nulwaardes nie bereken kan word nie en 'n aantal standaardwaardes ("Default values") is gestel sodat die berekeninge kan vlot.

Soos bespreek in paragraaf 5.4 is in die huidige vloedbesproeiingsprojek nie voorsiening gemaak vir die ondersoek en stel van funksionele randvoorwaardes ten opsigte van die optimale resultate van die Optivloed 2.2- program nie. Die onus rus tans op die ontwerper om seker te maak dat sy ontwerp binne prakties uitvoerbare perke sal wees ten opsigte van:

- * Maksimum nie-erodeerbare stroomgrootte
- * Minimum vloeddiepte
- * Maksimum beddinglengte
- * Minimum hellings waarvoor die program geld.

HOOFSTUK 7

EVALUERING VAN DIE OPTIVLOED 2.2-PROGRAM

7.1 INLEIDING

In **Volume 2** (paragraaf 3.6), is die vereistes gestel waaraan 'n ontwerpprocedure, onder Suid-Afrikaanse toestande, moet voldoen. Die OPTIVLOED 2.2-program moet aan die hand van hierdie vereistes evalueer word.

7.2 EVALUERING VAN DIE ONTWERPPROSEDURE

Die OPTIVLOED 2.2-ontwerpprocedure is ontwikkel aan die hand van die vereistes soos in **Volume 2**, (paragraaf 3.6) gestel.

- Die procedure voldoen aan die *Funksionele vereistes* gestel in **Volume 2** (paragraaf 5.2.1). Daar is veral klem gelê op die wetenskaplike fundering van elke stap in die ontwikkeling van Optivloed.2.2.
- Die Optivloed 2.2-procedure neem al die kern-elemente tydens hidrouliese ontwerp in ag. (Sommige kern-elemente word tans egter nog nie in die rekenaarprogram verreken nie.) Optimering van die ontwerp vind op twee wyses plaas: Eerstens "fokus" die rekenaarprogram die ontwerp in 'n optimale ontwerpondersoek-gebied. Tweedens lei die program die ontwerper om, *objektief*, deur middel van gekwantifiseerde inligting die ontwerp finaal vir die heersende praktiese toestande te optimeer.
- Die Optivloed 2.2-program is geprogrammeer met die potensiaal om bepaalde sub-roetines te kan aanpas, indien nodig. Die waarde van "programkonstantes" is ook verstelbaar (Hoofstuk 5: Hierdie aanpassings val buite die bestek van die huidige Waternavorsingskommissie-projek.)

- Die hidrouliese verbande kan korrek deur die Optivloed 2.2-program opgelos word, indien die insette en konstantes op die ontwerp van toepassing is (Vergelyk die resultate verkry in paragraaf 7.3 in die verband.)
- Die Optivloed 2.2- program is universeel toepasbaar weens die feit dat daar vir die verskillende bestuurstyl in die program voorsiening gemaak word. Die program is veral van toepassing onder Suid-Afrikaanse toestande waar beddings sonder uitvloeit ontwerp word.
- Die Optivloed 2.2-prosedure lewer vinnige en akkurate oplossings vir die ontwerp van vloedbesproeiing. Met die Optivloed 2.2-program kan die ontwerper binne enkele minute 'n ontwerp afhandel wat andersins ure sou neem. **Tabelle of 'n Rekenaarprogram** kan gebruik word. Die tabelle is meer gerig op die opleiding van studente en boere, aangesien slegs enkele oplossings so voorgestel kan word.

7.3 VERGELYKING VAN RESULTATE

Die geloofwaardigheid van die Optivloed 2.2-program kan alleenlik bewys word deur die vergelyking van resultate. Daar bestaan twee bronne waarmee vergelykings gedoen kan word naamlik:

- * Gesimuleerde data soos in hoofstuk 2 beskryf (Kruger 1989).
- * Gemete data soos in **Volume 3** beskryf.

In beide gevalle moet die data eers verwerk word alvorens dit met Optivloed 2.2-resultate vergelyk kan word. (Die verwerking en vergelyking is 'n uitgebreide taak wat in 'n opvolgprojek aangespreek behoort te word.)

Volledigheidshalwe word slegs enkele stelsel verwerkte data met die resultate van die Optivloed 2.2-program vergelyk. Paragrafe 7.3.2 en 7.3.3 toon die resultaat van hierdie oppervlakkige vergelyking aan.

7.3.1 Metode

Dataseleksie

In **Volume 3** is 'n groot volume data gebruik om simuleringmodelle te toets. Sommige van die data is bruikbaar met die oog op die vergelyking met Optivloed 2.2-resultate.

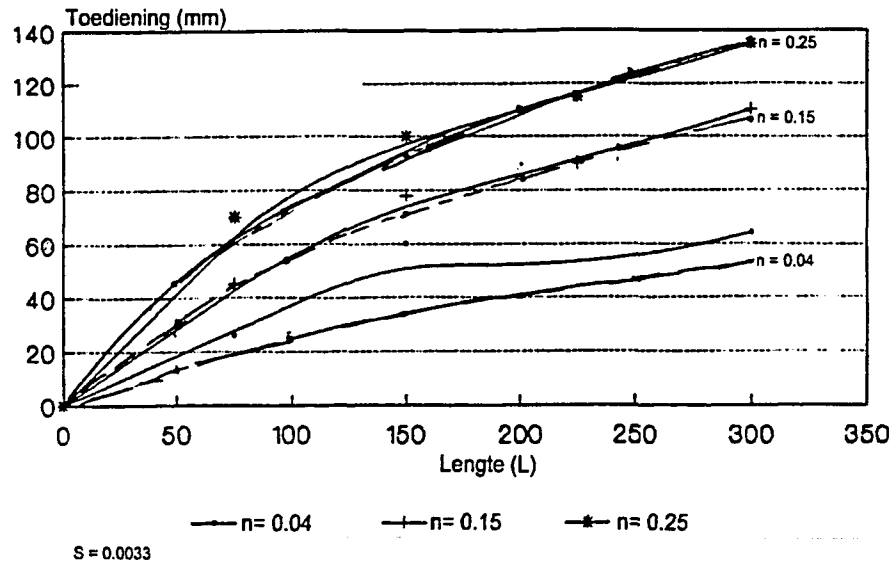
As basiese maatstaf is die volgende kriteria gebruik:

- * Die besproeiing moet oor die volle bedding se lengte plaasvind ten einde die korrekte afdrogingsfronttempo te weerspieël - vergelykbaar met die Optivloed 2.2 se aanname.
- * Die waarde van die α_3 -bestuursensitiwiteitskonstante moet uit die gemete vorderings- en afdrogingsfrontkrommes analiseer kan word.

7.3.2 Vergelyking met gesimuleerde data (Kruger, 1989)

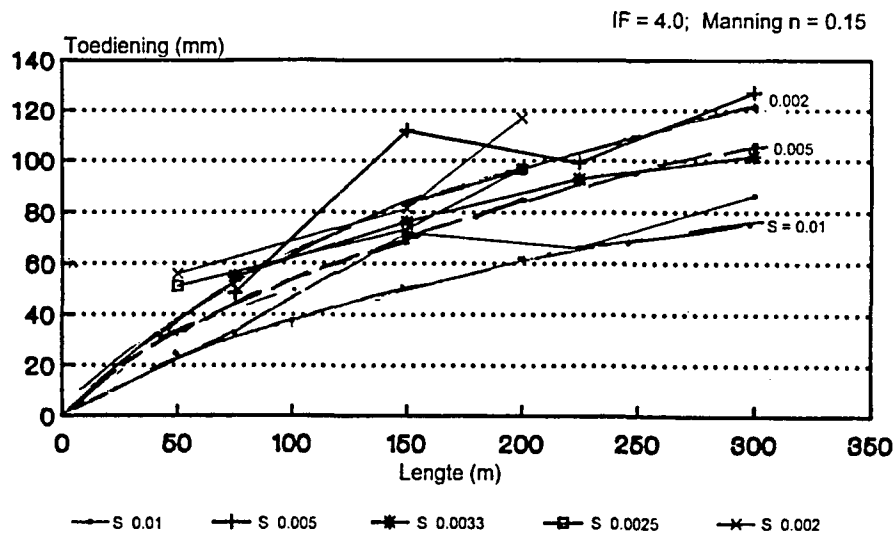
Figure 7.1 tot 7.3 toon die resultate van die vergelyking tussen die optimale lengte/toediening-verband. Die resultate van die Optivloed 2.2-program is geldig vir 'n bestuursfaktor van $\alpha_3 = 1.0$. Die data uit Kruger (1989) geld oor 'n spektrum van bestuursensitiwiteitswaardes.

Uit Figuur 7.1 is dit duidelik dat 'n goeie verband bestaan tussen die gesimuleerde data (Kruger, 1989) en die voorspelde resultate van die Optivloed 2.2-program.



