TOEPASSING VAN HIDRODINAMIESE MODELLE OM KENMERKENDE RANDWAARDES, GELDIG VIR VLOEDBESPROEIING IN SUID-AFRIKA, AF TE LEI.

G.H.J.KRUGER

(B. Ingenieurswese)

Verhandeling voorgelê vir die graad *Magister in Ingenieurswese* aan die Potchefstroomkampus van die Noordwes-Universiteit

STUDIELEIER: PROF P.W. STOKER

November 2007.

• Getting it right • Re dira sentle • Ons doen dit reg

NORTH-WEST UNIVERSITY
YUNIBESITI YA BOKONE-BOPHIRIMA
NOORDWES-UNIVERSITEIT
POTCHEFSTROOMKAMPUS

ABSTRACT

Title

THE APPLICATION OF HYDRODYNAMIC MODELS TO GENERATE CHARACTERISTIC BOUNDARY VALUES FOR SURFACE IRRIGATION IN SOUTH AFRICA.

Background

Although surface irrigation is perceived to have low irrigation efficiency, more or less 7% of the water resources in South Africa are still used to practise surface irrigation. The design of surface irrigation requires the combination of 7 to 10 interrelated variables on a given soil. Previous studies indicated that data from measured and simulated irrigation events could be analysed to reflect useful trends, which could be used to optimize surface irrigation design.

Aim

The aim of this study was to develop methods to generate boundary values for surface irrigation design in South Africa.

Study design

This was an analytical study, where multiple regression techniques were used to develop two new mathematical models which can predict boundary values for surface irrigation design.

Method

From literature and previous unpublished research this study was planned to generate intersecting trend lines from simulated irrigation event data, in the following three categories:

- Primary trends, analysed from the rate of recession of irrigation water *(Yielding an optimized relationship between application and border length).*

- Secondary trends, from the analysis of the energy available for flow, during advance *(Yielding maximum border length, application efficiency and cut off management detail).*
- Tertiary trends from criteria developed to set boundary conditions for nonviable-, undesirable – and invalid design solutions for surface irrigation *(Yielding boundary values for design).*

These trend lines were presented graphically or mathematically to form nodes where they intersect. These nodes define the position (or address) of data points, where data, simulated with hydrodynamic models to quantify irrigation events, are available. By fitting lines, curves and equations to the data at these nodes, mathematical models were developed and boundary values could be calculated.

Results

The characteristics of irrigation bed behaviour during recession, the energy available for flow during advance and the sensitivity of the system to the management of the cut off of water supply, were investigated and documented in detail. Criteria were developed to define boundary conditions for nonviable-, undesirable – and invalid design solutions. Two new mathematical models were developed to calculate maximum length and predict the application efficiency.

Conclusions and recommendations

The strategy to generate irrigation event detail at nodes, by means of hydrodynamic simulation, gave good results. The development of criteria for boundary conditions and of new mathematical models to fit simulated values proved that the research was successful.

The development of analytical methods to calculate application efficiency and maximum field length are an international breakthrough. The concept is unique and allows the designer to visualize the effect of different design combinations. This result will pave the way to reconcile Empirical Design norms with the results from Hydrodynamic

Simulation models. Future research should validate these results statistically and incorporate it in a new version of the OPTIVLOED design programme.

Key words

Surface irrigation design, Optimizing design, Boundary values, Maximum border length, Calculating efficiency, Maximum streamsize.

UITTREKSEL

Titel

TOEPASSING VAN HIDRODINAMIESE MODELLE OM KENMERKENDE RANDWAARDES, GELDIG VIR VLOEDBESPROEIING IN SUID -AFRIKA, AF TE LEI.

Agtergrond

Daar bestaan 'n persepsie dat vloedbesproeiing lae doeltreffendheid het. Ten spyte hiervan word steeds sowat 7% van die beskikbare water in Suid Afrika, aangewend vir vloedbesproeiing. Tydens die ontwerp van 'n vloedbesproeiingstelsel vir 'n spesifieke stuk grond, word tussen 7 tot 10 interafhanklike faktore in die ontwerp gekombineer. Resultate van vorige navorsing het aangetoon dat data vanaf gemete en gesimuleerde besproeiingsepisodes aangewend kan word om tendense te beskryf, waaruit optimale ontwerp van besproeiing in Suid Afrika, gedoen kan word.

Doelwitte

Die doel van hierdie studie was om metodes te ontwikkel waarmee randwaardes vir vloedbesproeiing in Suid Afrika gestel kan word.

Studie ontwerp

In hierdie analitiese studie, is daar van multifaktoriale passing van data gebruik gemaak ten einde twee nuwe wiskundige verbande, waarmee randwaardes vir vloedbesproeiing gestel kan word, te ontwikkel.

Metode

Vanuit literatuur en ongepubliseerde vorige navorsing is die studie beplan sodat data van gesimuleerde besproeiingsepisodes in drie tendenslyne, wat mekaar kruis, omskep kon word. Die tendenslyne kon dus in volgende drie kategorieë beskryf word:

- Primêre tendense uit die tempo van afdroging van die besproeiingswater *(Waaruit die optimale verband tussen toediening en beddinglengte verkry word).*

- Sekondêre tendense uit die analise van energie beskikbaar vir beweging van die vorderingsfront *(Waaruit maksimum beddinglengte, toedieningsdoeltreffendheid en afsnytyd bestuur bepaal kan word).*
- Tersiêre tendense deur die stel van kriteria vir onpraktiese-, ongewensde- en ongeldige ontwerpoplossings *(waaruit randwaardes vir ontwerp gestel word)*

Grafiese voorstelling en wiskundige aanbieding van die tendenslyne is by sny of nodepunte gedoen. Die nodepunte skep 'n bekende adres waar data, wat met hidrodinamiese modelle gesimuleer is ten einde besproeiingsepisodes te kwantifiseer, beskikbaar is. Deur die passing van grafiese lyne, krommes en wiskundige vergelykings by die bekende adresse, kon wiskundige verbande ontwikkel word, waarmee randwaardes bereken kon word.

Resultate

Die eienskappe van besproeiingsbeddings tydens afdroging, die vloei energie beskikbaar tydens vordering en die sensitiwiteit van die stelsel vir afsnytydbestuur, is bestudeer en in detail gedokumenteer. Kriteria waarmee randwaardes vir onpraktiese-, ongewenste- en ongeldige ontwerpoplossings gedefinieer kon word, is ontwikkel Twee nuwe wiskundige verbande, waarmee die maksimum beddinglengte en toedieningsdoeltreffendheid voorspel kan word, is ontwikkel.

Gevolgtrekking en Aanbevelings

Die strategie om besproeiingsepisode data by nodepunte, met behulp van hidrodinamiese modelle te kwantifiseer, het goeie resultate gelewer. Die ontwikkeling van kriteria vir randwaardes en die ontwikkeling van nuwe wiskundige verbande, waarmee die gesimuleerde data gepas kon word, het bewys dat die navorsing suksesvol afgeloop het. Die ontwikkeling van analitiese metodes waarmee toedieningsdoeltreffendheid en maksimale beddinglengte bereken kan word, is 'n internasionale deurbraak. Hierdie konsep is uniek en sal die ontwerper in staat stel om die effek van verskillende ontwerpkombinasies te visualiseer. Hierdie uitkoms van die studie, sal dit ook moontlik maak om die resultate van Hidrodinamiese Simulasiemodelle met Empiriese Ontwerpnorme te versoen. Opvolgnavorsing behoort onderneem te word ten einde die

resultate uit hierdie studie statisties te bevestig en die nuwe kennis in 'n verbeterde uitgawe van die OPTIVLOED ontwerpprogram te vervat.

Sleutelwoorde

Vloedbesproeiingsontwerp, Optimale ontwerp, Randwaardes, Maksimum beddinglengte, Berekening van doeltreffendheid, Maksimum stroomgrootte.

BEDANKINGS

Ek spreek graag my dank en waardering uit aan die volgende instansies en persone wat dit vir my moontlik gemaak het om hierdie navorsing op te teken vir 'n nagraadse kwalifikasie:

1 My studieleier Prof. Piet Stoker.

2 My gesin en in besonder my vrou vir hulle ondersteuning en hulp.

3 Instansies wat my navorsing befonds en ondersteun het oor soveel jare, naamlik die Waternavorsingskommissie en die destydse Departement Landbou, Afdeling Landbou-Ingenieurswese.

4 Persone wat oor die jare gemete vloedbesproeiingsdata beskikbaar gestel het.

INHOUDSOPGAWE

ABSTRACT ... 1

UITTREKSEL ... 4

BEDANKINGS ... 7

INHOUDSOPGAWE ... 8

AFKORTINGS & SIMBOLELYS ... 12

LYS VAN FIGURE ... 14

LYS VAN TABELLE ... 20

HOOFSTUK 1 ... 23

1.1 INLEIDING ... 23
1.2 AGTERGROND ... 23
1.2.1 Water as nasionale hulpbron en aansprake daarop deur groeiende populasie ... 23
1.2.2 Die Vloedbesproeiingsbedryf se aandeel as produsent en waterverbruiker in Suid-Afrika .. 24
1.2.3 Historiese gebrek aan vloedbesproeiingstegnologie in Suid-Afrika ... 25
1.2.4 Navorsing op die gebied van vloedbesproeing sedert 1983 ... 26
1.2.5 Hierdie navorsing ... 26
1.3 MOTIVERING ... 27
1.3.1 Druk op produsente ... 27
1.3.2 Tegnologiese en kommersiële agterstand in vloedbesproeiing in SA ... 27
1.3.3 Potensiaal van vloedbesproeiing indien moderne tegnologie toegepas word ... 29
1.3.4 Wat is nodig om vloedbesproeiingstegnologie in SA op standaard te kry ... 30
1.3.5 Goeie ontwerptegnologie ... 30
1.3.6 Die stel van randwaardes tydens ontwerp ... 30
1.4 PROBLEEMSTELLING ... 31
1.5 NAVORSINGSDOELWITTE ... 32
1.6 STUDIE ONTWERP ... 33
1.7 UITEENSETTING VAN DIE NAVORSING ... 33

HOOFSTUK 2 ... 38

TEGNOLOGIE VIR VLOEDBESROEIINGSONTWERP ... 38

2.1 INLEIDING ... 38
2.2. VLOEDBESPROEIING IN SUID-AFRIKA ... 38
2.2.1 Omvang van vloedbesproeiing is SA ... 38
2.2.2 Doeltreffendheid van stelsels ... 39
2.2.3. Voor- en nadele van vloedbesproeiing ... 40
2.2.4. Kritieke prestasie areas ... 42
2.2.5. Die toepassing van ontwerptegnologie ... 43
2.2.6 Navorsingsbehoeftes ... 44
2.3 FOKUS VAN INTERNASIONALE NAVORSING ... 45
2.4 TEGNOLOGIE WAT VIR VLOEDBESROEIINGSONTWERP IN SUID-AFRIKA AANGEWEND WORD ... 52
2.5 ONTWERPOOGMERKE IN VLOEDBESPROEIING ... 53
2.6 BASIESE HIDROULIESE BEGINSELS EN BEHEERMEGANISMES WAT IN DIE PRAKTYK VOORKOM ... 55
2.6.1 Wiskundige verbande ... 57
2.6.2 Vereenvoudigde toepassing van hidrouliese beginsels om insette vir simuleringsmodelle te bepaal ... 58
2.6.3 Meetbare fases tydens 'n besproeiingsperiode ... 58
2.6.4 Faktore wat 'n indirekte invloed op stelselhidoulika het ... 59

2.6.5 *Faktore wat 'n direkte invloed op stelselhidroulika het* *61*
2.7 DIE ONTWERP VAN VLOEDBESPROEIING IN SUID-AFRIKA 61

HOOFSTUK 3 .... **62**

METODES OM'N BESPROEIINGSEPISODE TE KWANTIFISEER **62**

3.1 INLEIDING 62
3.2 KWANTIFISERING VAN 'N BESPROEIINGS-EPISODE 63
3.2.1 *Praktiese evaluasie van 'n vloedbesproeiings-episode* *63*
3.2.2 *Hidrodinamiese simulasie van 'n vloedbesroeiings-episode* *67*
3.2.3 *Benadering tot meting en wiskundige berekenings* *67*
3.3 BENUTTING VAN BESPROEIINGSEPISODE DATA 72
3.3.1 *Optimalisering van 'n enkele besproeiing* *72*
3.3.2 *Optimalisering van 'n reeks besproeiings* *73*
3.3.3 *Ontleding van optimale besproeiings vir die voorkoms van tendense* *73*
3.3.4 *Die stel van randwaardes vir tendense* *74*
3.4 DIE BEPLANNING VAN SIMULASIE STUDIES 75
3.4.1 *Beperking van variasie tydens vergelykings:* *76*
3.4.2 *Beplanning van die analise van tendense om randwaardes te kan stel* *76*
3.5 PROSEDURE ONTWIKKEL VIR DIE STEL VAN RANDWAARDES 77
3.5.1 *Primêre tendenslyne: Eienskappe van afdrogingsfronte* *77*
3.5.2 *Sekondêre tendenslyne: Vloeienergie, bestuurswyse en doeltreffentheid* *78*
3.5.3 *Tersiêre tendenslyne: Randwaardebegrensing en afbakening van die ontwerpgebied* *79*
3.6 ALGEMENE PROSEDURE SOOS GEBRUIK VIR DIE SIMULASIE VAN DATA 80
3.6.1 *Infiltrasienorme gebruik vir simulasies* *81*
3.6.2 *Hellings (S) gebruik vir simulasies* *82*
3.6.3 *Gewas en vloeiweerstand (n) gebruik vir simulasies* *82*
3.6.4 *Besproeiingstoediening (Z) gebruik vir simulasies* *83*
3.6.5 *Beddinglengte (L) gebruik vir simulasies.* *83*
3.6.6 *Grafiese voorstelling van 'n datastel* *83*
3.6.7 *Ontleding van tendense* *84*
3.7 ALGEMENE PROSEDURE VIR DIE SIMULASIE EN VERWERKING VAN RESULTATE 85
3.8 RESULTATE: DATA VAN GEKWANTIFISEERDE BESPROEIINGS-EPISODES 86

HOOFSTUK 4 .... **90**

DIE EIENSKAPPE VAN AFDROGINGSFRONTE IN OPTIMALE ONTWERP **90**

4.1 INLEIDING 90
4.2 ONTWIKKELING VAN DIE OPTIVLOED MODEL 90
4.3 WAARGENOME TENDENSE UIT DATA WAT IN DIE PRAKTYK GEMEET IS 91
4.4 WAARGENOME TENDENSE WAT UIT GESIMULEERDE DATA VERKRY IS 93
4.5 DIE INVLOED VAN VERSKILLENDE FAKTORE OP DIE AFDROOGEIENSKAPPE 96
4.5.1 *Die invloed van stroomgrootte* *96*
4.5.2 *Die invloed van infiltrasie* *99*
4.5.3 *Die invloed van vloeiweerstand* *99*
4.5.4 *Die invloed van helling* *101*
4.5.5 *Die invloed van beddinglengte* *103*
4.5.6 *Die invloed van afsnytyd* *103*
4.5.7 *Die invloed van geslote beddings* *104*
4.6 ONTLEDING VAN EIENSKAPPE VAN DIE AFDROGINGSFRONT 105
4.6.1 *Die Vorderingsfase:* *105*
4.6.2 *Die Wegdreiningsfase ("Depletion Phase")* *105*
4.6.3 *Die Resessiefase* *106*
4.6.4 *Wiskundige beskrywing/ontleding van afdrogingsfronteienskappe* *107*
4.7 TOEPASSING VAN AFDROGINGSFRONTEIENSKAPPE IN DIE OPTIMALE ONTWERP VAN BEDDINGS EN VOORTJIES TEEN VERSKILLENDE HELLINGS 112