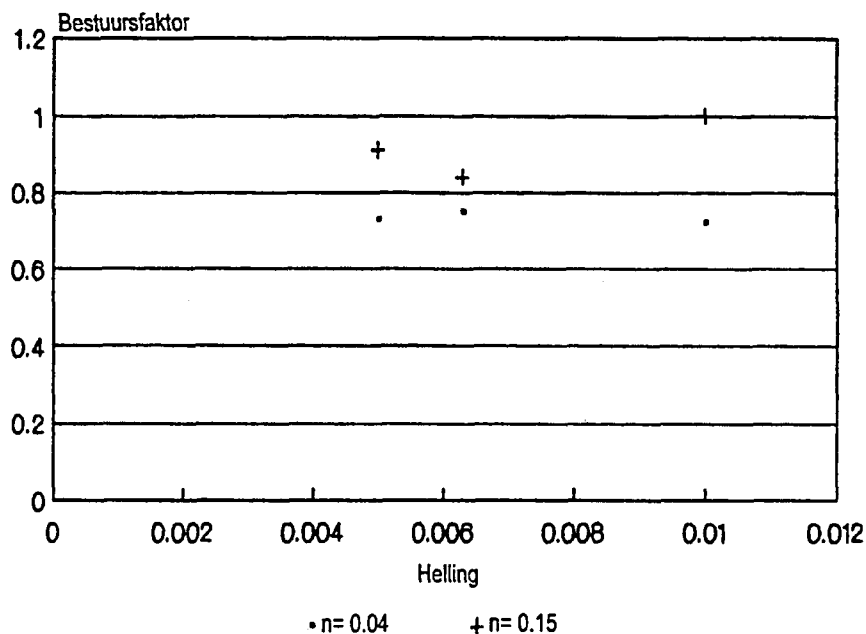
Figuur 7.1 Vergelyking tussen die voorspelde resultate van die Optivloed 2.2-program en die Borderflow-gesimuleerde verband tussen lengte en toediening vir 'n tipiese Vaalhartsgrond vir verskillende vloeiweerstandswaardes.

Die data in Figuur 7.2 toon 'n swakker korrelasie as dié van Figuur 7.1. Die verklaring hiervoor is te vinde in die bestuursfaktor α_3 . In Figuur 7.3 word die bestuursfaktor gewysig en en die resultaat daarvan met die data in Figuur 7.2 vergelyk.



Figuur 7.2 Vergelyking tussen voorspelde resultate van die Optivloed 2.2-program en Borderflow-gesimuleerde waardes vir lengte en toediening by verskillende hellings.

Vanuit Figuur 7.3 is daar 'n goeie ooreenkoms tussen die gesimuleerde- en voorspelde Optivloed 2.2-waardes. Tabel 7.1 toon die onderskeie waardes van die bestuursfaktor α_3 soos vir die gesimuleerde-data (Kruger, 1989) en Optivloed 2.2-data bereken.



Figuur 7.3 Datavergelyking met in agneming van die bestuursfaktor

Tabel 7.1 Data waaruit die bestuursfaktor α_3 vir tipiese 4.0 IF gronde ontleed is

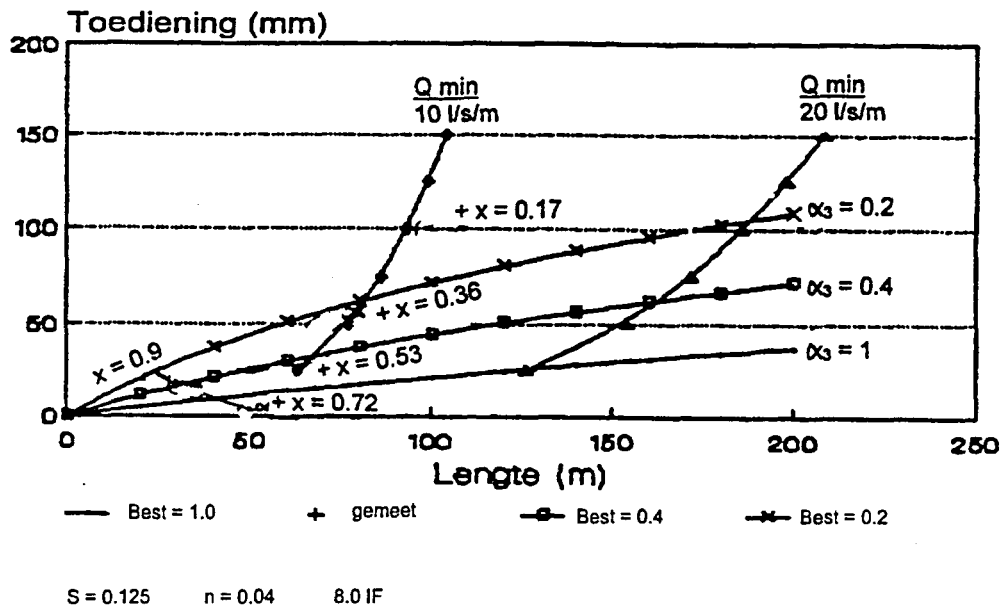
	S = 0,01	S = 0,0063	S = 0,005
n = 0,04	$\alpha_3 = 0,72$	$\alpha_3 = 0,72$	0,72
n = 0,15	$\alpha_3 = 1$	$\alpha_3 = 0,84$	0,91

7.3.3 Vergelyking met gemete data op gronde met ultrahoë infiltrasietempo's

Tydens die huidige Waternavorsingskommissie-projek is data op gronde met ultrahoë infiltrasietempo's ingesamel. Die bestuursfaktor α_3 is

bepaal. Die data word vergelyk met Optivloed- 2.2 resultate en in Figuur 7.4 voorgestel. Dit is duidelik dat 'n goeie ooreenkoms tussen die voorspelde en as gemete resultate bestaan.

Beddings



Figuur 7.4 Vergelyking tussen gemete en Optivloed 2.2-voorspelde waardes vir α_3 op gronde met 'n ultrahoe infiltrasietempo
(Best = bestuursfaktor α_3)

7.4 GEVOLGTREKKING EN AANBEVELING

Die Optivloed 2.2-program lewer goeie resultate en voldoen dus aan die vereistes gestel vir 'n rekenariseerbare ontwerpprocedure. Bepaalde leemtes wat nog in hierdie program as gevolg van onvoldoende navorsing bestaan, is in Volume 4 uitgewys. Die leemtes behoort ondersoek te word.

LITERATUURVERWYSINGS

- DU RAND, D.J. & KRUGER, G.H.J., 1991. Surface irrigation in South Africa - The challenge. *Proceedings of the Southern African Irrigation Symposium*, Durban, South Africa.
- ELLIOT, R.L., WALKER, W.R. & SKOGERBOE, G.V., 1982. Zero-Inertia Modeling for furrow irrigation advance. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 108(IR3): 179-195.
- ESSAFI, B., 1983. *A recursive volume balance model for continuous and surge flow irrigation*. Utah State University, Logan, Utah.
- FOK, T. AND BISHOP, A.A., 1965. Analysis of water advance in surface irrigation. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 91(IR1):99-117.
- HART, W.E., BASSET, D.L. & STRELKOFF, T., 1968. Surface irrigation hydraulics-kinematics. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 94(4):419-440.
- JENSEN, M.E. (Ed.), 1980. *Design and operation of farm irrigation systems*. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, Michigan. USA.
- KIEFER, F.W., 1959. *Average depth of absorbed water in surface irrigation*. Civil Engineering Department, Utah State University, Logan, Utah.
- KRUGER, G.H.J., 1986. Furrow irrigation. *Proceedings of the International Symposium on Agricultural engineering*. Januarie, Pretoria. CIGR, section 1:1.125-1.134.
- KRUGER, G.H.J., 1989. Hidrodinamiese ontwerp van vloedbesproeiing stelsels. *Landbou Ingenieurswese in Suid Afrika*, 21(1):137-144.
- LEWIS, M.R. & MILNE, W.E., 1938. Analysis of border irrigation. *Agric. Eng.*, 19:267-272.

MERRIAM, J.L., 1978. Border-strip irrigation design- procritical approach from a theoretical basis. *ASAE. Summer meeting*. Utah State University. USA.

STRELKOFF, T., 1977. Algebraic computation of flow in border irrigation. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 103(IR3):357-377.

STRELKOFF, T. & KATAPODES, N.D., 1977. Border irrigation hydraulics with Zero-Inertia. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.* 103(IR3):325-342.

WALKER, W.R. & SKOGERBOE, G.V., 1987. *Surface irrigation: theory and practice*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.

WU, I-PAI & BISHOP, A.A., 1970. Graphic relation of intake length-of-run and time. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 96:233-240.

SIMULERINGSMODELLE

STRELKOFF, T., 1985. BRDRFLW: A mathematical model of border irrigation. United States Department of Agriculture, Phoenix, Arisona.

WALKER, WR., 1989. SIRMOD : Surface irrigation simulation software. Utah State University, Logan, Utah.

BYLAE A

NOTA: Let asseblief daarop dat die resultate wat hier in die tabelle verskaf word nie verteenwoordigend van alle ontwerpresultate is nie. Slegs beperkte data word hier verskaf ten einde die program te illustreer.

Die resultate in die onderstaande tabelle moet dus nie sondermeer vir die ontwerp van vloedbesproeiing aangewend word nie.