4.7.1 Ontwerp-oogmerke *112*
4.7.2 Bereiking van die ontwerpoogmerke tydens besproeiing *113*
4.7.3 Infiltrasie-eienskappe *116*
4.7.4 Die verband tussen beddinglengte en toediening *117*
4.8 TOEPASSING VAN DIE OPTIMALISERINGSVERBAND IN PRAKTIESE ONTWERPBEREKENINGE 121
4.8.1 Die waardes van die vloeidieptekonstante (S_y): *121*
4.8.2 Oplos van veranderlikes *124*
4.8.3 Resultate van die optimaliseringsberekeninge *124*
4.9 RESULTATE VAN OPTIVLOED-2.2 126

HOOFSTUK 5 132

DIE INVLOED VAN VLOEI-ENERGIE OP DIE ONTWERP VAN VLOEDBESPROEIING 132

5.1 INLEIDING 132
5.2 ONTWIKKELING VAN DIE KONSEP 'VLOEI-ENERGIE' 132
5.2.1 Waarnemings in die praktyk *133*
5.2.2 Teoretiese beredenering van vloei-energie konsep *134*
5.3 HIDROULIESE BEGINSELS 139
5.3.1 Die besproeiingsfases *139*
5.3.2 Die vorderingsfase *139*
5.3.3 Wiskundige beskrywing van die hidroulika tydens die vorderingsfase *139*
5.4 METODES ONTWIKKEL OM VLOEI-ENERGIE DATA TE BEREKEN EN VOOR TE STEL 144
5.4.1 Dinamiese volumebalans volgens Metode 1 ..... *145*
5.4.2 Kompensasie vir helling en vloeiweerstand by metode 1 ..... *146*
5.4.3 Vloei-energie ekwivalente. *148*
5.4.4 Werklike teenoor Effektiewe stroomgrootte *149*
5.5 FAKTORE WAT 'n INVLOED OP VLOEI-ENERGIE HET 151
5.5.1 Infiltrasietempo. *155*
5.5.2 Beddinglengte *156*
5.5.3 Helling *156*
5.5.4 Gewas & Vloeiweerstand *157*
5.5.5 Stroomgrootte *158*
5.5.6 Afsnytyd *158*
5.5.7 Toediening *158*
5.5.8 Toedieningsdoeltreffendheid *158*
5.6 DIE INVLOED VAN VLOEI-ENERGIE OP BESPROEIINGS ONTWERP 158
5.6.1 Maksimum beddinglengtes en vloei-energie *159*
5.6.2 Minimum bedding hellings en vloei-energie *162*
5.7 DIE BESTUUR VAN AFSNYTYD -----BESTUURSFAKTOR α_3 164
5.7.1 Afsnytyd bestuur in Suid-Afrika *167*
5.7.2 Ontleding van faktore wat Afsnytyd en dus die bestuursfaktor α_3 beïnvloed *168*
5.7.3 Wiskundige ontleding van die bestuur van afsnytyd *173*
5.7.4 Berekening van die bestuursfaktor in ontwerp *174*
5.8 RESULTATE VAN RANDWAARDES GESTEL MET VLOEI-ENERGIE EN BESTUURSENSITIWITEIT 175
5.9 OPSOMMING VAN VLOEI-ENERGIE GEKOPPELDE RANDWAARDE RESULTATE. 176

HOOFSTUK 6 178

BEPALING VAN TERSIÊRE TENDENSLYNE : RANDWAARDES EN BEGRENSING VAN DIE ONTWERPGEBIED VIR VLOEDBESPROEIING 178

6.1 INLEIDING 178
6.2 PROBLEMATIEK MET DIE STEL VAN RANDWAARDES 179
6.2.1 Randwaardes moet nie goeie ontwerp beperk nie *179*

6.2.2 Randwaarde tegnieke moet beginsels uitlig ... *179*
6.3 RANDWAARDES VIR VLOEDBESPROEIING ... 180
6.3.1 Begrip en doel van Randwaardes ... *180*
6.3.2 Tipiese gebruik van randwaardes by vloedbesproeiing. ... *180*
6.3.3 Kategorieë vir gebruik van randwaardes ... *180*
6.4 RANDWAARDES VIR ONPRAKTIESE ONTWERPOPLOSSINGS ... 181
6.4.1 Metode gevolg om onpraktiese ontwerpoplossings uit te skakel ... *181*
6.4.2 Resultate vir onpraktiese ontwerpoplossings ... *182*
6.5 RANDWAARDES VIR ONGEWENSDE ONTWERPOPLOSSINGS ... 187
6.5.1 Handhawing van hoë toedieningsdoeltreffendheid ... *188*
6.5.2 Randwaardes vir Beperking van gronderosie ... *202*
6.6 RANDWAARDES VIR ONGELDIGE ONTWERPOPLOSSINGS ... 210
6.6.1 Inleiding ... *210*
6.6.2 Metode ontwikkel om ongeldige berekenings / oplossings uit te skakel ... *210*
6.6.3 Resultate vir ongeldige berekeninge / oplossings ... *211*

HOOFSTUK 7 ... 216

SAMEVATTENDE BESPREKING EN AANBEVELING ... 216

7.1 INLEIDING ... 216
7.2 ONTWIKKELING VAN TEGNIEKE EN ANALITIESE METODES WAARMEE RANDWAARDES GESTEL KAN WORD ... 217
7.2.1 Eienskappe van afdrogingsfronte as 'n primêre tendens ... *217*
7.2.2 Invloed van vloei-energie op vorderingsfronte as sekondêre tendens ... *217*
7.2.3 Onpraktiese, ongewensde en ongeldige ontwerpoplossings as tersiêre tendense. ... *219*
7.3 BESPREKING VAN RANDWAARDE RESULTATE ... 220
7.3.1 Randwaardes om onpraktiese besproeiingsontwerpe te beperk ... *220*
7.3.2 Randwaardes om ongewensde besproeiingspraktyke te beperk ... *220*
7.3.3 Randwaardes om ongeldige ontwerpberekeninge uit te skakel ... *223*
7.4 DIE BYDRAE VAN HIERDIE STUDIE TOT DIE VLOEDBESPROEI-INGSBEDRYF ... 224
7.4.1 Nasionaal ... *224*
7.4.2 Internasionaal ... *225*
7.5 AANBEVELING VIR VERDERE NAVORSING ... 225
7.5.1 Leemtes in hierdie studie ... *225*
7.5.2 Verdere navorsingsbehoeftes wat ui die studie voortvloei ... *225*

BRONNELYS ... 225

SIMULASIEMODELLE ... 238

AANHANGSEL 1 ... 239

1.1 RANDWAARDE TABELLE ... 239

AFKORTINGS & SIMBOLELYS

(Nota: Afkortings en simbole volgens internasionale gebruik vir hidrodinamiese simulasiemodelle (Walker en Skoegerboe, 1987; Strelkoff en Katapodes, 1977; Kruger, 1998a-d).

∂ ; d	Parsiële afgeleide; differensiaal of afgeleide
f	Funksie van / koëffisiënt
ℓ	Afstand vanaf die vaste punt van die golfprofiel
σ_2	Faktor waarmee die subprofiel/oppervlak gedefinieer word
α_3	Bestuursfaktor
A	Area
C_u/U_c	Verspreidingsdoeltreffendheid
E	Doeltreffendheid
E_a	Toedieningsdoeltreffendheid
E_s	Storingsdoeltreffendheid
E_u	Verspreidingsdoeltreffendheid
F	Froude-getal
f_0	Gemiddelde gestabiliseerde infiltrasie volume vloeitempo
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
F_n	Verlangde toediening (SCS)
g	Swaartekragversnelling
ha	Hektaar
i	i-de inkrement
IF	Infiltrasie groep/inname-familie
I ; I_x	Infiltrasie ; Infiltrasie in die x dimensie
I_{res}	Gemiddelde infiltrasietempo tydens die resessiefase
I_q	Infiltrasie volume vloeitempo
k	Kostiakov-infiltrasiekonstante
L	Lengte/beddinglengte
L_{opti}	Optimale lengte
n	Manningkonstante vir vloeiweerstand
p	Benatte omtrek
pf	Oppervlakstoring op oneweredige grondoppervlaktes

Q	Stroomgrootte/eenheid stroomgrootte
q	Vloeitempo / stroomgrootte
q_{inf}	Infiltrasie met vloeitempo
Q_0	Beginstroom, stroom by begin punt
Q_u	Eenheidstroomgrootte
Q_{uve}	Vloei-energie ekwivalent
R	Hidrouliese radius/straal
R_{off}	Afloop ("tail water runoff")
S	Beddinghelling
SCS	Soil Conservation Service
S_f	Energie/wrywingshelling/ Waterhelling
S_0	Grondhelling
S_y	Vloeidiepte konstante
t ; T ; t_s	Tyd; tydsverloop tot by 'n afstand
t^* / t^x	Dimensielose tyd
T_{co}	Afsnytyd
T_g	Gemiddelde bruto kontaktyd
T_k	Kontaktyd
T_L	Resessietyd
T_{Lag}	Wegdreineringstyd
T_n	Netto infiltrasietyd
USDA	United States Department of Agriculture
V	Snelheid of volume
V_{gem}	Gemiddelde vloeisnelheid van water
VE	Vloei-energie
x	Afstand
x^*	Dimensielose vorderingsfunksie vir afstand
y	Vloeidiepte
Z	Bruto toediening / toediening
z^l	Vertikale hoogte
Z_{req}	Verlangde toediening

LYS VAN FIGURE

Figuur no.	Beskrywing	Bladsy
Figuur 1.1	Voorbeeld van vloedbesproeiingspraktyke in Suid-Afrika	23
Figuur 1.2	Skematiese voorstelling van die studie	34
Figuur 2.1	Skematiese voorstelling van die ontwerp-oogmerk	55
Figuur 2.2	Grafiese voorstelling om vloedbesproeiing te beheer	56
Figuur 2.3	Besproeiingsfases waar vorderings- en afdrogingsfront-krommes op 'n tyd-afstand-vlak voorgestel word (Aangepas vanaf Walker, 1989)	59
Figuur 3.1	Praktiese evaluasie van 'n vloedbesproeiings-episode	63
Figuur 3.2	'n Voorstelling van die mees geskikte waardes vir vloeiweerstand (Manning-n). Data wat hier uitgebeeld word is gemeet tydens die Glen Eksperiment en herverwerk (Kruger, 1998c)	65
Figuur 3.3	Voorbeeld van metings waarvan daar beperkte afleidings gemaak kan word	66
Figuur 3.4	Dimensielose tyd-afstandvlak ["Borderflow"-program, Strelkoff (1985)]	69
Figuur 3.5	Die Euler tyd-afstandsvlak ["SIRMOD"-program, Walker (1989)]	71
Figuur 3.6	Grafiese voorstelling van die verband tussen beddinglengte en toediening soos bepaal uit die eienskappe van afdrogingsfronte	78
Figuur 3.7	Twee tipes tendenslyne wat by nodes sny word aangetoon	79
Figuur 3.8	'n Gebied of spektrum waarbinne daar teoreties doeltreffend en volhoubaar besproei kan word	79
Figuur 3.9	Grafiese voorstelling van die datagenerasie prosedure	80
Figuur 3.10	Voorgestelde Infiltrasienorme van Kruger (1989)	81
Figuur 3.11	Grafiese voorstelling van 'n datastel	84

Figuur 3.12	Krommepassing van 'n aantal gesimuleerde optimale datastelle	85
Figuur 3.13	'n Voorbeeld van die passing van gesimuleerde data	88
Figuur 4.1	Vorderingsfronte vir besproeiing van beddings te Vaalharts (Gewas: koring)	91
Figuur 4.2	Vorderingsfronte vir voortjiebesproeiing te Vaalharts (Gewas: rissies)	91
Figuur 4.3	Vorderingsfrontkrommes wat vir oop beddings met behulp van die Borderflow-simuleringsmodel van Strelkoff (1985) verkry is	94
Figuur 4.4	Afdrogingsfrontkrommes vir oop beddings met behulp van die Borderflow-simuleringsmodel van Strelkoff (1985)	95
Figuur 4.5	Vorderings- en afdrogingsfrontkrommes vir geslote beddings met behulp van die SIRMOD-simuleringsmodel van Walker (1989). IF = 8; $S_0 = 0.01$	95
Figuur 4.6	Die invloed van stroomgrootte op die afdrogingsfrontkrommes	97
Figuur 4.7	Die invloed van stroomgrootte op 'n grond met 'n ultrahoë infiltrasie. (voortjies; kaal grond)	98
Figuur 4.8	Tendenslyne soos verkry uit data vir die afrondingsfront soos gegee in Figuur 4.7 (voortjies;kaalgrond)	98
Figuur 4.9	Die invloed van infiltrasie-eienskappe op die afdrogingsfront-krommes	99
Figuur 4.10	Die invloed van vloeiweerstand op die afdrogingsfrontkrommes	100
Figuur 4.11	Die invloed van helling op die vorderings- en afdro-gingsfrontkrommes	101
Figuur 4.12	Die invloed van helling op afdrogingskrommes van gronde met 'n ultra-hoë infiltrasie	102
Figuur 4.13	Die invloed van helling op die afdrogingsfront-krommes Manning $n = 0.15$	102
Figuur 4.14	Die invloed van beddinglengte op afdrogingsfronte by verskillende stroomgroottes	103

Figuur 4.15 Die invloed van afsnytyd op die vorderings- en afdrogingsfront-krommes 104

Figuur 4.16 Die invloed van geslote beddings op die afdrogingsfront by verskillende stroomgroottes en beddinglengtes. IF = 8.0 104

Figuur 4.17 Skematiese voorstelling van die beweging van water tydens die vorderingsfase 105

Figuur 4.18 Skematiese voorstelling van die beweging van water tydens die wegdreineringsfase 106

Figuur 4.19 Skematiese voorstelling van die beweging van water tydens die resessiefase 106

Figuur 4.20 Voorstelling van die gradiënt van die afdrogingsfront ($\frac{d\ell}{dt}$) 107

Figuur 4.21 Voorstelling van die wiskundig ontleedbare resessiefase in vloedbesproeiing 108