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

RESULTATE:

Slope / Helling $S = .01$

Bare Soil / Kaalgrond

Manning $n = 0.04$

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltrasiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 m	0.0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm
50 m	5.5 mm	6.8 mm	8 mm	10 mm	11.0 mm	12 mm	12 mm
100 m	7.5 mm	9.6 mm	13 mm	16 mm	19.0 mm	21 mm	22 mm
150 m	8.5 mm	11.2 mm	16 mm	20 mm	25.3 mm	29 mm	32 mm
200 m	9.5 mm	12.5 mm	18 mm	24 mm	30.5 mm	35 mm	40 mm
250 m	10.0 mm	13.7 mm	19 mm	27 mm	34.9 mm	41 mm	47 mm
300 m	10.5 mm	14.5 mm	21 mm	29 mm	38.7 mm	46 mm	54 mm
350 m	11.2 mm	15.3 mm	22 mm	31 mm	42.2 mm	51 mm	60 mm
400 m	11.6 mm	15.9 mm	23 mm	33 mm	45.1 mm	55 mm	66 mm
450 m	11.8 mm	16.4 mm	24 mm	35 mm	47.9 mm	59 mm	71 mm
500 m	12.2 mm	17.0 mm	25 mm	36 mm	50.5 mm	63 mm	76 mm
550 m	12.5 mm	17.5 mm	26 mm	38 mm	52.8 mm	66 mm	81 mm
600 m	12.8 mm	18.0 mm	27 mm	39 mm	55.0 mm	70 mm	86 mm
650 m	13.2 mm	18.3 mm	28 mm	40 mm	57.0 mm	72 mm	90 mm
700 m	13.3 mm	18.7 mm	28 mm	42 mm	59.0 mm	75 mm	94 mm
750 m	13.6 mm	19.1 mm	29 mm	43 mm	60.8 mm	78 mm	98 mm
800 m	13.8 mm	19.3 mm	29 mm	44 mm	62.6 mm	81 mm	102 mm
850 m	14.0 mm	19.7 mm	30 mm	45 mm	64.2 mm	83 mm	105 mm
900 m	14.2 mm	20.1 mm	30 mm	45 mm	65.8 mm	85 mm	109 mm
950 m	14.4 mm	20.3 mm	31 mm	46 mm	67.2 mm	87 mm	112 mm
1000 m	14.7 mm	20.7 mm	32 mm	47 mm	68.6 mm	90 mm	115 mm

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

RESULTATE:

Slope / Helling $S = .00833$

Bare Soil / Kaalgrond

Manning $n = 0.04$

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltrasiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 m	0.0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm
50 m	5.8 mm	7.1 mm	9 mm	10 mm	11.6 mm	12 mm	13 mm
100 m	7.8 mm	10.0 mm	13 mm	17 mm	20.0 mm	22 mm	24 mm
150 m	9.0 mm	11.7 mm	16 mm	21 mm	26.6 mm	30 mm	33 mm
200 m	9.9 mm	13.0 mm	18 mm	25 mm	32.0 mm	37 mm	42 mm
250 m	10.4 mm	14.2 mm	20 mm	28 mm	36.6 mm	43 mm	50 mm
300 m	11.0 mm	15.2 mm	22 mm	30 mm	40.6 mm	49 mm	57 mm
350 m	11.6 mm	15.9 mm	23 mm	33 mm	44.1 mm	54 mm	63 mm
400 m	12.0 mm	16.5 mm	24 mm	35 mm	47.3 mm	58 mm	69 mm
450 m	12.4 mm	17.1 mm	25 mm	36 mm	50.2 mm	62 mm	75 mm
500 m	12.7 mm	17.6 mm	26 mm	38 mm	52.8 mm	66 mm	80 mm
550 m	13.0 mm	18.2 mm	27 mm	39 mm	55.3 mm	70 mm	85 mm
600 m	13.4 mm	18.6 mm	28 mm	41 mm	57.6 mm	73 mm	90 mm
650 m	13.7 mm	19.0 mm	29 mm	42 mm	59.7 mm	76 mm	94 mm
700 m	14.0 mm	19.4 mm	29 mm	43 mm	61.7 mm	79 mm	99 mm
750 m	14.1 mm	19.8 mm	30 mm	45 mm	63.7 mm	82 mm	103 mm
800 m	14.3 mm	20.2 mm	31 mm	46 mm	65.5 mm	84 mm	107 mm
850 m	14.5 mm	20.5 mm	31 mm	47 mm	67.2 mm	87 mm	110 mm
900 m	14.8 mm	20.8 mm	32 mm	47 mm	68.8 mm	89 mm	114 mm
950 m	15.0 mm	21.3 mm	32 mm	48 mm	70.3 mm	92 mm	117 mm
1000 m	15.2 mm	21.5 mm	33 mm	49 mm	71.8 mm	94 mm	121 mm

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

RESULTATE:

Slope / Helling $S = .0063$

Bare Soil / Kaalgrond

Manning $n = 0.04$

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltrasiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 m	0.0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm
50 m	6.2 mm	7.6 mm	10 mm	11 mm	12.5 mm	13 mm	14 mm
100 m	8.3 mm	10.7 mm	14 mm	18 mm	21.6 mm	24 mm	26 mm
150 m	9.5 mm	12.5 mm	17 mm	23 mm	28.7 mm	33 mm	36 mm
200 m	10.4 mm	13.9 mm	20 mm	27 mm	34.5 mm	40 mm	45 mm
250 m	11.1 mm	15.2 mm	22 mm	30 mm	39.5 mm	47 mm	54 mm
300 m	11.7 mm	16.1 mm	23 mm	33 mm	43.8 mm	53 mm	61 mm
350 m	12.3 mm	16.9 mm	25 mm	35 mm	47.5 mm	58 mm	69 mm
400 m	12.7 mm	17.5 mm	26 mm	37 mm	51.0 mm	63 mm	75 mm
450 m	13.1 mm	18.2 mm	27 mm	39 mm	54.0 mm	67 mm	81 mm
500 m	13.4 mm	18.7 mm	28 mm	41 mm	56.8 mm	71 mm	87 mm
550 m	13.8 mm	19.3 mm	29 mm	42 mm	59.4 mm	75 mm	92 mm
600 m	14.2 mm	19.9 mm	30 mm	44 mm	61.9 mm	79 mm	97 mm
650 m	14.5 mm	20.2 mm	31 mm	45 mm	64.2 mm	82 mm	102 mm
700 m	14.7 mm	20.6 mm	31 mm	46 mm	66.3 mm	85 mm	107 mm
750 m	15.0 mm	21.0 mm	32 mm	48 mm	68.4 mm	88 mm	111 mm
800 m	15.2 mm	21.5 mm	33 mm	49 mm	70.3 mm	91 mm	115 mm
850 m	15.4 mm	21.8 mm	33 mm	50 mm	72.1 mm	94 mm	119 mm
900 m	15.7 mm	22.3 mm	34 mm	51 mm	73.8 mm	96 mm	123 mm
950 m	15.9 mm	22.6 mm	34 mm	52 mm	75.5 mm	99 mm	127 mm
1000 m	16.0 mm	22.7 mm	35 mm	52 mm	77.1 mm	101 mm	130 mm

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

RESULTATE:

Slope / Helling $S = .003$

Bare Soil / Kaalgrond

Manning $n = 0.04$

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltrasiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 m	0.0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm
50 m	7.4 mm	9.2 mm	12 mm	14 mm	15.5 mm	16 mm	17 mm
100 m	9.8 mm	12.8 mm	17 mm	22 mm	26.5 mm	29 mm	32 mm
150 m	11.2 mm	15.0 mm	21 mm	28 mm	35.1 mm	40 mm	45 mm
200 m	12.2 mm	16.7 mm	24 mm	33 mm	42.2 mm	49 mm	56 mm
250 m	13.2 mm	18.1 mm	26 mm	36 mm	48.0 mm	57 mm	66 mm
300 m	13.9 mm	19.2 mm	28 mm	40 mm	53.2 mm	64 mm	76 mm
350 m	14.5 mm	20.0 mm	30 mm	42 mm	57.7 mm	71 mm	84 mm
400 m	15.1 mm	20.8 mm	31 mm	45 mm	61.8 mm	77 mm	92 mm
450 m	15.5 mm	21.7 mm	32 mm	47 mm	65.5 mm	82 mm	100 mm
500 m	15.9 mm	22.4 mm	34 mm	49 mm	68.9 mm	87 mm	107 mm
550 m	16.4 mm	23.0 mm	35 mm	51 mm	72.0 mm	91 mm	113 mm
600 m	16.8 mm	23.5 mm	36 mm	53 mm	75.0 mm	96 mm	119 mm
650 m	17.1 mm	24.1 mm	37 mm	54 mm	77.7 mm	100 mm	125 mm
700 m	17.4 mm	24.5 mm	37 mm	56 mm	80.2 mm	104 mm	131 mm
750 m	17.7 mm	25.0 mm	38 mm	57 mm	82.7 mm	107 mm	136 mm
800 m	17.9 mm	25.6 mm	39 mm	58 mm	85.0 mm	111 mm	141 mm
850 m	18.3 mm	26.0 mm	40 mm	60 mm	87.1 mm	114 mm	146 mm
900 m	18.5 mm	26.2 mm	40 mm	61 mm	89.2 mm	117 mm	151 mm
950 m	18.9 mm	26.7 mm	41 mm	62 mm	91.1 mm	120 mm	155 mm
1000 m	19.0 mm	27.1 mm	42 mm	63 mm	93.0 mm	123 mm	159 mm

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

Slope / Helling $S = .002$

Bare Soil / Kaalgrond

RESULTATE:

Manning $n = 0.04$

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltrasiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 E	0.0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE
50 E	8.2 EE	10.3 EE	13 EE	15 EE	17.4 EE	19 EE	19 EE
100 E	10.7 EE	14.1 EE	19 EE	25 EE	29.9 EE	33 EE	36 EE
150 E	12.4 EE	16.7 EE	23 EE	31 EE	39.5 EE	45 EE	50 EE
200 E	13.6 EE	18.5 EE	27 EE	37 EE	47.3 EE	56 EE	63 EE
250 E	14.5 EE	20.1 EE	29 EE	41 EE	53.9 EE	65 EE	75 EE
300 E	15.4 EE	21.1 EE	31 EE	44 EE	59.6 EE	72 EE	85 EE
350 E	16.0 EE	22.2 EE	33 EE	47 EE	64.7 EE	80 EE	95 EE
400 E	16.5 EE	23.2 EE	35 EE	50 EE	69.3 EE	86 EE	104 EE
450 E	17.2 EE	24.1 EE	36 EE	53 EE	73.5 EE	92 EE	112 EE
500 E	17.7 EE	24.8 EE	37 EE	55 EE	77.2 EE	98 EE	120 EE
550 E	18.0 EE	25.4 EE	39 EE	57 EE	80.7 EE	103 EE	127 EE
600 E	18.4 EE	26.0 EE	40 EE	59 EE	83.9 EE	108 EE	134 EE
650 E	18.9 EE	26.6 EE	41 EE	61 EE	87.1 EE	112 EE	141 EE
700 E	19.2 EE	27.1 EE	42 EE	62 EE	89.9 EE	116 EE	147 EE
750 E	19.6 EE	27.8 EE	43 EE	64 EE	92.6 EE	120 EE	153 EE
800 E	19.8 EE	28.2 EE	43 EE	65 EE	95.1 EE	124 EE	159 EE
850 E	20.1 EE	28.7 EE	44 EE	67 EE	97.5 EE	128 EE	164 EE
900 E	20.5 EE	29.2 EE	45 EE	68 EE	99.8 EE	131 EE	169 EE
950 E	20.8 EE	29.6 EE	46 EE	69 EE	102.0 EE	135 EE	174 EE
1000 E	21.0 EE	29.9 EE	46 EE	70 EE	104.1 EE	138 EE	179 EE