Figuur 4.22 Driedimensionele voorstelling van die volume water bo die grond 110

Figuur 4.23 Driedimensionele voorstelling van die volume water bogronds en die infiltrasie wat plaasvind 110

Figuur 4.24 Grafiese voorstelling van sommige van die vordering- en afdrogingskrommes van die data in Tabel 4.1 113

Figuur 4.25 'n Grafiese voorstelling van die afdrogings-frontgradient ($\frac{d\ell}{dt}$) waar die vordering- en afdrogingsfronte teen dieselfde tempo beweeg 114

Figuur 4.26 Grafiese voorstelling van die afdrogings-frontgradient ($\frac{d\ell}{dt}$) waar die afdrogingsfront vinniger as die vorderingsfront beweeg 115

Figuur 4.27 Grafiese voorstelling van die afdrogings-frontgradient ($\frac{d\ell}{dt}$) waar die afdrogingsfront stadiger as die vorderingsfront beweeg 115

Figuur 4.28 Voorstelling van die ideale vorderings- en afdrogingsfronte wat parallel loop en toelaat vir 'n eweredige kontaktyd (*T*) 116

Figuur 4.29 'n Skematiese voorstelling van kumulatiewe infiltrasie (*Z*) en infiltrasietempo (*I*) teenoor tyd (*T*) 117

Figuur 4.30	Die optimale verband tussen beddinglengte (L) en toediening (Z); IF = 4.0; S_0 = 0.0033; Manning-n soos aangedui in legende (Data verkry vanaf Kruger,1989)	121
Figuur 4.31	Voorstelling van die wiskundigontleedbare resessiefase	122
Figuur 4.32	Die resessieprofiel wat gebruik is om die gemiddelde afdrogingsfrontgradiënt ($\frac{d\ell}{dt}$)gemiddeld) te bereken	122
Figuur 4.33	'n Voorbeeld van die waarde van die S_y-konstante soos dit uit beperkte data, wat beskikbaar was en nuut bepaal is deur Kruger (1998)	123
Figuur 4.34	Grafiese voorstelling van die resultate van die verband tussen beddinglengte en toediening word oor die volle infiltrasiespektrum aangetoon	125
Figuur 5.1:	Seisoenale variasie in die tempo van vorderingsfronte in die VSA, soos aangepas vanaf Walker en Skogerboe (1987)	134
Figuur 5.2	Voorstelling van totale vloei-energie by vloedbesproeiing	138
Figuur 5.3:	Hidrouliese gradiënte soos van toepassing vir die Zero-inertia-benadering in 'n tweedimensionele vlak	140
Figuur 5.4	Voorstelling van Effektiewe stroom (Q_e) en werklike stroom (Q_u)	151
Figuur 5.5	Gesimuleerde beddinglengtes waarby die vloei-energie bykans nul word en die vorderingsfront dus staak, aangetoon teenoor die verwysingslengte bereken met Metode 1	153
Figuur 5.6	Drukstandverlies soos bereken vir gesimuleerde data by stakingslengte	154
Figuur 5.7	Vloei-energie ekwivalente vir verskillende beddinglengtes en inname families soos uit OPTIVLOED 2.2 data bereken vir 'n steil helling van S_0 = 0.0125	155
Figuur 5.8	Vloei-energie ekwivalente vir verskillende beddinglengtes en inname families soos uit OPTIVLOED 2.2 data bereken vir 'n plat helling van S_0 = 0.001	157
Figuur 5.9	Teenoorgestelde krommings van die (v) vorderings- en (a) afdrogingsfronte waardeur beddinglengte beperk word	160

Figuur 5.10	Die invloed van die netto vloei-energie op maksimum vorderingsfrontafstande by verskillende hellings, soos bepaal op gronde met 'n 6.0 IF infiltrasietempo	161
Figuur 5.11	Die invloed van netto vloei-energie soos aangetoon deur maksimum vorderingsfrontafstande vir 'n stroomgrootte van 10 (l/s)/m by verskillende vloeiweerstande	162
Figuur 5.12	Vergelyking van wrywings- of waterhelling (S_f) met die grondhelling (S_0)	163
Figuur 5.13	Vloei-energie teenoor beddinglengte vir twee alternatiewe ontwerpe	165
Figuur 5.14	Vordering en afdrogingsfronte vir die data in Figuur 5.13 waarby die afsnytyd en afsny afstande aangedui is	166
Figuur 5.15	Toedienings teenoor beddinglengte met gepaardgaande toedieningsdoeltreffendhede	170
Figuur 5.16	Sensitiwiteit van toedieningsdoeltreffendheid vir verskillende beddinglengte, Q_u/L-waardes en toedienings-tempo's	171
Figuur 5.17	Gemete data vir stroomgrootte teenoor toediening. (Perseel 6A4, Vaalharts; koring)	172
Figuur 5.18	Grafiese voorstelling van die verband tussen vordering en afdroging	174
Figuur 5.19	Optimale verband tussen lengte en toediening op 'n grond met 'n ultrahoë infiltrasietempo. Maksimum beddinglengtes vir bepaalde stroomgroottes word aangedui by verskillende waardes van die bestuursfaktor	175
Figuur 6.1	Bestuursensitiwiteit aan die hand van die volumebalans-beginsel	185
Figuur 6.2	Vergelyking tussen gesimuleerde en Metode 2 berekende data	194
Figuur 6.3	'n Voorstelling van lae doeltreffendheid by klein toediennings met die verkeerde stroomgrootte en beddinglengte	197
Figuur 6.4	Samestelling van resultate vir randwaardes by stroomgrootte en toedieningsdoeltreffendhede soos bereken met Metode 2	198
Figuur 6.5	Randwaarde resultate waar die effek van helling op beddinglengte aangetoon word vir die 8.0 IF op 'n kaal grond	199

Figuur 6.6	Randwaarde resultate waar die effek van helling op beddinglengte aangetoon word vir die 0.3 IF op 'n kaal grond	200
Figuur 6.7	Randwaarde resultate waar die effek van helling op beddinglengte aangetoon word vir die 0.3 IF op 'n grond wat met digte lusern beplant is	201
Figuur 6.8	Illustrasie van 'n ongewensde ontwerp waar vorderingsfront die erosie limiet oorskry ten spyte daarvan dat die vordering- en afdrogingsfronte parallel verloop	204
Figuur 6.9:	Verband tussen helling, vloeispoed en stroomgrootte (*n*=0.04)	207
Figuur 6.10	Verband tussen helling, vloeidiepte en stroomgrootte(*n*=0.04)	208
Figuur 6.11	Erosiesnelheid (V_{maks}) en vloeidiepte (Y_0) beperking op stroomgrootes (Q_u) teen verskillende hellings (S_0)	209
Figuur 6.12	Passing van data uit OPTIVLOED 2.2 met randwaarde data vanaf metode 2	214
Figuur 7.1	Erosiesnelheid (V_{maks}) en vloeidiepte (Y_0) beperking op stroomgrootes (Q) teen verskillende hellings (S_0)	221
Figuur 7.2	Voorbeeld van die gebruik van verwysingslengte (uit Metode 1) en toedieningsdoeltreffendheid (uit Metode 2), vir verband tussen helling en die randwaarde vir beddinglengte	222

LYS VAN TABELLE

Tabel no.	Beskrywing	Bladsy
Tabel 2.1	Oppervlaktes onder besproeiing in die RSA [soos verwerk en aangepas vanuit Nasionale Voedselstrategie (1990) en AQUASTAT-FAO (2006)]	39
Tabel 2.2	Die resultate van besproeiing op koring op die Vaalharts navorsingstasie (1980)	40
Tabel 2.3	Kritieke faktore in die ontwikkeling van 'n doeltreffende stelsel vir vloedbesproeiing soos aangepas vanuit 'n loodsondersoekverslag aan die Landbou Navorsingsraad (ILI), (Kruger, 1997)	43
Tabel 2.4	Prioriteitslys vir vloedbesproeiingsnavorsing soos aangetoon deur ontwerpers van vloedbesproeiingstelsels (Kruger, 1998e)	44
Tabel 2.5	'n Opsomming van relevante navorsing op die gebied van vloedbesproeiingsontwerp prosedures	45
Tabel 2.6	'n Opsomming van relevante navorsing op die gebied van skedulering van bespreking en skema beplanning	48
Tabel 2.7	'n Opsomming van relevante navorsing op die gebied van bemesting	49
Tabel 2.8	'n Opsomming van relevante navorsing op die gebied van dreinering en besoedeling met die toepassing van hidrodinamiese modelle	50
Tabel 2.9	'n Opsomming van relevante navorsing op die gebied van insette, vloeiweerstand en infiltrasie	50
Tabel 2.10	'n Opsomming van relevante navorsing op die gebied van grondverskuiwing en erosie spesifiek vir vloedbesproeiing	52
Tabel 2.11	Fases in die ontwikkeling en toepasbaarheid van hidrouliese beginsels	53
Tabel 3.1	Glen Eksperiment: Fisiese infiltrasie-metings - Oktober 1983	64
Tabel 3.2	Glen Eksperiment: Fisiese metings van die vorderings en afdrogingsfronte - Oktober 1983	64

Tabel 3. 3	Infiltrasie norme gebruik vir randwaardestelling	82
Tabel 3.4	Hellings soos in die studie gebruik	82
Tabel 3.5	Vloeiweerstandswaardes soos in die studie gebruik	83
Tabel 3.6	Besproeiingstoediennings soos in die studie gebruik	83
Tabel 3.7	Resultate van SIRMOD Gesimuleerde data	87
Tabel 4.1	Besproeiingsdoeltreffendhede van data waarvan sommige getoon word in Figuur 4.24	114
Tabel 4.2	Infiltrasieberekeninge tydens die resessiefase, geldig vir optimale besproeiing	120
Tabel 4.3	OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 8.0IF : Kaalgrond Manning n=0.04	126
Tabel 4.4	OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 8.0IF : Koring Manning n=0.15	126
Tabel 4.5	OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 8.0IF : Lusern Manning n=0.25	127
Tabel 4.6	OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 4.0IF : Kaalgrond Manning n=0.04	127
Tabel 4.7	OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 4.0IF : Koring Manning n=0.15	127
Tabel 4.8	OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 4.0IF : Lusern Manning n=0.25	128
Tabel 4.9	OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 1.0 IF : Kaalgrond Manning n=0.04	129
Tabel 4.10	OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 1.0IF : Koring Manning n=0.15	129
Tabel 4.11	OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 1.0IF : Lusern Manning n=0.25	130
Tabel 4.12	OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 1.0 IF : Kaalgrond Manning n=0.04	130
Tabel 4.13	OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 1.0IF : Koring Manning n=0.15	131
Tabel 4.14	OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 1.0IF : Lusern Manning n= 0.25	131

Tabel 5.1:	Drukstand (as vloeidiepte, relatief tot S_0=0.0125) as indikator van vloei-energie, bepaal uit gesimuleerde data (8.0 IF DRUKSTAND vir SIRMOD simulasie)	143
Tabel 5.2	Die invloed van vloei-energie op die relatiewe verhouding van die waterhelling (S_f/S_0) en besproeiingsdoeltereffendheid (E_a)	164
Tabel 6.1	Beperking van stroomgrootte weens die fisiese afmetings van geleiers	183
Tabel 6.2	Eliminasie van onpraktiese afsnytyd	186
Tabel 6.3	Kontaktyd teenoor infiltrasietempo by verskillende toedienings	187
Tabel 6.4	Tipiese berekening van lengte en doeltreffendheid vir Vaalharts	195
Tabel 6.5	USSR DATA van toelaatbare vloeispoed en partikelgrootte (Walker & Skoggerboe, 1987)	203
Tabel 6.6	VSA standaard vir Q_{maks} (Jensen, 1980)	205
Tabel 6.7	Toelaatbare stroomgroottes en vloeidieptes vir kaal grond (n=0.04)	206
Tabel 6.8	Uitwys van ongeldige berekeninge en oplossings by SIRMOD	212
Tabel 6.9	Randwaarde vir toedieningsdoeltreffendhede vir die data soos getoon in Tabel 6.8	213
Tabel 6.10	Randwaarde vir beddinglengtes vir die data soos getoon in Tabel 6.8	213

HOOFSTUK 1

1.1 INLEIDING

Vloedbesproeiing behels dat grond gebruik word om as hidrouliese geleier, die water oor 'n bepaalde oppervlak te versprei (Kruger, 1998a-e). Figuur 1.1 dui die proses, soos prakties in Suid-Afrika toegepas, aan.

BEDDINGS WAT MET HEWELPYPE BESPROEI WORD	VOORTJIES WAT UIT 'N BAK NATGELEI WORD

Figuur 1.1 Voorbeeld van vloedbesproeiingspraktyke in Suid-Afrika

Die Vloedbesproeiingsbedryf moet op 'n eties- en wetenskaplik verantwoordbare wyse van nasionale hulpbronne soos grond en water gebruik maak in die proses van gewasproduksie.

1.2 AGTERGROND

1.2.1 Water as nasionale hulpbron en aansprake daarop deur groeiende populasie

Suid-Afrika is 'n relatief droë land. Die populasie in SA neem sterk toe weens hoë geboortesyfers en die toestroming van buitelanders. Die amptelike bevolking in SA, het van meer as 43 miljoen in 2001 toegeneem na 47.5 miljoen in 2006

(Statistiek SA, 2001, 2006). Nie amptelik word die werklike populasie tans in 2007, deur die navorser geskat op 55 tot 65 miljoen. Die raming is gegrond op die groot getalle buitelanders wat nie amptelik in Suid-Afrika woonagtig is. Die aanspraak van alle inwoners op water, as natuurlike gesamentlike hulpbron, neem geweldig toe. Water is 'n hulpbron wat deur periodieke droogtes beïnvloed word. Aardverwarming en die verwagte effek daarvan in Suid-Afrika, sal lei tot groter druk om meer landbouprodukte met beperkte hoeveelhede water te produseer. Die landbousektor in die wêreld, met 'n verbruik van 70%, is tans steeds die grootste enkele verbruiker van opgegaarde water (FAO, 2003). Die landbou verbruik sowat 60 tot 70% van alle opgegaarde water ook in SA (aangepas vanaf Van Robbroeck, 1983). Druk word toenemend op die landbou uitgeoefen vir die beskikbaarstelling van groter volumes water wat deur die algemene publiek, plaaslike owerhede, nywerhede en vir elektrisiteitsvoorsiening gebruik kan word.

1.2.2 Die Vloedbesproeiingsbedryf se aandeel as produsent en waterverbruiker in Suid-Afrika

In 1987 het Bruwer (1987) geraam dat sowat 50% van die 1,2 miljoen hektaar wat in Suid-Afrika besproei is, onder vloedbesproeiing was. Die navorser beraam dat die oppervlak ondertussen afgeneem het na ongeveer 15% van die huidige 1,5 tot 1,6 miljoen hektaar wat besproei word. Die vloedbesproeiingsbedryf het generies ontwikkel in Suid-Afrika. Oral waar boere of nedersettings gevestig het gedurende die afgelope 350 jaar, is daar van gravitasiestelsels gebruik gemaak om water aan te voer en vars groente, graan en veevoer te verbou. Die stelsels is geleidelik, met plaaslike arbeid en materiale en met minimale vreemde kapitaal ontwikkel. Die standaard van die ou stelsels het dus baie gewissel. Volgens Kruger (1998a) was die klem eerder op die beskikbaarheid van water, as wat dit op die doeltreffendheid van besproeiing gefokus was. Die ou stelsels (onder andere ook bekend as "lei-erwe") het 'n reuse bydrae gemaak tot die voorsiening van varsprodukte en die volhoubaarheid van lewe op die platteland. Met die koms van gemeganiseerde landbou en die algemene verswakking van die ruilvoet in landbouprysstrukture, het die

behoeftes verskuif. Lei-erwe het grootliks in onbruik verval en daar is beweeg na ekonomie van skaal. Soos wat die nasionale elektrisiteitsnetwerk in die platteland ontplooi is, het groter boere begin beweeg na sprinkelbesproeiing en ander spesialisstelsels. Dié tendens sal na verwagting voortduur solank grondige ekonomiese redes daarvoor bestaan. Tans raam die navorser dat ongeveer 247 000 hektaar van die besproeide hektare in Suid-Afrika steeds onder aktiewe vloedbesproeiing is en dat sowat 7% van die waterbronne in SA tans daarvoor aangewend word [1]. Volgens Du Rand en Kruger (1991), was die algemene doeltreffendheid van Suid-Afrikaanse vloedbesproeiingskemas, met die uitsondering van die Vaalhartsskema (wat sowat 70% doeltreffend was), slegs ongeveer 50% in 1991. Die bedryfs- en aanvoerkanaal-verliese van skemas word by hierdie lae doeltreffendheid ingesluit. Die outeurs was ook van mening dat 'n nasionale strategie vir die opgradering van vloedbesproeiing in Suid-Afrika noodsaaklik was, en dat gesonde ontwerp-tegnologie as 'n voorvereiste daarvoor gesien moes word (Du Rand & Kruger, 1991). Verbeterde ontwerp van vloedbesproeiingstelsels kan dus 'n deurslaggewende rol speel in die effektiewe aanwending van besproeiingswater, en kan gebruik word om die doeltreffendheid van bestaande stelsels op te gradeer, asook om nuwe stelsels van meet af meer doeltreffend te maak.

1.2.3 Historiese gebrek aan vloedbesproeiingstegnologie in Suid-Afrika

Oor die jare het verskeie navorsers en ontwerpers waarskuwings gerig dat daar gebreke bestaan in die tegnologie van vloedbesproeiingsontwerpe in Suid-Afrika (Wessels, 1973; Van der Ryst, 1980; Du Rand *et al.,* 1985; Kruger 1986 en 1989; Du Rand & Kruger, 1991). 'n Werkgroep van die Waternavorsingskommissie (WNK) gedurende Oktober 1983, het ook spesifiek die behoefte aan 'n geskikte ontwerpprosedure vir vloedbesproeiing as 'n hoë navorsingsprioriteit geïdentifiseer. Kursusgangers wat die OPTIVLOED-2.2 kursus bygewoon het,

[1] Hierdie skatting is gemaak deur die navorser tydens onlangse besoeke aan baie van die tradisionele vloedbesproeiingsareas, gesprekke met boere en ander navorsers. Amptelike statistieke in die verband bestaan nie.

het nog in 1998 bevestig dat daar 'n behoefte aan voortsetting van navorsing oor ontwerpprosedures is (Kruger, 1998e).

1.2.4 Navorsing op die gebied van vloedbesproeing sedert 1983

Gedurende die 1990s is die navorser getaak deur die WNK om deeltyds te werk aan die daarstel van 'n geskikte ontwerpprosedure vir vloedbesproeiing in Suid-Afrika (Kruger, 1998a-e). Die ontwikkeling van die OPTIVLOED-2.2 ontwerpprogram vir vloedbesproeiing (Kruger, 1998d,e) was die uitkoms van daardie navorsing. Die OPTIVLOED-2.2 program is suksesvol vrygestel deur die WNK en word tans saam met die SIRMOD simulasieprogram gebruik. Die Navorser (Kruger,1998e) het egter ook beperkinge en die noodsaak vir verdere navorsing uitgewys. Weens die nuwe politieke bedeling het prioriteite egter verskuif en is daar nie verdere befondsing vir die navorsing voorsien nie.

Die WNK het ook navorsing oor kortvoor besproeiing gefinansier. Crosby *et al.*, (2001) het die werk, wat toepasbaar is op kleinskaal besproeiing, onderneem.

Die Landbounavorsingraad, Instituut vir Landbouingenieurswese, stel ook 'n hersiene handleiding vir besproeiingsontwerp in 2003 vry waarin hoofstuk 15 aan die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels gewei word. Ook hierdie handleiding wys verskeie gebreke in plaaslike ontwerptegnologie uit (LNR-ILI., 2003).

1.2.5 Hierdie navorsing

Die navorsing wat in hierdie dokument vervat en beskryf word, is 'n voortsetting van die werk wat die navorser vir die WNK gedoen het en het ten doel om die gebreke van die OPTIVLOED-2.2 ontwerpprogram aan te spreek en te verbeter. Die resente navorsing wat handel oor die praktiese, gebiedspesifieke toepassing van hidrodinamiese simulasie modelle, is in lyn met internasionale neigings en publikasies wat die afgelope vyf jaar verskyn het (Clemmens *et al.*, 2003; Abbasi *et al.*, 2003; Walker en Kasilingam, 2004a, b; Walker, 2005; Walker *et al.*, 2006).

1.3 MOTIVERING

1.3.1 Druk op produsente

Huidige sosio-ekonomiese faktore plaas voortdurende druk op produsente om meer doeltreffend te besproei, hoë volumes te produseer en effektief te bestuur. Bestuursdoelwitte moet dus noodwendig by heersende omstandighede aangepas word. Die oogmerke en tegniese standaard van besproeiingsontwerpe moet insgelyks ook noodwendig hierby aanpas. In Suid-Afrika is dit lank reeds bekend dat die beskikbaarheid van besproeiingswater toenemend beperk sal word en dat die land se waterbronne teen die jaar 2010 beperkend sal raak (Van Robbroeck, 1983). Sedert 1974 het die koste van arbeid, toerusting en produksiemiddele vinniger toegeneem as die toename in die pryse van landbouprodukte. Met 'n ru-olie prys van meer as $100 per vat sal die druk op besproeiingsboere aansienlik toeneem in 2008 om beide water en energie te bespaar Volgens Du Rand en Kruger (1991) word daar teen hierdie agtergrond twee kontrasterende doelwitte aan die Suid-Afrikaanse besproeiingsbedryf gestel: Eerstens moet kapitaaluitgawes en bedryfskostes so laag moontlik gehou word om beter winsmarges te verseker. Tweedens moet die doeltreffendheid in die aanwending van die beperkte hoeveelhede besproeiingswater verbeter word - 'n aksie wat normaalweg met kapitale investering gepaard gaan. Volgens die skrywers moet vloedbesproeiingstelsels dus relatief goedkoop en veral ekonomies lewensvatbaar wees (Du Rand & Kruger, 1991).

1.3.2 Tegnologiese en kommersiële agterstand in vloedbesproeiing in SA

1.3.2.1 Persepsie oor vloedbesproeiing in SA

'n Artikel in 'n populêre Landboutydskrif[2] het onlangs die volgende stellings bevat:

1 Vloedbesproeiing is ondoeltreffend op turfgrond.

[2] Verslag oor Koppies besproeiingskema deur Prof Giel Viljoen, UOVS, soos aangehaal deur Johan Norval in die Landbouweekblad van 29 Junie 2007

2 Verouderde besproeiingstelsels moet opgeknap word. Vloedbesproeiing kan byvoorbeeld deur sprinkelbesproeiing vervang word.

Dié aanhaling onderstreep 'n algemene persepsie-probleem naamlik dat vloedbesproeiingstegnologie in Suid-Afrika as ondoeltreffend en verouderd beskou word. Die ekonomiese agteruitgang van die bepaalde skema, asook algemene gebrek aan onderhoud/ontwikkeling van watervoorsienings infrastruktuur word sondermeer deur 'n "kenner" aan die term vloedbesproeiing gekoppel.

Die persepsie dat vloedbesproeiing agterlik, verouderd en dikwels met lae doeltreffendheid gepaard gaan, spruit voort uit gebrekkige ontwerp-tegnologie wat verantwoordelik is vir die feit dat die handel geen kommersiële waarde aan vloedbesproeiing heg nie. Die transformasie op die gebied van arbeid soos dit tans in die landbou ervaar word, speel ook 'n rol in die wegbeweeg van swak ontwerpte vloedbesproeiingstelsels, na ander minder arbeids intensiewe stelsels.

1.3.2.2 Vloedbesproeiing as kompeterende besproeiingsstelsel in SA

Vir die meeste produsente is 'n besproeiingstelsel die middel tot 'n doel. As 'n plaas aangekoop of oorgeneem word, kom dit "met bagasie". As die bestaande besproeiing goeie resultate lewer, word dit behou. Indien die resultate swak is, word gesoek na 'n bekostigbare alternatief. Die proses van keuse word gedryf deur persoonlike omstandighede en -voorkeure. Kundige berekeninge word gemaak om die voor- en nadele van 'n stelsel te kwantifiseer binne die bestek van die onderneming en sodoende die mees ekonomiese stelsel, of strategies belangrike alternatief, vir die omstandighede te selekteer. Indien genoegsame kontantvloei beskikbaar is, sal die meer ekonomiese stelsel, wat die maklikste bestuur, en aangepas is by die bepaalde stuk grond, aangeskaf word. Die stelsel sal van 'n goeie diensverskaffer aangekoop word. 'n Betroubare kontrakteur sal aangestel word om die stelsel te installeer. Dit is 'n projek en word dus as sulks bestuur deur die produsent. In enkele uitsonderlike gevalle sal vandag se produsente nog self 'n stelsel konstrueer of installeer.

As vloedbesproeiingstelsels 'n bruikbare alternatief vir die produsent moet wees, dan moet die voordele van die stelsel die kompetisie met ander stelsels kan weerstaan. Daar moet dus top prestasie behaal kan word met vloedbesproeiing.

Dit is algemene kennis dat relatief goedkoop arbeid tot onlangs 'n kenmerk van die Suid-Afrikaanse landboubedryf was. Die ontwikkeling van vloedbesproeiingstelsels (op plaasvlak) is deur die boer self uitgevoer en die benutting van arbeid het deel van die beplanning uitgemaak. In teenstelling hiermee is stelsels in die VSA ontwikkel met die oog daarop om van minimale arbeid gebruik te maak. Anders as in SA het daar dus 'n kommersiële mark vir vloedbesproeiingsmeganisasie in die VSA ontstaan. Die feit dat boere nie geredelik 'n vloedbesproeiingstelsel of toerusting daarvoor in Suid-Afrika kan aankoop nie, het 'n baie negatiewe effek op die bedryf (Kruger, 1998a).

1.3.3 Potensiaal van vloedbesproeiing indien moderne tegnologie toegepas word

Walker (1989) meld dat, hoewel vloedbesproeiing reeds duisende jare oud is, die belangrikste vooruitgang eers gedurende die tagtiger jare gemaak is. Volgens laasgenoemde skrywer is afwerking van die grond deur lasertegnologie en die gebruik van die rekenaar van dié interessante ontwikkelinge op die gebied van vloedbesproeiing. Die stelling verwys na beide konstruksie- en ontwerptegnologie wat reuse spronge gemaak het in die afgelope 30 jaar. Vloedbesproeiing word steeds op sowat 80-90% van die wêreld se besproeiingsoppervlak toegepas (AQUASTAT-FAO, 2006). In Suid-Afrika is daar groot potensiaal om vloedbesproeiing as een van die opsies vir besproeiingstelsels te behou, die doeltreffendheid van die stelsels te verbeter en die stelsels ten opsigte van bestuur, meer vriendelik te maak. Met goeie vloedbesproeiing kan toedieningsdoeltreffendhede van 90% behaal word. Grond kan gedeeltelik benat word met voortjies wat ver uitmekaar gespasieër is of sogenaamde "tekort besproeiing" (deficit irrigation) kan toegepas word. Vloedbesproeiing is ook by uitstek die enigste ekonomiese stelsel waarmee geleentheidswater (wanneer beskikbaar) vir besproeiing aangewend kan word.

1.3.4 Wat is nodig om vloedbesproeiingstegnologie in SA op standaard te kry

Du Rand en Kruger (1991) dui dan ook die belangrikheid van die opgradering van stelsels in Suid-Afrika aan. Kruger (1997) stel 'n loodsondersoekverslag vir die Landbounavorsingsraad (ILI) saam waarin kritieke faktore in die ontwikkeling van 'n doeltreffende stelsel vir vloedbesproeiing uiteengesit word. Die kritieke faktore word gelys vir die verskillende stadiums van stelselontwikkeling en verwys na die volgende stadiums:

- Ontwerp
- Konstruksie
- Seisoenale herkonstruksie
- Waterbestuur

Tydens al die stadiums moet daar aan minimum standaarde voldoen word. Die verslag vermeld welke navorsing nodig is om elke stadium se sukses te kan onderlê. Die verslag stel verder die moontlikheid om aansporingsmaatreëls daar te stel vir die implementering van goeie praktyk tydens elke stadium.

1.3.5 Goeie ontwerptegnologie

Die daarstel van goeie ontwerptegnologie vir vloedbesproeiing in Suid-Afrika is reeds ver gevorder deur die daarstel van die OPTIVLOED-2.2 ontwerpprogram (Kruger, 1998a-e). Daar is steeds verskeie navorsingsbehoeftes ten einde vloedbesproeiingsontwerp te optimaliseer soos verduidelik in Hoofstuk 3 van hierdie studie. In hierdie studie word gefokus op die verrekeningsfase wat tydens die ontwerpstadium van 'n vloedbesproeiingsstelsel plaasvind.

1.3.6 Die stel van randwaardes tydens ontwerp

Die term randwaardes (grenswaardes) word gebruik ten einde 'n prakties bruikbare limiet te stel waarbinne waardes van faktore betrokke by vloedbesproeiing (soos byvoorbeeld stroomgrootte, helling, ens.) gebruik kan word. Indien die waardes oorskry sou word, sal die vloedbesproeiingstelsel in

die praktyk byvoorbeeld aan grond erosie blootgestel word en sal die ontwerp resultaat dus geen praktiese waarde hê nie.