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

RESULTATE:

Slope / Helling $S = .0013$

Bare Soil / Kaalgrond

Manning $n = 0.04$

Lenght. Lengte (.m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltrasiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 E	0.0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE
50 E	9.2 EE	11.6 EE	15 EE	18 EE	19.7 EE	21 EE	22 EE
100 E	12.0 EE	15.9 EE	22 EE	28 EE	33.8 EE	38 EE	41 EE
150 E	14.0 EE	18.7 EE	27 EE	36 EE	44.7 EE	51 EE	57 EE
200 E	15.3 EE	20.9 EE	30 EE	41 EE	53.6 EE	63 EE	72 EE
250 E	16.2 EE	22.5 EE	32 EE	46 EE	61.1 EE	73 EE	85 EE
300 E	17.3 EE	23.8 EE	35 EE	50 EE	67.7 EE	82 EE	97 EE
350 E	18.0 EE	25.0 EE	37 EE	54 EE	73.4 EE	90 EE	108 EE
400 E	18.6 EE	26.1 EE	39 EE	57 EE	78.6 EE	98 EE	118 EE
450 E	19.3 EE	27.0 EE	41 EE	60 EE	83.3 EE	105 EE	128 EE
500 E	19.8 EE	27.9 EE	42 EE	62 EE	87.6 EE	111 EE	137 EE
550 E	20.3 EE	28.6 EE	44 EE	64 EE	91.6 EE	117 EE	145 EE
600 E	20.7 EE	29.3 EE	45 EE	67 EE	95.3 EE	122 EE	153 EE
650 E	21.2 EE	30.0 EE	46 EE	69 EE	98.8 EE	128 EE	160 EE
700 E	21.6 EE	30.6 EE	47 EE	70 EE	102.1 EE	132 EE	168 EE
750 E	21.9 EE	31.2 EE	48 EE	72 EE	105.1 EE	137 EE	174 EE
800 E	22.3 EE	31.8 EE	49 EE	74 EE	109.0 EE	141 EE	181 EE
850 E	22.6 EE	32.2 EE	50 EE	75 EE	110.7 EE	145 EE	187 EE
900 E	23.0 EE	32.9 EE	51 EE	77 EE	113.3 EE	149 EE	193 EE
950 E	23.3 EE	33.3 EE	52 EE	78 EE	115.8 EE	153 EE	199 EE
1000 E	23.6 EE	33.7 EE	52 EE	80 EE	118.1 EE	157 EE	204 EE

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

RESULTATE:

Slope / Helling $S = .001$

Bare Soil / Kaalgrond

Manning $n = 0.04$

Lenght. Lengte (m.)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltrasiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 E	0.0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE
50 E	10.2 EE	12.8 EE	16 EE	19 EE	21.6 EE	23 EE	24 EE
100 E	13.3 EE	17.5 EE	24 EE	31 EE	37.1 EE	41 EE	45 EE
150 E	15.4 EE	20.7 EE	29 EE	39 EE	49.2 EE	56 EE	63 EE
200 E	16.9 EE	23.1 EE	33 EE	46 EE	59.1 EE	69 EE	79 EE
250 E	17.9 EE	24.9 EE	36 EE	51 EE	67.5 EE	81 EE	93 EE
300 E	19.0 EE	26.3 EE	39 EE	55 EE	74.8 EE	91 EE	107 EE
350 E	19.8 EE	27.6 EE	41 EE	59 EE	81.2 EE	100 EE	119 EE
400 E	20.4 EE	28.8 EE	43 EE	63 EE	87.0 EE	109 EE	130 EE
450 E	21.2 EE	29.8 EE	45 EE	66 EE	92.2 EE	116 EE	141 EE
500 E	21.8 EE	30.7 EE	47 EE	69 EE	97.0 EE	123 EE	151 EE
550 E	22.4 EE	31.7 EE	48 EE	71 EE	101.5 EE	129 EE	160 EE
600 E	22.8 EE	32.4 EE	50 EE	74 EE	105.7 EE	136 EE	169 EE
650 E	23.2 EE	33.1 EE	51 EE	76 EE	109.5 EE	141 EE	178 EE
700 E	23.8 EE	33.8 EE	52 EE	78 EE	113.1 EE	147 EE	186 EE
750 E	24.2 EE	34.5 EE	53 EE	80 EE	116.6 EE	152 EE	193 EE
800 E	24.5 EE	35.1 EE	54 EE	82 EE	119.8 EE	157 EE	200 EE
850 E	25.0 EE	35.6 EE	55 EE	84 EE	122.9 EE	161 EE	207 EE
900 E	25.3 EE	36.3 EE	56 EE	85 EE	125.8 EE	166 EE	214 EE
950 E	25.6 EE	36.7 EE	57 EE	87 EE	128.5 EE	170 EE	221 EE
1000 E	26.0 EE	37.4 EE	58 EE	88 EE	131.2 EE	174 EE	227 EE

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

RESULTATE:

Slope / Helling $S = 0.0125$

Wheat / Koring

Manning $n = 0.15$

gk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltratiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 E	0.0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE
50 E	9.6 EE	12.2 EE	16 EE	19 EE	21.7 EE	23 EE	24 EE
100 E	12.4 EE	16.6 EE	23 EE	30 EE	36.6 EE	41 EE	45 EE
150 E	14.3 EE	19.4 EE	28 EE	38 EE	48.0 EE	56 EE	63 EE
200 E	15.5 EE	21.5 EE	31 EE	43 EE	57.1 EE	68 EE	78 EE
250 E	16.6 EE	23.1 EE	34 EE	48 EE	64.8 EE	78 EE	92 EE
300 E	17.5 EE	24.4 EE	36 EE	52 EE	71.4 EE	88 EE	105 EE
350 E	18.2 EE	25.7 EE	38 EE	56 EE	77.3 EE	96 EE	116 EE
400 E	19.0 EE	26.7 EE	40 EE	59 EE	82.5 EE	104 EE	127 EE
450 E	19.6 EE	27.7 EE	42 EE	62 EE	87.2 EE	111 EE	137 EE
500 E	20.2 EE	28.4 EE	43 EE	64 EE	91.6 EE	117 EE	146 EE
550 E	20.6 EE	29.1 EE	45 EE	66 EE	95.6 EE	123 EE	155 EE
600 E	21.1 EE	29.9 EE	46 EE	69 EE	99.4 EE	129 EE	163 EE
650 E	21.4 EE	30.6 EE	47 EE	71 EE	102.8 EE	134 EE	170 EE
700 E	21.8 EE	31.3 EE	48 EE	72 EE	106.0 EE	139 EE	178 EE
750 E	22.2 EE	31.8 EE	49 EE	74 EE	109.1 EE	143 EE	185 EE
800 E	22.7 EE	32.4 EE	50 EE	76 EE	111.9 EE	148 EE	191 EE
850 E	23.0 EE	32.9 EE	51 EE	77 EE	114.7 EE	152 EE	198 EE
900 E	23.2 EE	33.4 EE	52 EE	79 EE	117.3 EE	156 EE	204 EE
950 E	23.6 EE	33.8 EE	53 EE	81 EE	119.7 EE	160 EE	209 EE
1000 E	24.0 EE	34.3 EE	53 EE	82 EE	122.0 EE	164 EE	215 EE

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

Slope / Helling $S = 0.01$

Wheat / Koring

RESULTATE:

Manning $n = 0.15$

pk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltrasiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 m	0.0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm
50 m	10.2 mm	12.9 mm	17 mm	20 mm	23.1 mm	25 mm	26 mm
100 m	13.1 mm	17.4 mm	24 mm	32 mm	38.9 mm	44 mm	48 mm
150 m	15.0 mm	20.5 mm	29 mm	40 mm	50.9 mm	59 mm	67 mm
200 m	16.4 mm	22.7 mm	33 mm	46 mm	60.5 mm	72 mm	83 mm
250 m	17.6 mm	24.2 mm	36 mm	51 mm	68.7 mm	83 mm	98 mm
300 m	18.5 mm	25.7 mm	38 mm	55 mm	75.7 mm	93 mm	111 mm
350 m	19.2 mm	26.9 mm	41 mm	59 mm	81.8 mm	102 mm	124 mm
400 m	19.9 mm	28.1 mm	42 mm	62 mm	87.3 mm	110 mm	135 mm
450 m	20.6 mm	29.0 mm	44 mm	65 mm	92.3 mm	118 mm	145 mm
500 m	21.2 mm	29.9 mm	46 mm	68 mm	97.0 mm	124 mm	155 mm
550 m	21.6 mm	30.7 mm	47 mm	70 mm	101.2 mm	131 mm	164 mm
600 m	22.0 mm	31.4 mm	48 mm	72 mm	105.1 mm	136 mm	173 mm
650 m	22.5 mm	32.1 mm	50 mm	74 mm	108.7 mm	142 mm	181 mm
700 m	23.0 mm	32.9 mm	51 mm	77 mm	112.1 mm	147 mm	189 mm
750 m	23.4 mm	33.4 mm	52 mm	78 mm	115.3 mm	152 mm	196 mm
800 m	23.8 mm	34.0 mm	53 mm	80 mm	118.3 mm	157 mm	203 mm
850 m	24.0 mm	34.5 mm	54 mm	82 mm	121.2 mm	161 mm	210 mm
900 m	24.4 mm	35.0 mm	54 mm	83 mm	123.9 mm	165 mm	216 mm
950 m	24.8 mm	35.7 mm	55 mm	85 mm	126.5 mm	169 mm	222 mm
1000 m	25.1 mm	36.0 mm	56 mm	86 mm	128.9 mm	173 mm	228 mm

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

Slope / Helling $S = 0.00833$

Wheat / Koring

RESULTATE:

Manning $n = 0.15$

gk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltratiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 m	0.0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm
50 m	10.6 mm	13.5 mm	17 mm	21 mm	24.3 mm	26 mm	28 mm
100 m	13.7 mm	18.2 mm	25 mm	33 mm	40.9 mm	46 mm	51 mm
150 m	15.7 mm	21.4 mm	30 mm	42 mm	53.5 mm	62 mm	70 mm
200 m	17.0 mm	23.6 mm	34 mm	48 mm	63.6 mm	76 mm	88 mm
250 m	18.3 mm	25.4 mm	37 mm	53 mm	72.1 mm	88 mm	103 mm
300 m	19.2 mm	26.9 mm	40 mm	58 mm	79.4 mm	98 mm	117 mm
350 m	20.0 mm	28.1 mm	42 mm	62 mm	85.8 mm	107 mm	130 mm
400 m	20.7 mm	29.3 mm	44 mm	65 mm	91.6 mm	116 mm	142 mm
450 m	21.4 mm	30.3 mm	46 mm	68 mm	96.8 mm	123 mm	153 mm
500 m	21.9 mm	31.2 mm	48 mm	71 mm	101.7 mm	130 mm	163 mm
550 m	22.5 mm	32.1 mm	49 mm	73 mm	106.0 mm	137 mm	173 mm
600 m	22.9 mm	32.9 mm	50 mm	76 mm	110.1 mm	143 mm	182 mm
650 m	23.5 mm	33.5 mm	52 mm	78 mm	113.9 mm	149 mm	190 mm
700 m	23.9 mm	34.1 mm	53 mm	80 mm	117.4 mm	154 mm	198 mm
750 m	24.2 mm	34.9 mm	54 mm	82 mm	120.8 mm	159 mm	206 mm
800 m	24.7 mm	35.4 mm	55 mm	84 mm	123.9 mm	164 mm	213 mm
850 m	25.0 mm	36.0 mm	56 mm	86 mm	126.9 mm	169 mm	220 mm
900 m	25.4 mm	36.5 mm	57 mm	87 mm	129.7 mm	173 mm	227 mm
950 m	25.8 mm	37.1 mm	58 mm	89 mm	132.3 mm	178 mm	234 mm
1000 m	26.1 mm	37.5 mm	59 mm	90 mm	134.9 mm	182 mm	240 mm

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

Slope / Helling $S = 0.0063$

Wheat / Koring

RESULTATE:

Manning $n = 0.15$

gk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltratiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 m	0.0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm
50 m	11.3 mm	14.5 mm	19 mm	23 mm	26.4 mm	28 mm	30 mm
100 m	14.7 mm	19.5 mm	27 mm	36 mm	44.3 mm	50 mm	55 mm
150 m	16.7 mm	22.9 mm	33 mm	45 mm	57.9 mm	68 mm	76 mm
200 m	18.2 mm	25.2 mm	37 mm	52 mm	68.7 mm	82 mm	95 mm
250 m	19.5 mm	27.1 mm	40 mm	57 mm	77.8 mm	95 mm	112 mm
300 m	20.3 mm	28.5 mm	43 mm	62 mm	85.7 mm	106 mm	127 mm
350 m	21.2 mm	30.0 mm	45 mm	66 mm	92.6 mm	116 mm	141 mm
400 m	21.9 mm	31.2 mm	47 mm	70 mm	98.8 mm	125 mm	154 mm
450 m	22.8 mm	32.3 mm	49 mm	73 mm	104.4 mm	133 mm	166 mm
500 m	23.3 mm	33.3 mm	51 mm	76 mm	109.6 mm	141 mm	177 mm
550 m	23.8 mm	34.1 mm	53 mm	79 mm	114.3 mm	148 mm	187 mm
600 m	24.4 mm	34.9 mm	54 mm	81 mm	118.6 mm	155 mm	197 mm
650 m	25.0 mm	35.7 mm	55 mm	83 mm	122.7 mm	161 mm	206 mm
700 m	25.3 mm	36.5 mm	56 mm	86 mm	126.5 mm	167 mm	215 mm
750 m	25.8 mm	37.2 mm	58 mm	88 mm	130.1 mm	172 mm	223 mm
800 m	26.3 mm	37.8 mm	59 mm	90 mm	133.5 mm	178 mm	231 mm
850 m	26.7 mm	38.3 mm	60 mm	92 mm	136.7 mm	182 mm	239 mm
900 m	27.1 mm	39.0 mm	61 mm	93 mm	139.6 mm	187 mm	246 mm
950 m	27.4 mm	39.4 mm	62 mm	95 mm	142.5 mm	192 mm	253 mm
1000 m	27.6 mm	40.0 mm	63 mm	97 mm	145.3 mm	196 mm	259 mm

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

Slope / Helling $S = 0.004$

Wheat / Koring

RESULTATE:

Manning $n = 0.15$

pk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltratiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 m	0.0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm
50 m	12.6 mm	16.3 mm	21 mm	26 mm	30.1 mm	32 mm	34 mm
100 m	16.4 mm	21.9 mm	31 mm	41 mm	50.4 mm	57 mm	63 mm
150 m	18.6 mm	25.7 mm	37 mm	51 mm	65.7 mm	77 mm	87 mm
200 m	20.4 mm	29.3 mm	41 mm	58 mm	77.9 mm	93 mm	109 mm
250 m	21.7 mm	30.3 mm	45 mm	65 mm	88.2 mm	108 mm	128 mm
300 m	22.8 mm	32.1 mm	48 mm	70 mm	97.0 mm	121 mm	145 mm
350 m	23.7 mm	33.6 mm	51 mm	75 mm	104.8 mm	132 mm	161 mm
400 m	24.7 mm	35.0 mm	53 mm	79 mm	111.7 mm	142 mm	175 mm
450 m	25.5 mm	36.2 mm	55 mm	82 mm	118.1 mm	151 mm	189 mm
500 m	26.1 mm	37.3 mm	57 mm	86 mm	123.9 mm	160 mm	201 mm
550 m	26.7 mm	38.1 mm	59 mm	89 mm	129.2 mm	168 mm	213 mm
600 m	27.3 mm	39.1 mm	61 mm	92 mm	134.0 mm	175 mm	224 mm
650 m	27.8 mm	40.0 mm	62 mm	94 mm	138.6 mm	182 mm	234 mm
700 m	28.5 mm	40.9 mm	64 mm	97 mm	142.9 mm	189 mm	244 mm
750 m	28.8 mm	41.6 mm	65 mm	99 mm	146.9 mm	195 mm	254 mm
800 m	29.2 mm	42.3 mm	66 mm	101 mm	150.7 mm	201 mm	263 mm
850 m	29.7 mm	42.9 mm	67 mm	103 mm	154.3 mm	207 mm	271 mm
900 m	30.2 mm	43.6 mm	68 mm	105 mm	157.6 mm	212 mm	279 mm
950 m	30.6 mm	44.3 mm	69 mm	107 mm	160.8 mm	217 mm	287 mm
1000 m	31.0 mm	44.7 mm	70 mm	109 mm	164.0 mm	222 mm	295 mm

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

RESULTATE:

Slope / Helling $S = 0.003$

Wheat / Koring

Manning $n = 0.15$

pk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltratiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 m	0.0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm
50 m	13.6 mm	17.7 mm	23 mm	28 mm	32.8 mm	35 mm	37 mm
100 m	17.7 mm	23.8 mm	33 mm	44 mm	54.9 mm	62 mm	68 mm
150 m	20.1 mm	27.8 mm	40 mm	55 mm	71.5 mm	84 mm	95 mm
200 m	21.9 mm	30.6 mm	45 mm	63 mm	84.8 mm	102 mm	118 mm
250 m	23.4 mm	32.8 mm	49 mm	70 mm	96.0 mm	118 mm	139 mm
300 m	24.5 mm	34.7 mm	52 mm	76 mm	105.7 mm	131 mm	158 mm
350 m	25.7 mm	36.4 mm	55 mm	81 mm	114.1 mm	144 mm	175 mm
400 m	26.5 mm	37.8 mm	58 mm	86 mm	121.7 mm	155 mm	191 mm
450 m	27.4 mm	39.1 mm	60 mm	90 mm	128.6 mm	165 mm	206 mm
500 m	28.0 mm	40.3 mm	62 mm	93 mm	134.9 mm	175 mm	220 mm
550 m	28.9 mm	41.3 mm	64 mm	96 mm	140.7 mm	183 mm	232 mm
600 m	29.5 mm	42.3 mm	66 mm	99 mm	145.9 mm	191 mm	245 mm
650 m	30.1 mm	43.2 mm	67 mm	102 mm	150.9 mm	199 mm	256 mm
700 m	30.7 mm	44.1 mm	69 mm	105 mm	155.6 mm	206 mm	267 mm
750 m	31.2 mm	45.0 mm	70 mm	108 mm	160.0 mm	213 mm	277 mm
800 m	31.6 mm	45.8 mm	72 mm	110 mm	164.1 mm	219 mm	287 mm
850 m	32.0 mm	46.4 mm	73 mm	112 mm	168.0 mm	225 mm	296 mm
900 m	32.5 mm	47.1 mm	74 mm	114 mm	171.6 mm	231 mm	305 mm
950 m	33.0 mm	47.8 mm	75 mm	116 mm	175.2 mm	237 mm	314 mm
1000 m	33.3 mm	48.4 mm	76 mm	118 mm	178.6 mm	242 mm	322 mm