Die bedryfs- en hulpbronomstandigdhede in Suid-Afrika vereis dat eiesoortige randwaardes gestel word ten einde die uitkoms van die verrekeningsproses (en dus ook ontwerpspesifikasies) in die praktyk uitvoerbaar te maak. In hierdie studie is **die detailfokus op die ontwikkeling van tegnieke waarmee randwaardes tydens die verrekeningsproses gestel kan word.**

Die gebrek aan randwaardes wat daar tans bestaan in ontwerpprogramme soos OPTIVLOED-2.2 (Kruger, 1998a-e) en die Besproeiingsontwerphandleiding van die LNR-ILI (ook gebruik deur die Suid-Afrikaanse Besproeiingsintituut) (LNR-ILI, 2003) is die grootste rede waarom ontwerpers nie die bestaande vloedbesproeiingsontwerp programme en simulasie modelle met selfvertroue kan gebruik om vloedbesproeiing te ontwerp nie. Dis veel makliker om weg te beweeg van vloedbesproeiing af na meer gesofistikeerde en duurder besproeiingstelsels waarvoor daar meer betroubare ontwerpprosedures bestaan.

1.4 PROBLEEMSTELLING

Die uitkoms van 'n vloedbesproeiings-episode is afhanklik van die kombinasie van 7 tot 10 interafhanklike faktore wat deur die ontwerper en besproeiingsoperateur in ag geneem moet word. Daar bestaan dus teoreties 'n menigte moontlike uitkomste vir die vloedbesproeiing van een spesifieke land. In die praktyk word die spektrum baie vinnig verklein deurdat die operateur sien dat die stelsel slegs binne bepaalde perke kan opereer. Die operateur kan byvoorbeeld dadelik sien dat 'n bepaalde stroomgrootte erosie veroorsaak. Hy sal dan die stroomgrootte verklein totdat erosie nie meer plaasvind nie. Die implikasie is dat die kleiner stroomgrootte slegs 'n bepaalde afstand oor die land sal vorder voordat al die water eenvoudig in die grond wegsyfer. Die verkleinde stroomgrootte begrens dus die lengte van die bedding (of voor) wat besproei kan word. Die ontwerper wat in 'n kantoor sit met 'n hidrodinamiese simulasie model tot sy beskikking, ervaar nie hierdie praktiese blootstelling nie en sal dus maklik 'n teoretiese ontwerp doen met 'n onpraktiese stroomgrootte, wat byvoorbeeld sou beteken dat 'n

onpraktiese lang beddinglengte gespesifiseer word. Die uiteinde is dat die ontwerper dan 'n uitleg en siviele werke voorstel wat gedoem is tot mislukking.

Deur die stel van randwaardes om probleme in bestaande ontwerpprogramme soos OPTIVLOED-2.2 (Kruger, 1998a-e) aan te spreek, sal ontwerpers van besproeiingstelsels met selfvertroue ook suksesvolle vloedbesproeiing as opsie kan gebruik.

Hierdie analitiese studie fokus dus op die ontwikkeling van metodes waarmee randwaardes vir vloedbesproeiing in Suid-Afrika gestel kan word.

1.5 NAVORSINGSDOELWITTE

Die volgende doelwitte is vir hierdie studie gestel:

A. **Literatuurstudie** van vloedbesproeiingstegnologie met die klem op:

- Kwantifisering van 'n besproeiingsepisode (hetsy gemeet of met hidrodinamiese modelle gesimuleer),
- Analise van tendense wat uit data van 'n aantal gekwantifiseerde besproeiings-episodes afgelei kan word,
- Optimalisering van ontwerp- en randwaarde-begrippe.

B. **Ondersoek na, en ontwikkeling van 'n tegniek** om randwaarde data te kan daarstel deur die sistematiese/planmatige gebruik van hidrodinamiese simulasiemodel resultate. (Primêre model vir kwantifisering van besproeiings-episodes en sekondêre model vir die optimalisering van tendense).

C. **Ontwikkeling van programmeerbare algoritmes** om randwaardes in 'n ontwerpprogram soos OPTIVLOED-2.2 te kan stel (waarmee dit na afloop van die studie opgradeer kan word na OPTIVLOED-2.3).

1.6 STUDIE ONTWERP

Hierdie studie is as 'n analitiese studie beplan. Daar is besluit om meervoudige regressie tegnieke op gesimuleerde data uit te voer by bekende adresse of nodepunte. Besproeiingsepisode data is hidrodinamies gesimuleer en word analiseer ten einde nuwe metodes en wiskundige verbande daar te stel om in die toekoms randwaardes vir vloedbesproeiing te kan stel.

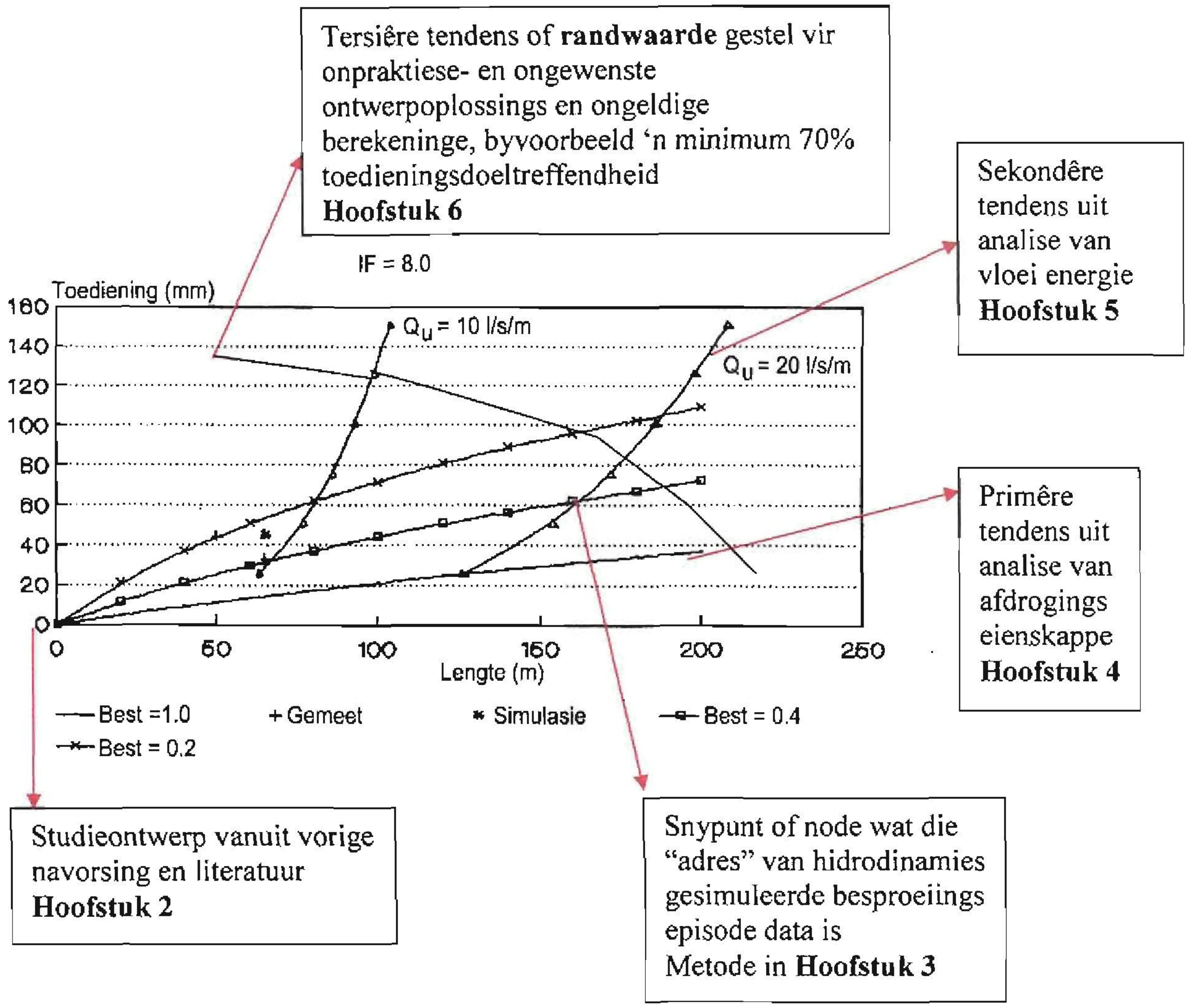
1.7 UITEENSETTING VAN DIE NAVORSING

Agtergrond tot die detail beplanning, uitvoering en dokumentering van die navorsing

Vloedbesproeiingsontwerp behels die optimale kombinasie van 7 tot 10 faktore wat interafhanklik is. Verander een faktor (soos beddinglengte) se waarde en die ander faktore (soos stroomgrootte en doeltreffenthede), moet daarby aangepas word. Dit is eerstens moeilik om al die faktore gelyktydig te visualiseer. Dit is nog meer ingewikkeld om die faktore te isoleer ten einde navorsing te kan doen. Die dokumentering van die studie lê dus klem op metodes om faktore soos byvoorbeeld stroomgrootte te isoleer op 'n multidimensionele vlak (byvoorbeeld ten opsigte van toediening en beddinglengte). Dus verkry die bepaalde waarde van stroomgrootte 'n "adres" wat omskryf word in terme van 'n spesifieke toediening by 'n spesifieke beddinglengte. By hierdie "adres" word 'n besproeiings episode nou gekwantifiseer deur meting of simulasie. Nou is al die waardes van die 7 tot 10 faktore bekend by die "adres". Dit verteenwoordig 'n datapunt. Netso word die waardes van al die faktore by ander, sistematies beplande "adresse", bepaal. 'n Groot aantal datapunte word so geskep, waarna vergelyking van data en passing van tendense plaasvind. Op die wyse word randwaardes (soos byvoorbeeld maksimum stroomgrootte of maksimum beddinglengte of lae doeltreffentheid), vir vloedbesproeiing, ondersoek en beskryf.

In **Hoofstuk 2** van hierdie verhandeling word die agtergrond en bestaande kennis oor die ontwerp van vloedbesproeiing in Suid-Afrika aan hand van ervaring, vorige navorsing en literatuur, beskryf. Daarna word tegnieke om 'n besproeiingsepisode te kwantifiseer in

Hoofstuk 3 behandel. Dit word opgevolg met **Hoofstukke 4, 5 en 6** waar "adresse" geskep en tegnieke om faktore te isoleer en randwaardes te bereken, behandel word, soos skematies voorgestel in Figuur 1.2. Hierdie figuur stel die tipiese optimale verband tussen beddinglengte en toediening by verskillende stroomgroottes met verskillende bestuursopsies, voor. Die rooi pyle en verduidelikende notas stel die navorsing gedoen in hiedie studie, voor.



Figuur 1.2 Skematiese voorstelling van die studie

'n Meer detail omskrywing wat in elke hoofstuk behandel word, word vervolgens gegee:

In **Hoofstuk 2** word die volgende aspekte vanuit die literatuur, bespreek:

- Bespreking van die omvang en belang van vloedbesproeiing in SA.
- Bespreking van die kritieke prestasie-areas vir suksesvolle vloedbesproeiing in SA ten einde die verband tussen ontwerptegnologie en die praktyk aan te toon.
- Kort bespreking van die fokus van resente internasionale en plaaslike navorsing.
- Inleiding tot vloedbesproeiingsontwerp-tegnologie wat in Suid-Afrika toegepas word.

Hoofstuk 3 fokus op die metodes wat gevolg kan word om besproeiing episodes te kwantifiseer en sodoende die verband tussen al die faktore betrokke by die spesifieke besproeiings episode op te los. Die verband tussen faktore kan opgelos word deur praktiese meting van 'n besproeiingsepisode, of deur die simulasie van 'n besproeiingsepisode. Praktiese metings is tydrowend, kos baie geld en lewer slegs beperkte geleentheid om met variasie te eksperimenteer. Die moderne neiging is dus om hidrodinamiese modelle te gebruik om besproeiings te simuleer. "n Wye spektrum van variasie van faktore kan dus teen 'n relatief lae koste gesimuleer word. Die probleem is dat hierdie simulasie data waardeloos is tensy dit aan die praktyk gekoppel kan word. Een van die vereistes is dus om betroubare praktiese waardes vir insette te gebruik vir die simulasies. In vorige navorsing het die navorser reeds baie van die waardes, soos byvoorbeeld infiltrasietempos, geldig vir Suid-Afrikaanse toestande vasgestel (Kruger, 1989a-d).

'n Volgende aspek wat van groot belang is, is die wiskundige benadering tot die oplossing van die verband tussen die faktore betrokke by vloedbesproeiing. Tradisioneel word beddinglengte as 'n onafhanklike in berekeninge beskou. Die benadering het bepaalde toepassing, maar kan die berekening van verbande aansienlik bemoeilik aangesien die water in 'n besproeiingsbedding met verloop van tyd al stadiger vloei weens infiltrasie. As stroomgrootte konstant bly tydens besproeiing, sal 'n konstante volume vir elke tydeenheid in die besproeiingsbedding invloei. Die konstante tyd of volume benadering vereenvoudig verskeie berekenings. By 'n bepaalde tydverloop sal die water 'n berekenbare afstand aflê, maar integrasie van 'n afstand –tyd verband sal lei tot volume. Dus kan stroomgrootte, toediening en toedieningsdoeltreffentheid direk in

verband gebring word wanneer 'n konstante tyd benadering vir berekeninge gebruik word.

Hoofstuk 3 behandel dus:

- Bespreking van metodes waarmee 'n besproeiingsepisode gekwantifiseer kan word, met aanduiding van praktiese metingstegnieke asook simulasie tegnieke.
- Bespreking van tegnieke wat ontwikkel is om gemete en gesimuleerde data te vergelyk.
- Bespreking van die metode beplan en gevolg om randwaardedata te genereer deur by die snypunte van drie tipes tendenslyne, hidrodinamiese simulasies uit te voer en data te ontleed.
- Bespreking van die spektrum van infiltrasiewaardes en ander insette wat vir hidrodinmiese simulasie en meervoudige regressie in die studie gebruik is.

Hoofstuk 4 bespreek die metode en lewer die resulterende data vir die eerste of primêre tendenslyn wat vir die stel van randwaardes gebruik word. Die titel van die hoofstuk is: Eienskappe van afdrogingsfronte in optimale ontwerp. Resultate dui die beredenering en produk aan soos wat dit in die OPTIVLOED-2.2 program bepaal is. 'n Verband tussen toediening en optimale lengte word wiskundig afgelei en bereken deur formules uit die konstante afstand benadering (afstand en tyd) te differensieer ten einde die bewegingstempo van afdroging van water te voorspel. Toediening by bepaalde beddinglengtes word aan die tempo van afdroging gekoppel.

In Hoofstuk 5 word die spesifieke metode wat gevolg is om die tweede of sekondêre tendenslyne te onwikkel bespreek. Die titel van die hoofstuk is: Die invloed van vloei-energie op die ontwerp van vloedbesproeiing. Die tempo waarteen die vorderingsfront beweeg tydens vloedbesproeiing word aan vloei-energie gekoppel. Die begrip vloei-energie word ontleed en beskryf ten einde die staking van die vorderingsfront en dus die maksimum moontlike beddinglengtes te kan voorspel. "n Konstante tyd benadering word gevolg om 'n maksimum teoretiese verwysinggslengte vir beddings te voorspel. By die verwysingslengte heers daar 'n "dinamiese volumebalans" wat met 'n unieke nuwe analitiese metode bereken kan word. Die nuwe metode (Metode 1) is ontwikkel

deur die resultate van die passing van gesimuleerde data vir maksimum beddinglengtes by nodepunte, in 'n eenvoudige analitiese algoritme te omskep.

Hoofstuk 6 bespreek die spesifieke metode ontwikkel vir-, en stel die resultate van die derde of tersiêre tendenslyne. Die hoofstuk heet: Randwaardes en begrensing van die ontwerpgebied vir vloedbesproeiing. In die hoofstuk word die term randwaardes uitgebrei na begrippe soos **onpraktiese ontwerpoplossings** (byvoorbeeld wanneer die moeite om die water te beheer tot onuitvoerbare resultate lei), **ongewensde ontwerpoplossings** (byvoorbeeld wanneer die hulpbronne deur erosie en lae doeltreffentheid bedreig raak) asook **ongeldige berekeninge** (wanneer simulasie modelle en ontwerpprogramme foutiewe resultate lewer). Vir elk van die begrippe word wiskundige of analitiese verbande (onder andere vanuit Hoofstukke 4 en 5) voorgestel, ten einde die randwaardes later in ontwerpprogramme te kan programmeer. 'n Nuwe analitiese metode (Metode 2) is ontwikkel om die toedieningsdoeltereffentheid van vloedbesproeiing te voorspel. Die metode is ontwikkel uit die passing van data soos verkry uit hidrodinamiese simulasies. Metode 2 kombineer die wiskundige verbande verkry uit die optimale verband tussen lengte en toediening (Hoofstuk 4), met Metode 1 (Hoofstuk 5). Passings-koëfisiente word ontwikkel in Hoofstuk 6 ten einde die resultate wat met Metode 2 bereken kan word, by gesimuleerde data te laat aansluit.

In Hoofstuk7 volg 'n algemene bespreking van die tegnieke waarmee randwaardes gestel word, resultate word bespreek en gevolgtrekkings word gemaak. Aanbevelings oor die aanwending van die resultate in 'n volgende uitgawe van die OPTIVLOED ontwerpprogram word gemaak en aspekte vir verdere navorsing word gegee.

Aanhangsel 1 gee die resultate in tabelvorm van die randwaardes vir maksimum beddinglengtes, by bepaalde stroomgroottes en voorspelde toedieningsdoeltreffenthede.

HOOFSTUK 2

TEGNOLOGIE vir VLOEDBESROEIINGSONTWERP

2.1 INLEIDING

In hierdie hoofstuk word die relevante literatuur vir die studie gedokumenteer. Aanvanklik word 'n perspektief op die Vloedbesproëiingbedryf in Suid-Afrika gegee. Hierna word kritieke aspekte van suksesvolle vloedbesproeiingsontwikkeling bespreek ten einde die verband tussen ontwerp en die totale ontwikkeling aan te toon. Daar word verwys na internasionale navorsing oor vloedbesproeiing met klem op die toepassing van hidrodinamiese modelle. Toepassing van die navorsing word teen die Suid-Afrikaanse agtergrond bespreek. Ten einde die leser te lei na die fokus van die studie, naamlik randwaarde begrensing, word 'n kort oorsig van moderne tegnologie wat vir die ontwerp van vloedbesproeiing in Suid-Afrika gebruik word, aan hand van Kruger (1998a-e) bespreek. Hidrodinamiese modelle en optimaliseringstegnieke word kortliks bespreek (in Hoofstukke 4, 5 en 6 word in meer diepte 'n bespreking gevoer). Daar word dan ook kortliks gefokus op die verrekeningsfase tydens ontwerp, ten einde die agtergrond en verband met randwaarde begrensing aan te toon.

2.2. VLOEDBESPROEIING IN SUID-AFRIKA

2.2.1 Omvang van vloedbesproeiing is SA

Hoewel eksakte syfers nie beskikbaar is nie, kan met redelike sekerheid aanvaar word dat ongeveer 247 000 ha (15 tot 17 persent) van die totale oppervlakte van 1.5 tot 1.6 miljoen hektaar wat besproei word, in 2007 steeds met behulp van een of ander vorm van vloedbesproeiing benat word. Die oppervlak onder vloedbesproeiing in Suid-Afrika het dus afgeneem vanaf 340 000-480 000 ha in 1990 na slegs sowat 247 000 ha in 2007. Redes vir die markgedrewe afname in die toepassing van vloedbesproeiing, is in paragraaf 1.3.2.2 bespreek en word verder in paragraaf 2.2.3 tot 2.2.5 toegelig.

Tabel 2.1 toon die totale oppervlakte onder besproeiing volgens die jongste AQUASTAT-FAO (2006) raming, asook die geskatte oppervlakte onder vloedbesproeiing vir die verskillende provinsies. Syfers wat vir die Nasionale Voedselstrategie (1990) gebruik is, is aangepas met inligting wat in 1992 vanaf die betrokke Streekingenieurs verkry is om die oppervlak onder vloedbesproeiing te beraam.

Tabel 2.1: Oppervlaktes onder besproeiing in die RSA [soos verwerk en aangepas vanuit Nasionale Voedselstrategie (1990) en AQUASTAT-FAO (2006)]

PROVINSIE	TOTALE AREA BESPROEI (*1000 ha)	AREA ONDER VLOEDBESPROEIING (*1000 ha)	VLOED %
Ooskaap	191	89	47
Vrystaat	69	17	24.6
Gauteng	16.5	1	6
Kwazulu-Natal	135	22	16.3
Mpumalanga	136	15	11
Noordwes	115	15	13
Noordkaap	165	55	33
Limpopo	219	35	16
Weskaap	452.5	13	3
Totale Oppervlaktes	**1 499 000 ha**	**247 000 ha**	**16.4 %**

2.2.2 Doeltreffendheid van stelsels

Navorsers het geraam dat vloedbesproeiingstelsels, op skemavlak in Suid-Afrika, slegs 50% doeltreffend was (Du Rand en Kruger, 1991). Die openbare persepsie, soos weerspieël in artikels oor die onderwerp in populêre tydskrifte, is ook dat vloedbesproeiing verouderd en ondoeltreffend is. In Suid-Afrika bestaan daar egter vloedbesproeiingstelsels wat uiters doeltreffend funksioneer. Die navorser het doeltreffendheid van meer as 90% op verkeie stelsels gemeet (projek OVH-77 en ander) Van die resultate word in Tabel 2.2 aangetoon. 'n Totaal van 32 metings is op 4 beddings tydens agt besproeiings te Vaalharts uitgevoer. Die toedienings wat verkry is het vanaf 30 tot 73 mm gewissel. Die doeltreffendhede was oor die algemeen hoog. Die gemiddelde toedieningsdoeltreffendheid was byvoorbeeld 92.4 persent. Die gemiddelde verspreidingsdoeltreffendheid was

91.4 persent en die gemiddelde aanvullingsdoeltreffendheid (gegrond op geraamde besproeiingsbehoeftes) was 93.7 persent.

Tabel 2.2: **Die resultate van besproeiing op koring op die Vaalharts navorsingstasie (1980)**

								Doeltreffendheid		
Datum	**Bedding.**	**Stroom (m^3/h) -**		**Eenh. Stroom**	**Rofheid**	**Toediening**		**Toedien -**	**Cu**	**Aanvul-**
1980		**Bereken**	**gebruik**	**(m^3/h)/m**	**n**	**Verlang**	**Verkry**	**(%)**	**%**	**(%)**
06/18	1	83	83	13.8	0.15	70	63	97.8	84.7	87.7
	2	35	35	5.8	0.15	60	59	92.4	83.1	91.0
	3	50	51	8.5	0.15	60	61	88.1	78.6	90.1
	4	72	72	12.0	0.15	70	73	86.9	98.9	90.1
07/11	1	160	160	26.7	0.15	35	47	74.5	94.2	100
	2	160	160	26.7	0.15	35	33	98.8	98.4	92.6
	3	160	180	30.0	0.15	35	30	87.1	94.2	100
	4	160	150	25.0	0.15	35	32	100	95.0	92.3
08/11	1	134	200	33.3	0.15	48	60	-	-	-
	2	134	134	22.3	0.15	50	51	97.6	97.2	99.6
	3	134	200	33.3	0.15	50	44	57.2	79.2	100
	4	134	215	35.8	0.15	50	53	91.9	89.6	97.3
09/03	1	62	78	13.0	0.15	48	58	78.1	77.2	93.3
	2	62	140	23.3	0.15	48	55	87.0	91.7	98.8
	3	62	100	16.7	0.15	48	38	100	83.0	78.8
	4	62	100	16.7	0.15	48	40	99.3	83.8	83.0
09/16	1	69	150	25.0	0.15	60	62	92.8	86.2	95.2
	2	69	150	25.0	0.15	60	53	100	94.5	88.0
	3	69	150	25.0	0.15	60	52	100	97.4	86.8
	4	69	250	41.7	0.15	60	68	88.2	97.8	100
10/09	1	186	160	26.7	0.15	52	59	87.6	93.2	99.7
	2	186	200	33.3	0.15	52	45	100	98.0	86.3
	3	186	180	30.0	0.15	52	52	97.3	95.1	97.8
	4	186	190	31.7	0.15	52	43	100	98.2	82.1
10/21	1	117	150	25.0	0.20	52	59	86.6	92.5	98.9
	2	117	150	25.0	0.15	52	55	94.3	95.0	99.3
	3	117	150	25.0	0.15	52	52	96.5	92.2	95.7
	4	117	150	25.0	0.15	52	51	98.8	94.7	96.1
11/05	1	191	150	25.0	0.15	47	48	91.0	83.6	92.1
	2	191	150	25.0	0.15	47	47	98.2	96.8	98.6
	3	191	140	23.3	0.15	47	48	95.6	94.7	98.1
	4	191	140	23.3	0.15	47	45	100	93.7	94.7

2.2.3. Voor- en nadele van vloedbesproeiing

Rasoulzadeh en Sepakhah (2003) meld dat vloedbesproeiing meer algemeen gebruik word, as wat besproeiingstelsels wat met druk funksioneer in die wêreld gebruik word. Volgens die skrywers is veral die hoë voorkoms van voortjiebesproeiing, toe te skryf aan die lae kapitale koste, die meer gunstige

energieverbruik en beter deurligting van die wortelsone van gewasse. Daar is vloedbesproeiingstelsels in die wêreld wat reeds vir honderde en selfs duisende jare in bedryf is.

In Suid-Afrika is daar verskeie vloedbesproeiingskemas gevestig na die Anglo-Boere oorlog en weer na die Eerste en Tweede Wêreldoorlog. Die skemas is onder andere beskou as werkskepping vir voormalige soldate en persele is dan ook algemeen aan ex-soldate toegeken. Ongelukkig was al die gronde wat so ontwikkel is nie noodwendig geskik vir vloedbesproeiing nie. Daar bestaan dus die afgelope 40 tot 50 jaar in Suid-Afrika, 'n algemene neiging om vanaf swak en onpraktiese vloedbesproeiingstelsels weg te beweeg. Daar bestaan ook 'n probleem met die bestuur, toesig en beheer van vloedbesproeiingswater in Suid-Afrika. Skemas soos Vaalharts is 'n uitsondering op die reël. Die nadele van vloedbesproeiing kan dus as volg opgesom word:

- Vloedbesproeiing presteer slegs goed as die grond en topografie dit toelaat.
- Vloedbesproeiing presteer slegs goed as daar voldoende ontwikkeling van stoordamme, aanvoerstelsels en dreinering (oppervlak en ondergrond) gedoen word.
- Vloedbesproeiing bestuur moeiliker as byvoorbeeld spilpunte, vereis spesiale aandag met die ontkieming van sade en meganisering van aksies. Daar is ook spesiale vereistes ten opsigte van die bestuur van wateraanvraag (byvoorbeeld nagwater en naweekwater). Arbeidswetgewing asook die motivering en bestuur van arbeid is tans een van die knelpunte by vloedbesproeiing in Suid-Afrika. Goeie stelsels neem gewoonlik 'n paar jaar om evolusionêr na volle potensiaal te ontwikkel. Dus is vloedbesproeiing nie 'n stelsel vir algemene omstandigdhede nie en word die stelsel (soos tans algemeen in Suid-Afrika ontwerp en bedryf) uit 'n bestuurs- en inkomste oogpunt negatief aangeslaan.

Die voordele kan as volg opgesom word:

- Die aanvanklike koste aan siviele uitleg vir vloedbesproeiing kan in sekere gevalle hoog wees, maar die ontwerpleeftyd van 'n goeie stelsels is 4 of meer keer die van sprinkelstelsels, wat dus vloedbesproeiing uit 'n koste oogpunt die beste van alle besproeiingstelsels posisioneer. Daar is normaalweg geen pompkoste nie, en lopende koste is hoofsaaklik tot arbeid beperk.
- Indien korrek ontwerp, is vloedbesproeiing die alternatiewe stelsel wat ekonomies regverdigbaar gebruik kan word om met onsekere waterbronne (tekorte in droë en surplus water in natter jare) te besproei. Dit sal dus al meer belangrik in Suid-Afrika word soos wat die Landbou op 'n kleiner deel van die land se versekerde water, aanspraak sal kan maak.

2.2.4. Kritieke prestasie areas

Wanneer grond as hidrouliese geleier gebruik word om water aan te voer en te versprei, kan daar logies afgelei word dat daar nie net sprake is van ontwerp nie, maar ook konstruksie en hulpbronbestuur. Vanuit tabel 2.3 kan die verband tussen ontwerp en die ander stadiums vir die suksesvolle ontwikkeling van 'n vloedbesproeiingstelsel gesien word.

Tabel 2.3: **Kritieke faktore in die ontwikkeling van 'n doeltreffende stelsel vir vloedbesproeiing soos aangepas vanuit 'n loodsondersoekverslag aan die Landbou Navorsingsraad (ILI), (Kruger 1997)**

Stadium van stelselontwikkeling	Taak	Kritiese faktor
1. Ontwerp	Insetbepaling	Bepaling van infiltrasiespektrum Bepaling van n-waardes vir gewaskombinasie Opmeting en grondprofiele
	Verrekening	Korrekte verband tussen faktore Optimale kombinasies vir goeie fisiese uitleg * Helling * Lengte * Toediening en siklus per gewas Bepaling van randwaardes vir: * Maksimum nie erodeerbare stroom * Minimale stroom - minimum vloeidiepte vir egalige benatting * Maksimale en minimale lengtes * Grondverskuiwing en helling
	Spesifikasies	Kommunikering van gewas/lengte/toediening detail Spesifisering van toerusting Spesifisering van siviele werke Spesifisering van diverse oppervlak-/dreineringswerke
2. Konstruksie	Uitpen van werke en gehaltebeheer	Korrekte hellings en opstelling van fisiese werke Gehalte van grondafwerking, betonwerke, ens.
3. Seisoenale herkonstruksie	Gehaltebeheer	Gehalte van grondafwerking, kanaal instandhouding (instandhouding van hidrouliese geleiers)
4. Waterbestuur	Waterlei	Handhawing van doeltreffendheid deur korrekte stroomgrootte en afsnytyd tye.