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

RESULTATE:

Slope / Helling $S = 0.002$

Wheat / Koring

Manning $n = 0.15$

gk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltratiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 m	0.0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm
50 m	15.4 mm	20.1 mm	26 mm	32 mm	37.2 mm	40 mm	42 mm
100 m	20.1 mm	27.0 mm	38 mm	50 mm	62.5 mm	71 mm	78 mm
150 m	22.8 mm	31.6 mm	46 mm	63 mm	81.5 mm	96 mm	108 mm
200 m	24.9 mm	34.8 mm	51 mm	73 mm	96.9 mm	116 mm	135 mm
250 m	26.5 mm	37.3 mm	56 mm	80 mm	109.8 mm	134 mm	159 mm
300 m	27.9 mm	39.5 mm	60 mm	87 mm	120.9 mm	150 mm	181 mm
350 m	29.0 mm	41.4 mm	63 mm	93 mm	130.7 mm	165 mm	201 mm
400 m	30.1 mm	43.1 mm	66 mm	98 mm	139.4 mm	178 mm	219 mm
450 m	31.1 mm	44.5 mm	69 mm	103 mm	147.3 mm	189 mm	236 mm
500 m	31.8 mm	45.8 mm	71 mm	107 mm	154.6 mm	200 mm	252 mm
550 m	32.6 mm	47.1 mm	73 mm	110 mm	161.3 mm	210 mm	267 mm
600 m	33.5 mm	48.3 mm	75 mm	114 mm	167.4 mm	220 mm	281 mm
650 m	34.1 mm	49.3 mm	77 mm	117 mm	173.1 mm	228 mm	294 mm
700 m	34.8 mm	50.2 mm	79 mm	120 mm	178.5 mm	237 mm	306 mm
750 m	35.2 mm	51.2 mm	80 mm	123 mm	183.6 mm	245 mm	318 mm
800 m	36.0 mm	52.1 mm	82 mm	126 mm	188.3 mm	252 mm	330 mm
850 m	36.4 mm	53.0 mm	83 mm	129 mm	192.9 mm	259 mm	341 mm
900 m	37.0 mm	53.7 mm	85 mm	131 mm	197.1 mm	266 mm	351 mm
950 m	37.4 mm	54.4 mm	86 mm	133 mm	201.2 mm	272 mm	361 mm
1000 m	37.8 mm	55.2 mm	87 mm	136 mm	205.1 mm	279 mm	370 mm

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

Slope / Helling $S = 0.0013$

Wheat / Koring

RESULTATE:

Manning $n = 0.15$

gk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltratiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 m	0.0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm
50 m	25.0 mm	22.6 mm	31 mm	37 mm	42.9 mm	45 mm	48 mm
100 m	32.7 mm	32.1 mm	45 mm	59 mm	72.8 mm	82 mm	89 mm
150 m	37.3 mm	37.6 mm	54 mm	74 mm	95.7 mm	111 mm	125 mm
200 m	40.7 mm	41.5 mm	61 mm	86 mm	114.4 mm	136 mm	157 mm
250 m	43.5 mm	44.5 mm	67 mm	96 mm	130.0 mm	158 mm	186 mm
300 m	45.7 mm	47.2 mm	71 mm	104 mm	143.6 mm	178 mm	212 mm
350 m	47.7 mm	49.5 mm	75 mm	111 mm	155.5 mm	195 mm	236 mm
400 m	49.4 mm	51.5 mm	79 mm	117 mm	166.3 mm	211 mm	258 mm
450 m	51.0 mm	53.3 mm	82 mm	123 mm	176.0 mm	225 mm	279 mm
500 m	52.4 mm	54.9 mm	95 mm	128 mm	184.8 mm	238 mm	298 mm
550 m	53.7 mm	56.3 mm	88 mm	133 mm	193.1 mm	251 mm	316 mm
600 m	55.0 mm	57.7 mm	90 mm	137 mm	200.7 mm	262 mm	333 mm
650 m	56.0 mm	59.0 mm	92 mm	141 mm	207.7 mm	273 mm	349 mm
700 m	57.0 mm	60.2 mm	94 mm	145 mm	214.4 mm	284 mm	365 mm
750 m	58.0 mm	61.4 mm	95 mm	148 mm	220.6 mm	293 mm	379 mm
800 m	59.0 mm	62.4 mm	99 mm	152 mm	226.5 mm	302 mm	393 mm
850 m	59.9 mm	63.4 mm	100 mm	155 mm	232.1 mm	311 mm	407 mm
900 m	60.8 mm	64.3 mm	102 mm	159 mm	237.4 mm	319 mm	420 mm
950 m	61.6 mm	65.4 mm	103 mm	161 mm	242.5 mm	328 mm	432 mm
1000 m	62.3 mm	66.2 mm	105 mm	163 mm	247.2 mm	335 mm	444 mm

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

Slope / Helling $S = 0.001$

Wheat / Koring

RESULTATE:

Manning $n = 0.15$

gk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltrasiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 m	0.0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm	0.0 mm	0 mm	0 mm
50 m	21.8 mm	28.0 mm	36 mm	43 mm	48.4 mm	51 mm	54 mm
100 m	28.6 mm	38.7 mm	54 mm	69 mm	83.9 mm	93 mm	100 mm
150 m	33.0 mm	45.5 mm	65 mm	88 mm	111.8 mm	128 mm	142 mm
200 m	36.1 mm	50.6 mm	74 mm	103 mm	134.8 mm	159 mm	180 mm
250 m	39.6 mm	54.5 mm	81 mm	116 mm	154.5 mm	185 mm	214 mm
300 m	40.6 mm	57.8 mm	87 mm	126 mm	171.6 mm	209 mm	245 mm
350 m	42.5 mm	60.8 mm	92 mm	135 mm	186.7 mm	231 mm	275 mm
400 m	44.0 mm	63.3 mm	97 mm	143 mm	200.4 mm	251 mm	302 mm
450 m	45.5 mm	65.5 mm	101 mm	150 mm	212.8 mm	269 mm	327 mm
500 m	46.8 mm	67.6 mm	105 mm	157 mm	224.1 mm	296 mm	351 mm
550 m	47.9 mm	69.5 mm	108 mm	163 mm	234.6 mm	302 mm	374 mm
600 m	49.0 mm	71.2 mm	111 mm	168 mm	244.3 mm	316 mm	395 mm
650 m	50.1 mm	72.9 mm	114 mm	174 mm	253.5 mm	330 mm	416 mm
700 m	51.0 mm	74.4 mm	117 mm	178 mm	262.1 mm	343 mm	435 mm
750 m	51.9 mm	75.8 mm	119 mm	183 mm	270.1 mm	356 mm	454 mm
800 m	52.7 mm	77.1 mm	122 mm	187 mm	277.8 mm	367 mm	472 mm
850 m	53.5 mm	78.4 mm	124 mm	191 mm	285.0 mm	379 mm	489 mm
900 m	54.3 mm	79.6 mm	126 mm	195 mm	291.9 mm	389 mm	505 mm
950 m	54.9 mm	80.8 mm	128 mm	199 mm	298.4 mm	400 mm	521 mm
1000 m	55.7 mm	81.9 mm	130 mm	202 mm	304.7 mm	410 mm	536 mm

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

Slope / Helling S = 0.0125

Lucern / Lusern

RESULTATE:

Manning n = 0.25

gk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltrasiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 I	0.0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE
50 E	12.0 EE	15.6 EE	20 EE	25 EE	28.9 EE	31 EE	33 EE
100 E	15.6 EE	20.9 EE	29 EE	39 EE	48.2 EE	55 EE	60 EE
150 E	17.7 EE	24.4 EE	35 EE	49 EE	62.6 EE	74 EE	83 EE
200 E	19.4 EE	26.9 EE	39 EE	56 EE	74.3 EE	89 EE	104 EE
250 E	20.7 EE	28.9 EE	43 EE	62 EE	84.0 EE	103 EE	122 EE
300 E	21.7 EE	30.5 EE	46 EE	67 EE	92.4 EE	115 EE	138 EE
350 E	22.6 EE	32.0 EE	48 EE	71 EE	99.7 EE	126 EE	153 EE
400 E	23.5 EE	33.3 EE	51 EE	75 EE	106.3 EE	135 EE	167 EE
450 E	24.2 EE	34.4 EE	53 EE	78 EE	112.2 EE	144 EE	180 EE
500 E	24.8 EE	35.5 EE	54 EE	81 EE	117.7 EE	152 EE	192 EE
550 E	25.4 EE	36.3 EE	56 EE	84 EE	122.7 EE	160 EE	203 EE
600 E	26.0 EE	37.2 EE	58 EE	87 EE	127.3 EE	167 EE	213 EE
650 E	26.6 EE	38.0 EE	59 EE	89 EE	131.6 EE	173 EE	223 EE
700 E	26.9 EE	38.7 EE	60 EE	92 EE	135.7 EE	179 EE	232 EE
750 E	27.4 EE	39.6 EE	61 EE	94 EE	139.4 EE	185 EE	241 EE
800 E	27.8 EE	40.1 EE	62 EE	96 EE	143.0 EE	191 EE	250 EE
850 E	28.3 EE	40.8 EE	64 EE	98 EE	146.4 EE	196 EE	258 EE
900 E	28.7 EE	41.3 EE	65 EE	100 EE	149.6 EE	201 EE	265 EE
950 E	29.1 EE	42.0 EE	66 EE	102 EE	152.6 EE	206 EE	273 EE
1000 E	29.5 EE	42.7 EE	67 EE	103 EE	155.5 EE	211 EE	280 EE