2.2.5. Die toepassing van ontwerptegnologie

Na die voltooiing van die WNK navorsing en die ontwikkeling van die OPTIVLOED-2.2 ontwerpprogram vir vloedbesproeiing (Kruger, 1998a-e), is die navorser deur die WNK getaak om 'n tegnologie-oordrag kursus vir ontwerpers van vloedbesproeiing in Suid-Afrika aan te bied (Kruger, 1998e WNK Projek K8/317). Na afloop van die kursus pas sommige ontwerpers die beginsels van OPTIVLOED-2.2 toe. Daar is egter nog tekortkominge in die program ten opsigte van randwaardes, infiltrasiedata en data-passing.

2.2.6 Navorsingsbehoeftes

Navorsingsbehoeftes op die gebied van Vloedbesproeiing in Suid-Afrika is reeds verskeie kere uitgespel. Gedurende die Tegnologieoordrag Projek (Kruger, 1998 WNK Projek K8/317) is 'n prioriteitslys vir verdere navorsing op die gebied van vloedbesproeiing saamgestel uit vraelyste wat deur kursusgangers ingevul is. Die samevattende resultate van daardie vraelyste word in volgorde van prioriteit in tabel 2.4 weergegee. Uit tabel 2.4 kan gesien word dat die bepaling van ontwerpinsette 'n groot leemte is. Die verbetering van ontwerpprosedures deur onder andere die stel van randwaardes is as 'n "A" prioriteit gelys.

Tabel 2.4: Prioriteitslys vir vloedbesproeiingsnavorsing soos aangetoon deur ontwerpers van vloedbesproeiingstelsels (Kruger, 1998e)

GEÏDENTIFISEERDE MOONTLIKHEDE VIR VERDERE NAVORSING	KOMMENTAAR VAN KURSUSGANGERS	GEWIG
Prosedures om meting en bepaling van ontwerpinsette te doen	Noodsaaklik vir die aanwending van die OPTIVLOED-2.2 program. Verantwoordelike ontwerp kan nie hiersonder gedoen word nie.	A++
Die stel van randwaardes vir stroomgroottes en bedding lengtes	Ontwerpprosedures sal baie vergemaklik word en dit is wenslik dat hierdie aspek in die OPTIVLOED-2.2 program ingebou sal word.	A+
Toerusting (planne, afmetings, kapasiteite van sluise, pype, hidrante, ens.)	Riglyne in die vorm van bladskrifte of data velle is 'n groot behoefte. Die koste van die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels kan verlaag word deur standaard norme te gebruik	A+
Siviele konstruksies op die plaas (planne, afmetings, betondiktes, materiale, konstruksiepraktyke)	Riglyne in die vorm van bladskrifte of datavelle is 'n groot behoefte. Die koste van die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels kan verlaag word deur standaard norme te gebruik	A+
Seisoenale herkonstruksie, meganisasie praktyke en onderhoud van stelsels	Riglyne benodig in bladskrif formaat, gerugsteun deur opleidingsprogramme vir boere. Dis in nasionale belang vir die handhawing van doeltreffende vloedbesproeiing	A
Waterbestuur	Riglyne benodig in bladskrif formaat, gerugsteun deur opleidingsprogramme vir boere. Dis in nasionale belang vir die handhawing van doeltreffende vloedbesproeiing	B
Uitpen van werke en tegniese kontrole oor gehaltebeheer van konstruksie	Riglyne vir die kontrole van werke, fondsuitbetalings, ens. Dit is veral van belang waar belastingbetalersfondse of ontwikkelingsfondse betrokke is	B
Optimale grondverskuiwing en grondafwerking met verwysing na kommersiële sowel as bestaansboerderypraktyke	Riglyne word benodig vir onervare ontwerpers. Riglyne is nodig vir beide kommersiële en bestaansboerderye omdat finansiële middele om grondafwerking te doen verskil.	B
Optimale fisiese uitleg van vloedbesproeiing	Riglyne vir onervare ontwerpers word benodig	C

2.3 FOKUS VAN INTERNASIONALE NAVORSING

Vloedbesproeiing is 'n baie ou praktyk en vele navorsing om ontwerpprosedures vir vloedbesproeiing daar te stel, is op internasionale vlak gedoen. In Tabel 2.5 word relevante navorsing in die veld opgesom. Uit die tabel kan die verloop van die ontwikkeling van hidrodinamiese simulasie-modelle gevolg word.

Vanaf 1938 (Lewis & Milne) is daar aan die berekening van die waardes van die vordering en afdrogingsfronte gewerk. Navorsers in die VSA het op mekaar se werk gebou. Twee sterk navorsingsgroepe het na vore getree. Die Strelkoff-groep in California en die Bishop groep in Utah. In 1977 stel Strelkoff sy "Zero Inertia" hidrodinamiese model bekend, wat met behulp van die Saint Vennant vloeivergelykings 'n vloedbesproeiings episode, op 'n massiewe Burroughs-9600 hoofraam rekenaar, binne 10 uur kon simuleer. Tien jaar later, 1987, stel die Utah groep 'n eenvoudiger, gebruikersvriendelike Walker SIRMOD program vry wat op 'n 286-persoonlike rekenaar kon loop, die besproeiing simuleer en grafies op skerm voorstel.

In Tabel 2.5 word 'n opsomming gegee van die chronologiese verloop in die ontwikkeling van ontwerpprosedures vir vloedbesproeiing.

Tabel 2.5: 'N OPSOMMING VAN RELEVANTE NAVORSING OP DIE GEBIED VAN VLOEDBESPROEIINGSONTWERPPROSEDURES

(Let op dat die simbole in elke vergelyking gelaat is in die formaat waarin die outeur dit oorspronklik ontwikkel het. Daardeur word sinergie in die ontwikkeling van wiskundige prosedures aangedui, maar die verskil in definisies van die simbole word erken. So byvoorbeeld dui (t) in die algemeen (tyd) aan. (t) met 'n voetskrif dui egter op 'n bepaalde tydsinterval geldig vir die spesifieke formule.)

TYDPERK	NAVORSERS	BYDRAE
Voor 1900	AJC Barre de Saint Venant (Chow, 1959).	Ontwikkeling van hidrodinamiese vloeivergelykings vir oop kanale. Kontinuïteitsvergelyking $$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}+I=0$$ Bewegingsvergelyking: $$\frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial t}+\frac{V}{g}\frac{\partial V}{\partial x}+\frac{\partial y}{\partial x}=S_0-S_f+\frac{I_x V}{2gA}$$
1938	Lewis en Milne	Besef dat infiltrasietempo nie konstant is nie. Aanvaar dus infiltrasieprofiel in grond. $$Q_0 t = Ax + \int_0^x Z(t-t_s)ds$$ Bogenoemde is die sogenaamde Lewis-Milne vergelyking

1956	Hall	Ontwikkel Lewis-Milne prinsiep met stelsel van gelyke oppervlakkrommes. $$\Delta x_1 = \frac{Q_0 \Delta t}{\sigma_y A_0 + \sigma_2 Z_1 + pf}$$
1959	Kiefer	Metings en Empiriese verbande. $$y = \int \frac{k}{n+1}(t_1 - t_x)^{n+1} \frac{dL}{L_1}$$
1960	Hall	Stel eerste grafiese ontwerpprosedure, gebaseer op berekening van vorderingskrommes voor.
1964	Shockley , *et al.*	Kwasi-rasionale metode om op te los vir onbekendes- Ignoreer vorderingskrommes. $$L = \frac{Q_u ET}{100F_n} - \frac{Q_u^{1.2} En^{1.2}}{200F_n S^{1.6}}$$
1965	Fok en Bishop	Verbeter op navorsing van Kiefer deur beide empiriese infiltrasiefunksie en vorderingsfunksie daar te stel. $$x = \alpha t^{\beta}$$ $$yx = qt - \sigma_z Z_0 x$$
1965	Wilke & Smerdon	Ontwikkel dimensielose tegniek waarmee subprofiel-faktore by magsfunksie vorderingskromme-tegnieke, met infiltrasie- karakteristieke gekorreleer kan word.
1968	Hart, Bassett & Strelkoff	Begin Kinematiese en Dinamiese analise. Beginsel van afnemende volumevloei met lengte as gevolg van oppervlaktestoring en infiltrasie. Dimensielose tegnieke vorderingsfunksie x = ft subprofielfaktor (σ_z) neem die volgende waarde aan: $$\sigma_z = \frac{1}{1+a}$$ waar t^x <<1 $$\sigma_z = \frac{\pi a(1-a)}{\sin \pi a}$$ waar t^x <<1
1970	Chen	Kinematiese golfanalise waaruit 'n vloeivergelyking afgelei is. $$L(t) = \frac{q_0}{pK}\left[1 - \left(1 - \frac{pKt}{h_0}\right)^N\right]$$
1970	Wu & Bishop	Ontwikkel Kinematiese golfmetode van Chen tot: 1. Vorderingsfunksie : $x = Mt_a^N$ 2. Resessiefunksie $x_n = \alpha t \Gamma^{\beta}$: 3. Infiltrasie $I = kt_0^{\ n}$: Die funksie word op 'n vierkwadrantsisteem gestip en grafies opgelos.
1971	Linderman & Stegman	Detail metings van die effek wat variasie in hidrouliese parameters op toedieningsdoeltreffendheid in die praktyk het.
1972	Singh & Chauhan	Stel eksponensiële funksie vir vorderingskromme voor.
1972	Smith	Kinematiese golf-analise met navorsing van Woolhiser en Liggett (1967) asook Collins & Bassett (1964).

1973	Badenhorst	Kwasi-rasionele metode om inkeertyd te bereken (Shockley *et al.*(1964)-benadering word uitgebrei). $$x=\frac{n^{1.2}L^{0.2}y_g^{\ 0.2}}{S^{1.6}t_y^{\ 1.2}\ 1084.68} \quad \text{met} \quad X=k^{0.2}(1-k)$$
1977	Strelkoff en Katepodes.	Stel sogenaamde "Zero Inertia" simuleringsmodel bekend. $$\frac{\partial q}{\partial x}+\frac{\partial y}{\partial t}+\frac{\partial z}{\partial t}=0$$ $$\frac{\partial y}{\partial x}=S_0-S_f$$
1979	Clemmens	Toets "Zero Inertia" model aan die hand van praktiese data.
1978	Merriam	Praktiese metode met spesiale klem op afdrogingsfront-eienskappe.
1979	Frangmeier & Strelkoff	Demonstreer "Zero Inertia" simuleringsmodel aan die hand van SCS ontwerpnorme. Wys leemtes uit.
1981	Walker & Lee	Kinematiese golfanalise op pulsbesproeiing toegepas.
1981	Reddy & Clyma	Koppel ekonomiese maatstawwe aan optimale ontwerp en waterherwinning.
1982	Elliot, Walker & Skogerboe	Empiriese vorderingsfunksie.
1982	Russel	Infiltrasie en grondeienskappe by vloedbesproeiing. Metings en empiriese verbande. Gronde te Alice en Makhathini.
1983	Walker & Humpherys	Kinematiese golfteorie op voortjiebesproeiingsmodel.
1985	Strelkoff	"Borderflow" simuleringprogram vir beddingbesproeiing.
1986	Kruger G.H.J.	Afdrogingsfront-gradiënt teorie. Model waarmee voortjiebesproeiing ontwerp kan word. $$\left.\frac{d\ell}{dt}\right\|_i=-C_1\frac{I_{res}\ell_i}{y_i^{\ 1.626}}-C_2y_i\frac{\sqrt{S_f}}{n}$$
1986	Burt	Gekontroleerde volume ontwerptegniek.
1987	Rayej & Wallender	Kumulatiewe oplossing van volumebalans in plaas van 'n inkrementele oplossingstegniek.
1986-1987	Holzapfel E.A. et al.	Ondersoek na modelle om vloedbesproeiingsonterp te optimeer vir gebruik in Chilie.
1988	Eddebbarh & Padmore	Gebruik hidrodinamiese model om bogrondse vorderingsfunksie te voorspel. Hiermee gekombineer 'n dinamiese infiltrasiefunksie gebaseer op die Richards-beginsel.
1989	Walker	"SIRMOD" simuleringprogram vir vloedbesproeiing
1988	Katyal, A.K., King, L.G. & Campbell, G.S.	Aanwending van hidrodinamiese simulasie modelle om die herverspreiding van vog na afloop van 'n besproeiingsepisode te kan voorspel vir mielies wat vloedbesproei word.
1989	Maheshwari, Mc Mahon & Turner	Evalueer ses hidrodinamiese modelle teen veldwaarnemings en vind Strelkoff die beste vir aanwending in Australië
1989	Kruger G.H.J.	Aanwending van hidrodinamiese simulasie om die ontwerp van vloedbesproeiing onder Suid-Afrikaanse toestande te optimeer

1990	Yu & Singh	Analitiese model vir voorbesproeiing waar paraboliese funksies vir vordering en infiltrasie gebruik word en Strelkoff vir afdroging.
1991	Du Rand D.J. & Kruger G.H.J.	Aanwending van Hidrodinamiese simulasiemodel om die potensiaal vir opgradering van vloedbesproeiing in Suid-Afrika aan te toon.
1992	Renault, D. & Wallender, W.W.	Ontwikkel liniêre vorderingspoed model (ALIVE). Die model bereken die vorderingsfase as 'n funksie van stroomgrootte eerder as volgens volumebalans beginsels. Vorderingsafstand word dus 'n funksie van tyd.
1993	Strelkoff, T.S.	Vrystelling van 'n gebruikersvriendelike weergawe van die BORDERFLOW hidrodinamiese simulasiemodel (weergawe 21 van SRFR)
1997	Renault, D. & Wallender, W.W.	Evaluasie van oppervlakstoring in die ALIVE model vir voortjie besproeiing in Utah. Veral van toepassing waar voortjies op baie lae infiltrasietempo gronde voorkom. (Renault vanaf Nasionale du Genie Rural, Frankryk)
1997	Valiantzas, J.D.	Ondersoek subprofielfaktore gebruik in kinematiese golf subroetine hidrodinamiese simulasie programme. (Universiteit van Athene)
1998a-d	Kruger G.H.J.	Stel OPTIVLOED-2.2 program vry vir die optimalisering van beddinglengte teenoor besproeiings toediening.
1999	Strelkoff, T., Clemmens,A.J.,El Ansary, M. & Awad, M.	Toepassing van SRFR hidrodinamiese simulasiemodel op plat beddings/ bakke in Egipte. Inset parameters word evalueer met EVALUE program
2003	Abbasi, F., Shooshta, M.M. & Feyen, J.	Ontwikkel ZIMOD hidrodinamiese simulasie model en evalueer met velddata teen SIRMOD resultate. (Katolieke Universiteit Leuven)
2005	Zerihun, D., Furman, A., Arrick, A.W. & Sanchez, C.A.	Stel hidrodinamiese simulasiemodel HYDRUS 1D bekend . Die model kan aangewend word om toediening van vloeibare bemesting met vloedbesproeiing te simuleer. (Universiteit van Arizona)

Navorsers buite die VSA neem kennis van die hidrodinamiese simulasiemodelle en soek na wyses om dit toe te pas. In die VSA volg 'n navorsingsdroogte. Eers in 1998/9 begin die oorspronklike navorsingsgroepe, met buitelande studente, soek na goeie data om die simulasie modelle te kan aanwend. Dus volg verskeie publikasies met data oor infiltrasie en vloeiweerstand vir toepassing buite die VSA. Die navorsingsdroogte gaan verby en toepassings van die modelle word die afgelope 5 jaar aansienlik uitgebrei soos in tabelle 2.6 tot 2.9 aangedui word.