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

RESULTATE:

Slope / Helling $S = 0.01$

Lucern / Lusern

Manning $n = 0.25$

gk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltratiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 E	0.0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE
50 E	12.7 EE	16.5 EE	22 EE	27 EE	30.8 EE	33 EE	35 EE
100 E	16.5 EE	22.0 EE	31 EE	41 EE	51.3 EE	58 EE	64 EE
150 E	18.6 EE	25.7 EE	37 EE	51 EE	66.5 EE	78 EE	89 EE
200 E	20.4 EE	28.3 EE	42 EE	59 EE	78.8 EE	95 EE	111 EE
250 E	21.7 EE	30.3 EE	45 EE	65 EE	89.1 EE	109 EE	130 EE
300 E	22.7 EE	32.1 EE	48 EE	71 EE	97.9 EE	122 EE	147 EE
350 E	23.7 EE	33.7 EE	51 EE	75 EE	105.7 EE	133 EE	163 EE
400 E	24.6 EE	35.0 EE	53 EE	79 EE	112.6 EE	144 EE	178 EE
450 E	25.3 EE	36.2 EE	55 EE	83 EE	119.0 EE	153 EE	191 EE
500 E	26.1 EE	37.2 EE	57 EE	86 EE	124.7 EE	162 EE	204 EE
550 E	26.8 EE	38.2 EE	59 EE	89 EE	129.9 EE	169 EE	216 EE
600 E	27.3 EE	39.2 EE	61 EE	92 EE	134.8 EE	177 EE	227 EE
650 E	27.8 EE	40.0 EE	62 EE	94 EE	139.3 EE	184 EE	237 EE
700 E	28.3 EE	40.8 EE	63 EE	97 EE	143.5 EE	190 EE	247 EE
750 E	28.9 EE	41.5 EE	65 EE	99 EE	147.5 EE	197 EE	256 EE
800 E	29.3 EE	42.2 EE	66 EE	101 EE	151.3 EE	202 EE	265 EE
850 E	29.8 EE	43.0 EE	67 EE	103 EE	154.9 EE	208 EE	274 EE
900 E	30.1 EE	43.5 EE	69 EE	105 EE	159.2 EE	213 EE	282 EE
950 E	30.5 EE	44.2 EE	69 EE	107 EE	161.4 EE	218 EE	290 EE
1000 E	31.0 EE	44.8 EE	70 EE	109 EE	164.5 EE	223 EE	297 EE

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

RESULTATE:

Slope / Helling $S = 0.00833$

Lucern / Lusern

Manning $n = 0.25$

gk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltratiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 E	0.0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE
50 E	13.3 EE	17.2 EE	23 EE	28 EE	32.4 EE	35 EE	37 EE
100 E	17.2 EE	23.0 EE	33 EE	43 EE	53.9 EE	61 EE	68 EE
150 E	19.4 EE	26.9 EE	39 EE	54 EE	69.9 EE	82 EE	94 EE
200 E	21.3 EE	29.6 EE	44 EE	62 EE	82.8 EE	100 EE	117 EE
250 E	22.5 EE	31.7 EE	47 EE	68 EE	93.6 EE	115 EE	137 EE
300 E	23.7 EE	33.5 EE	51 EE	74 EE	102.8 EE	129 EE	155 EE
350 E	24.7 EE	35.0 EE	53 EE	79 EE	110.9 EE	140 EE	172 EE
400 E	25.6 EE	36.5 EE	56 EE	83 EE	118.1 EE	151 EE	187 EE
450 E	26.3 EE	37.7 EE	58 EE	87 EE	124.8 EE	161 EE	201 EE
500 E	27.1 EE	38.8 EE	60 EE	90 EE	130.8 EE	170 EE	214 EE
550 E	27.8 EE	39.8 EE	62 EE	93 EE	136.2 EE	178 EE	227 EE
600 E	28.4 EE	40.8 EE	63 EE	96 EE	141.3 EE	186 EE	238 EE
650 E	29.0 EE	41.7 EE	65 EE	99 EE	146.0 EE	193 EE	249 EE
700 E	29.5 EE	42.4 EE	66 EE	101 EE	150.5 EE	200 EE	260 EE
750 E	30.0 EE	43.4 EE	68 EE	104 EE	154.7 EE	206 EE	269 EE
800 E	30.5 EE	44.0 EE	69 EE	106 EE	158.6 EE	213 EE	279 EE
850 E	30.9 EE	44.7 EE	70 EE	108 EE	162.2 EE	218 EE	288 EE
900 E	31.4 EE	45.4 EE	71 EE	110 EE	165.8 EE	224 EE	296 EE
950 E	31.8 EE	46.1 EE	72 EE	112 EE	169.2 EE	229 EE	305 EE
1000 E	32.1 EE	46.7 EE	74 EE	114 EE	172.4 EE	234 EE	312 EE

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

RESULTATE:

Slope / Helling $S = 0.0063$

Lucern / Lusern

Manning $n = 0.25$

gk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltratiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 E	0.0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE
50 E	14.1 EE	18.5 EE	24 EE	30 EE	35.2 EE	38 EE	40 EE
100 E	18.4 EE	24.7 EE	35 EE	47 EE	58.5 EE	67 EE	74 EE
150 E	20.7 EE	28.8 EE	42 EE	58 EE	75.8 EE	89 EE	102 EE
200 E	22.6 EE	31.6 EE	47 EE	66 EE	89.7 EE	108 EE	127 EE
250 E	24.1 EE	33.8 EE	51 EE	74 EE	101.2 EE	125 EE	149 EE
300 E	25.3 EE	35.9 EE	54 EE	79 EE	111.2 EE	139 EE	168 EE
350 E	26.4 EE	37.5 EE	57 EE	85 EE	119.9 EE	152 EE	187 EE
400 E	27.3 EE	39.0 EE	60 EE	89 EE	127.7 EE	164 EE	203 EE
450 E	28.2 EE	40.3 EE	62 EE	93 EE	134.8 EE	174 EE	218 EE
500 E	28.9 EE	41.5 EE	64 EE	97 EE	141.2 EE	184 EE	233 EE
550 E	29.7 EE	42.6 EE	66 EE	100 EE	147.1 EE	193 EE	246 EE
600 E	30.3 EE	43.6 EE	68 EE	103 EE	152.6 EE	201 EE	259 EE
650 E	30.9 EE	44.6 EE	70 EE	106 EE	157.7 EE	209 EE	270 EE
700 E	31.5 EE	45.4 EE	71 EE	109 EE	162.5 EE	216 EE	282 EE
750 E	32.0 EE	46.3 EE	72 EE	111 EE	166.9 EE	223 EE	292 EE
800 E	32.5 EE	47.1 EE	74 EE	114 EE	171.1 EE	230 EE	302 EE
850 E	32.9 EE	47.8 EE	75 EE	116 EE	175.1 EE	236 EE	312 EE
900 E	33.4 EE	48.4 EE	76 EE	119 EE	179.0 EE	242 EE	321 EE
950 E	33.8 EE	49.2 EE	78 EE	120 EE	182.5 EE	248 EE	330 EE
1000 E	34.4 EE	49.8 EE	79 EE	122 EE	186.0 EE	253 EE	339 EE

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

RESULTATE:

Slope / Helling $S = 0.004$

Lucern / Lusern

Manning $n = 0.25$

gk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltratiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 E	0.0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE
50 E	16.0 EE	21.0 EE	28 EE	34 EE	40.2 EE	44 EE	46 EE
100 E	20.6 EE	27.9 EE	40 EE	53 EE	66.6 EE	76 EE	84 EE
150 E	23.4 EE	32.5 EE	47 EE	66 EE	86.3 EE	102 EE	117 EE
200 E	25.5 EE	35.7 EE	53 EE	76 EE	102.1 EE	124 EE	145 EE
250 E	27.0 EE	38.2 EE	58 EE	84 EE	115.2 EE	142 EE	170 EE
300 E	28.4 EE	40.5 EE	61 EE	90 EE	126.5 EE	159 EE	193 EE
350 E	29.6 EE	42.4 EE	65 EE	96 EE	136.4 EE	173 EE	213 EE
400 E	30.7 EE	44.0 EE	68 EE	101 EE	145.2 EE	186 EE	232 EE
450 E	31.5 EE	45.4 EE	70 EE	106 EE	153.3 EE	198 EE	250 EE
500 E	32.4 EE	46.9 EE	73 EE	110 EE	160.5 EE	210 EE	266 EE
550 E	33.2 EE	48.1 EE	75 EE	114 EE	167.2 EE	220 EE	281 EE
600 E	33.9 EE	49.2 EE	77 EE	117 EE	173.4 EE	229 EE	295 EE
650 E	34.6 EE	50.2 EE	79 EE	121 EE	179.2 EE	238 EE	309 EE
700 E	35.3 EE	51.2 EE	80 EE	124 EE	184.6 EE	247 EE	322 EE
750 E	35.9 EE	52.1 EE	82 EE	127 EE	189.7 EE	255 EE	334 EE
800 E	36.5 EE	53.1 EE	84 EE	129 EE	194.5 EE	262 EE	346 EE
850 E	37.0 EE	54.0 EE	85 EE	132 EE	199.0 EE	269 EE	357 EE
900 E	37.5 EE	54.7 EE	87 EE	134 EE	203.3 EE	276 EE	367 EE
950 E	38.1 EE	55.5 EE	88 EE	137 EE	207.4 EE	283 EE	377 EE
1000 E	38.5 EE	56.2 EE	89 EE	139 EE	211.4 EE	289 EE	387 EE

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

Slope / Helling S = 0.003

Lucern / Lusern

RESULTATE:

Manning n = 0.25

gk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltratiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 R	0.0 RR	0.0 RR	0 RR	0 RR	0.0 RR	0 RR	0 RR
50 R	17.4 RR	22.8 RR	30 RR	38 RR	43.9 RR	48 RR	50 RR
100 R	22.5 RR	30.5 RR	43 RR	58 RR	72.9 RR	83 RR	92 RR
150 R	25.4 RR	35.4 RR	52 RR	72 RR	94.5 RR	112 RR	128 RR
200 R	27.3 RR	38.9 RR	58 RR	83 RR	111.8 RR	136 RR	159 RR
250 R	29.6 RR	41.7 RR	63 RR	92 RR	126.2 RR	156 RR	186 RR
300 R	30.9 RR	44.1 RR	67 RR	99 RR	138.6 RR	174 RR	211 RR
350 R	32.2 RR	46.2 RR	71 RR	105 RR	149.5 RR	190 RR	234 RR
400 R	33.4 RR	47.9 RR	74 RR	111 RR	159.2 RR	205 RR	255 RR
450 R	34.4 RR	49.5 RR	77 RR	116 RR	168.1 RR	218 RR	274 RR
500 R	35.3 RR	51.0 RR	79 RR	120 RR	176.1 RR	230 RR	292 RR
550 R	36.2 RR	52.4 RR	82 RR	125 RR	183.4 RR	241 RR	309 RR
600 R	37.0 RR	53.6 RR	84 RR	128 RR	190.2 RR	252 RR	325 RR
650 R	37.7 RR	54.7 RR	86 RR	132 RR	196.6 RR	262 RR	340 RR
700 R	38.4 RR	55.8 RR	88 RR	135 RR	202.5 RR	271 RR	354 RR
750 R	39.1 RR	56.8 RR	90 RR	139 RR	208.1 RR	280 RR	367 RR
800 R	39.7 RR	57.9 RR	91 RR	142 RR	213.3 RR	288 RR	380 RR
850 R	40.4 RR	58.8 RR	92 RR	145 RR	218.3 RR	296 RR	392 RR
900 R	40.9 RR	59.6 RR	95 RR	147 RR	223.1 RR	303 RR	404 RR
950 R	41.4 RR	60.6 RR	96 RR	150 RR	227.6 RR	310 RR	415 RR
1000 R	41.9 RR	61.3 RR	97 RR	152 RR	232.0 RR	317 RR	426 RR

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

Slope / Helling $S = 0.002$

Lucern / Lusern

RESULTATE:

Manning $n = 0.25$

gk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltrasigroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 E	0.0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE
50 E	20.1 EE	26.4 EE	35 EE	43 EE	50.2 EE	54 EE	57 EE
100 E	26.0 EE	35.4 EE	50 EE	67 EE	83.9 EE	96 EE	105 EE
150 E	29.4 EE	41.1 EE	60 EE	84 EE	109.3 EE	129 EE	146 EE
200 E	32.2 EE	45.2 EE	68 EE	96 EE	129.7 EE	157 EE	183 EE
250 E	34.1 EE	48.5 EE	73 EE	107 EE	146.7 EE	181 EE	215 EE
300 E	36.0 EE	51.3 EE	78 EE	115 EE	161.4 EE	202 EE	244 EE
350 E	37.4 EE	53.8 EE	83 EE	123 EE	174.3 EE	221 EE	271 EE
400 E	38.8 EE	55.8 EE	86 EE	129 EE	185.8 EE	238 EE	296 EE
450 E	39.9 EE	57.7 EE	90 EE	135 EE	196.4 EE	254 EE	318 EE
500 E	40.9 EE	59.5 EE	93 EE	141 EE	205.9 EE	269 EE	340 EE
550 E	42.0 EE	60.9 EE	95 EE	146 EE	214.6 EE	282 EE	360 EE
600 E	43.0 EE	62.5 EE	98 EE	150 EE	222.7 EE	294 EE	379 EE
650 E	43.9 EE	63.9 EE	100 EE	155 EE	230.3 EE	306 EE	396 EE
700 E	44.6 EE	65.1 EE	103 EE	159 EE	237.3 EE	317 EE	413 EE
750 E	45.3 EE	66.4 EE	105 EE	162 EE	244.0 EE	328 EE	429 EE
800 E	46.1 EE	67.5 EE	107 EE	166 EE	250.3 EE	338 EE	444 EE
850 E	46.8 EE	68.5 EE	109 EE	169 EE	256.2 EE	347 EE	459 EE
900 E	47.5 EE	69.4 EE	111 EE	173 EE	261.8 EE	356 EE	473 EE
950 E	48.2 EE	70.6 EE	112 EE	176 EE	267.2 EE	365 EE	486 EE
1000 E	48.6 EE	71.5 EE	114 EE	179 EE	272.4 EE	373 EE	499 EE

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

Slope / Helling $S = 0.0013$

Lucern / Lusern

RESULTATE:

Manning $n = 0.25$

gk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltratiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 E	0.0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE
50 E	18.2 EE	32.6 EE	43 EE	52 EE	59.0 EE	63 EE	66 EE
100 E	23.8 EE	44.4 EE	62 EE	82 EE	101.0 EE	113 EE	123 EE
150 E	27.2 EE	52.0 EE	76 EE	104 EE	133.3 EE	155 EE	173 EE
200 E	29.5 EE	57.4 EE	85 EE	120 EE	159.8 EE	190 EE	219 EE
250 E	31.7 EE	61.9 EE	93 EE	134 EE	182.2 EE	221 EE	259 EE
300 E	33.3 EE	65.6 EE	100 EE	146 EE	201.6 EE	249 EE	296 EE
350 E	34.6 EE	69.7 EE	105 EE	156 EE	218.8 EE	274 EE	330 EE
400 E	35.9 EE	71.4 EE	110 EE	165 EE	234.1 EE	297 EE	362 EE
450 E	37.1 EE	74.0 EE	115 EE	173 EE	248.0 EE	317 EE	392 EE
500 E	38.1 EE	76.3 EE	119 EE	180 EE	260.9 EE	337 EE	419 EE
550 E	39.0 EE	78.3 EE	123 EE	187 EE	272.6 EE	355 EE	445 EE
600 E	40.0 EE	80.2 EE	126 EE	193 EE	283.6 EE	371 EE	470 EE
650 E	40.7 EE	81.9 EE	129 EE	199 EE	293.7 EE	387 EE	494 EE
700 E	41.4 EE	83.6 EE	132 EE	204 EE	303.3 EE	402 EE	516 EE
750 E	42.1 EE	85.2 EE	135 EE	209 EE	312.3 EE	416 EE	537 EE
800 E	42.8 EE	86.7 EE	138 EE	214 EE	320.8 EE	429 EE	558 EE
850 E	43.5 EE	88.2 EE	140 EE	218 EE	328.8 EE	442 EE	577 EE
900 E	44.1 EE	89.6 EE	143 EE	223 EE	336.5 EE	454 EE	596 EE
950 E	44.6 EE	90.8 EE	145 EE	227 EE	343.6 EE	466 EE	614 EE
1000 E	45.3 EE	91.9 EE	147 EE	231 EE	350.8 EE	477 EE	631 EE

RESULTS:

OPTIVLOED 2.2

Slope / Helling $S = 0.001$

Lucern / Lusern

RESULTATE:

Manning $n = 0.25$

gk45

Lenght. Lengte (m)	Application / Toediening (mm)						
	Intake family / Infiltratiegroep						
	0.3 IF	0.5 IF	1.0 IF	2.0 IF	4.0 IF	6.0 IF	8.0 IF
0 E	0.0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE	0.0 EE	0 EE	0 EE
50 E	35.3 EE	45.4 EE	56 EE	64 EE	70.2 EE	73 EE	75 EE
100 E	49.4 EE	65.7 EE	88 EE	110 EE	126.9 EE	137 EE	144 EE
150 E	57.6 EE	78.9 EE	111 EE	144 EE	174.5 EE	193 EE	208 EE
200 E	63.5 EE	88.7 EE	123 EE	172 EE	215.4 EE	244 EE	268 EE
250 E	68.4 EE	96.5 EE	142 EE	196 EE	251.2 EE	291 EE	323 EE
300 E	72.3 EE	102.9 EE	154 EE	216 EE	283.2 EE	333 EE	376 EE
350 E	75.6 EE	108.5 EE	164 EE	234 EE	312.0 EE	372 EE	426 EE
400 E	78.6 EE	113.5 EE	173 EE	250 EE	338.2 EE	409 EE	473 EE
450 E	81.2 EE	117.9 EE	181 EE	264 EE	362.3 EE	443 EE	518 EE
500 E	83.7 EE	121.9 EE	188 EE	277 EE	384.6 EE	475 EE	561 EE
550 E	86.0 EE	125.5 EE	195 EE	290 EE	405.3 EE	505 EE	602 EE
600 E	89.1 EE	128.9 EE	201 EE	301 EE	424.7 EE	533 EE	641 EE
650 E	89.9 EE	132.0 EE	207 EE	311 EE	442.9 EE	560 EE	678 EE
700 E	91.6 EE	134.9 EE	212 EE	321 EE	460.0 EE	586 EE	715 EE
750 E	93.4 EE	137.7 EE	217 EE	330 EE	476.2 EE	610 EE	749 EE
800 E	95.0 EE	140.3 EE	222 EE	339 EE	491.6 EE	634 EE	783 EE
850 E	96.5 EE	142.8 EE	226 EE	347 EE	506.3 EE	656 EE	816 EE
900 E	99.0 EE	145.1 EE	231 EE	355 EE	520.2 EE	678 EE	847 EE
950 E	99.2 EE	147.3 EE	235 EE	362 EE	533.6 EE	698 EE	877 EE
1000 E	100.5 EE	149.4 EE	239 EE	369 EE	546.4 EE	718 EE	907 EE