Tabel 2.6: 'N OPSOMMING VAN RELEVANTE NAVORSING OP DIE GEBIED VAN SKEDULERING VAN BESPROEIING EN SKEMABEPLANNING

1990	Skogerboe, G.V. & Shafique, M.S.	Aanwending van Zero Inertia hidrodinamiese simulasie modelle om afsnytyd te optimeer en grafies voor te stel. Produsente kan met die grafieke hul vorderingstye by veranderende infiltrasie aanpas en skedulering toepas. (staats Universiteit, Utah)
1996	Enciso, J.M. & Martin, D.L.	Ondersoek strategie om "defecit irrigation" of tekort /onder-besproeiing te kan bestuur onder toestande van beperkte waterbronne. Kombineer vloedbesproeiing simulasie met gewasgroei model (CERES MAIZE) (Enciso vanaf Mexikaanse instituut vir Watertegnologie)
1996	Raghuwanshi, N.S. & Wallender, W.W.	Modellering van opbrengste onder voortjiebesproeiing is gedoen deur verskeie simulasie modelle te kombineer. 88% van verwagte opbrengs variasie kon verklaar word aan hand van veranderende Evapo Transpirasie. Homogene infiltrasie tempo's gebruik vir die studie was 'n probleem.

1996	Azevedo, C.A.V., Merkley, G.P. Walker, W.R.	Skedulering simulasie model SIRTOM bekend gestel. Sogenaamde "real time" of aan lyn sagteware om besluitneming te vergemaklik.
1997	Raghuwanshi, N.S. & Wallender, W.W.	'n Seisoenale optimalisering van besproeiing en gewasproduksie is gesimuleer. Die optimalisering van ekonomie word ten doel gestel.
200/2001	Crosby, de Lange, Stimie , Van der Stoep	Onwerp van Kortvoor besproeiing in kleinboer besproeiingsprojekte is SA. SIRMOD simulasie program toegepas op die spesifieke behoefte
2001	Gonvalves, J.M., Pereira, L.S., Fang, S.X., Fabiao, M.S., Campos, A., Mao, Z. & Paredes, P.	'n Simulasie pakket vir die ondersteuning van besluitneming om water te kan bespaar word in Brasilië bekend gestel. 'n Opvolgstudie evalueer waterbesparings strategie toegepas op die "Yellow basin River", China. (Gonvalves vanaf Politegniese Landbou Instituut, Lissabon, Portugal)
2003	Adegoke, J.O., Pielke, R.A., Mahmood, R., Hubbard, K.G. & Eastman, J.	'n Streeksgebonde studie is op die Amerikaanse Hooglande onderneem om die impak van midsomerdroogte op besproeiing (waterverbruik en produksie)te simuleer
2003	De Rosnay, P., Polcher, J., Laval, K. & Sabre, M.	Studie om insette vir die ORCHIDEE model te bekom soos toegepas op die Indiese Skiereiland. Die ORCHIDEE simulasie model simuleer die interaksie tussen die verbruik van besproeiingswater en klimaatsverandering.
2005	Smout, I.K. & Gorantiwar, S.D.	Toekenning van hulpbronne soos grond en water in semi-ariede gebiede met behulp van die SWAM model vir wateraanvraagbestuur. Die model prioritiseer watertoekenning, en skeduleer uiteindelik die kanaalbestuur van besproeiingswater

Tabel 2.6 som die navorsing op waar daar van hidrodinamiese modelle in kombinasie met ander modelle gebruik gemaak word om waterverbruik te skeduleer, die effek van droogtes te voorsien en skemabeplanning te verbeter. Toepassings is gerig op die VSA, Mexiko, Europa, Indië, China ens. Die publikasie van Du Rand en Kruger (1991) waar aandag aan die potensiaal vir die opgradering van bestaande vloedbesproeiingskemas gegee is, val ook in dié kategorie. Die aanwending van simulasie resultate in 1991 was dus sy tyd vér vooruit!

Tabel 2.7: 'N OPSOMMING VAN RELEVANTE NAVORSING OP DIE GEBIED VAN BEMESTING

2003	Zerihun, D., Sanchez, C.A., Farrell-Poe, K.L., Adamsen, F.J. & Hunsaker, D.J.	Prestasie indikators /indekse vir Stikstof toedienning met vloedbesproeiingwater.

Tabel 2.7 som die aanwending van simulasie resultate op vir gebruik by die ondersoek van die toediening van stikstof in besproeiingswater.

Tabel 2.8 toon navorsing op die gebied van besoedeling, verbrakking en dreinering aan. Hidrodinamiese simulasies word aangewend om die oplossing en transportering van partikels te kwantifiseer.

Tabel 2.8: 'N OPSOMMING VAN RELEVANTE NAVORSING OP DIE GEBIED VAN DREINERING EN BESOEDELING MET DIE TOEPASSING VAN HIDRODINAMIESE MODELLE

1993	Hosseinipour, E.Z.	Rol van modelle in die bepaling van omgewingsimpak van landbou chemikalieë en besproeiing.
1998	Bradford, S.F. & Katopodes, N.D.	Nie hidrostatiese model vir vloedbesproeiing.
2005	Zerihun, D., Furman, A. & Warrick, A.W. Sanchez, C.A.,	Evaluasie van Model vir die transport van opgeloste partikels wat tydens vloedbesproeiing bogronds en ondergronds beweeg.

Tabel 2.9 gee 'n opsomming van navorsing oor die bepaling van modelinsette vir plaaslike toestande. Dit is duidelik dat die navorsing min aandag gekry het in die VSA. Die hoë koste van intensiewe versameling van velddata is waarskynlik te blameer. Daar was ook vir baie jare 'n stryd tussen die twee navorsingsgroepe in die VSA oor die sogenaamde "tweepunt metode" van Walker en grondige bepaling van die waarde van vloeiweerstand en infiltrasie. Die publikasie van Walker (2005) oor multivlak kalibrasie van modelle strook met die werk van Katopodes *et al.* (1990), Clemmens en Strelkoff (2003) en los dus die dispuut op. Die benadering van Clemmens *et al.* (2003) en Walker (2005) is analoog aan die metings wat die navorser reeds in 1983 met die Glen Eksperiment gedoen het ten einde die Afdrogingsfront Gradiënt Model (Kruger 1986) te kon ontwikkel. In Hoofstuk 3 (Figuur 3.2) word die bepaling van vloeiweerstand soos tydens die Glen Eksperiment gemeet, aangetoon.

Tabel 2.9: 'N OPSOMMING VAN RELEVANTE NAVORSING OP DIE GEBIED VAN INSETTE, VLOEIWEERSTAND EN INFILTRASIE

1988	Clemmens, A.J.	Metode om die uniformiteit van vloedbesproeiing op 'n land te bepaal
1990	Katopodes, N.D., Tang, J. & Clemmens, A.J.	Bepaling van inset parameters tydens vloedbesproeiing.
1990	Clemmens, A.J.	Infiltrasie en vloeiweerstand waardes vanaf die vorderingsfront.
1992	Maheshwari, B.L. & McMahon, T.A.	Die gebruik van die Manning verband om vloeiweerstand vir vloedbesproeiing in Australië te beskryf word bevraagteken. Die gebruik van 'n vloeidiepte gebaseerde verband, soos Chezy se formule, word aanbeveel

1992	Eisenhauer, D.E., Heermann, D.F. & Klute, A.	Ondersoek die effek van oppervlakseëling tydens infiltrasie by vloedbesproeiing. Op slikagtige klei leem gronde is infiltrasie afnames van 20 tot 49% gevind. Effek veral waar seël reeds aanwesig was vanaf vorige besproeiing.
1995	Scaloppi, E.J Merkley, G.P. & Willardson, L.S.	Bepaling van infiltrasie parameters vanaf vorderings- en benattingsfases van vloedbesproeiing. 'n Tegniek wat dinamies tydens besproeiing toegepas kan word en dus die bestuur van 'n geoutomatiseerde stelsel kan help.
1997	Garcia-Navarro, P. & Playan, E.	Toepassing van radiale-vloei simulasie model om infiltrasie en waardes vir vloeiweerstand te bepaal vir bakbesproeiing. (Universiteit van Zaragoza)
2003	Clemmens, A.J., Strelkoff, T.S. & Playan, E.	Velddata is versamel om 'n Tweedimensionele model vir die simulering van Bakbesproeiing te kon toets. 26 Meetstasies is in 'n 3 ha bak opgestel. By elke meetstasie is vloeidieptes met die verloop van tyd gemeet.
2004	Walker, W.R. & Kasilingam, B.	Ondersoek die effek van benatte omtrek by voortjiebesproeiing en argumenteer dat werklike besproeiingsdata ondersoek moet word.
2005	Walker, W.R.	Walker stel 'n multivlak kalibrasie prosedure vir die bepaling van die infiltrasietempo en vloeiweerstandswaardes by voortjiebesproeiing bekend. Hy vermeld dat die proses baie akkurater is as die "twee punt" metode wat al die jare voorgestel is.
2006	Walker, W.R., Prestwich, C. & Spofford, T.	Ontwikkel hersiene waardes vir die inname families van USDA. Waardes vir voortjiebesproeiing neem steeds bepaalde voorgeometrie, geldig in die westelike VSA, in ag. Velddata steeds te min vir beddingbesproeiing waardes.

Tabel 2.10 toon navorsing oor grondverskuiwing en oor gronderosie aan spesifiek vir vloedbesproeiing. 'n Optimale patroon vir grondverskuiwing sal altyd relevant bly. Selfs met die gebruik van lasertoerusting om die vlakke meer akkuraat te kan afwerk, bly die minimum beweging van grond en die kwaliteit van die grond wat verskuif word, belangrik. Oppervlakdreinering van Suid-Afrikaanse gronde, hetsy watter besproeiingstelsel daar gebruik word, sal in die toekoms al belangriker raak. Aangesien daar 'n noue verband tussen die produktiwiteit van die grond en die voorkoms van koue, nat toestande by die wortelsone van die plant bestaan, sal produsente al meer aandring op goeie dreinering. Die navorser het onlangs ondersoeke in die Noord Kaap, Zimbabwe en KZN gedoen waar dié stelling deur die resultate gestaaf word.

Navorsing op erosie onder vloedbesproeiing is weereens 'n duur en moeisame proses as gevolg van die veldwerk wat betrokke is. Die afwesigheid van nuwe literatuur op die gebied is duidelik. In Hoofstuk 6 van die studie gee die navorser enkele waardes wat vir Suid-Afrikaanse gronde geld, weer.

Tabel 2.10: 'N OPSOMMING VAN RELEVANTE NAVORSING OP DIE GEBIED VAN GRONDVERSKUIWING EN EROSIE SPESIFIEK VIR VLOEDBESPROEIING

1983	Kabir, J. & King, L.G.	Stel ontwerpgids saam vir erosiebeheer by voortjiebesproeiing
2004	Ebne-Jalal, R.	Geweegde gemiddeldes metode word gebruik vir die beplanning van grond verskuiwing by vloedbesproeiing. (Chamran University IRAN)

2.4 TEGNOLOGIE WAT VIR VLOEDBESROEIINGSONTWERP IN SUID-AFRIKA AANGEWEND WORD

'n Kort oorsig van moderne vloedbesproeiingstegnologie wat vir die ontwerp van stelsels aangewend word, word hiernaas weergegee. Die doel daarvan is om die samehang van die detail in latere hoofstukke in konteks te kan sien en te beskryf.

Vloedbesproeiing (Gravity surface irrigation) behels dat grond gebruik word as hidrouliese geleier om water oor 'n bepaalde oppervlak te versprei. Tydens die verspreidingsproses van water, word natuurlike hulpbronne (soos grond) met wisselende parameters, sowel as hulpbronne met bestuursbeheerbare of manipuleerbare parameters (soos onder andere grondhelling, beddinglengte, stroomgrootte en afsnytyd) gebruik.

Die ontwerp van 'n vloedbesproeiingstelsel kan wissel vanaf 'n eenvoudige ontwerp vir wateraanvoerstelsels tot 'n gesofistikeerde ontwerp vir waterverspreiding. Tabel 2.11 toon die interaksie tussen die vloedbesproeiingstelsel, die ontwerp-oogmerk en die ontwikkelingsfase aan.

Soos in hierdie tabel aangedui, sal daar in stelsels wat arbeidsintensief is, hoofsaaklik op die ontwerp van die wateraanvoerstelsel gekonsentreer word. Tipiese voorbeelde van sulke stelsels is kort-voorbesproeiing en gemeenskapstuine waar van die operateur verwag word om die water eweredig oor 'n klein oppervlakte te versprei. Die term vloedbesproeiingsontwerp (of waterverspreidingsontwerp) is dus bykans irrelevant in hierdie geval.

Hoe meer daar gemeganiseer word, hoe groter klem word gelê op die verspreiding van water op groot oppervlaktes met minimale inmenging van die besproeiingsoperateur. Die ontwerp en uitleg van so 'n stelsel word dus des te meer belangrik (Tweede fase; Tabel

2.11).

Die klem in moderne landbou val al meer op produktiwiteit en doeltreffendheid van bestuur. In die derde fase van ontwikkeling van 'n vloedbesproeiingstelsel, word klem gelê op die vermoë van die bestuurder om by markfaktore aan te pas, koste te beheer en optimaal te produseer. Die integrasie van bestuursfaktore by stelselhidroulika lewer die optimale stelsel (Derde fase; Tabel 2.11).

Tabel 2.11: Fases in die ontwikkeling en toepasbaarheid van hidrouliese beginsels

FASE	TIPIESE STELSEL	ONTWERP
Eerste	Arbeidsintensief	* Konsentrasie op aanvoerstelsel en beskikbaarheid van water
Tweede	Meganisasie, groter oppervlak besproei per operateur	* Konsentrasie op waterverspreiding. * Klem op ontwerp en uitleg.
Derde	Doeltreffendheid van water en bestuur	* Bestuursaanpasbare optimale produksie. * Hidrodinamiese ontwerptegnieke * Outomatisasie

Die term vloedbesproeiingsontwerp verwys dus hoofsaaklik na die ontwerp van die waterverspreidingstelsel by groter gemeganiseerde boerderystelsels soos aangedui in die tweede en derde fases in Tabel 2.11.

2.5 ONTWERPOOGMERKE IN VLOEDBESPROEIING

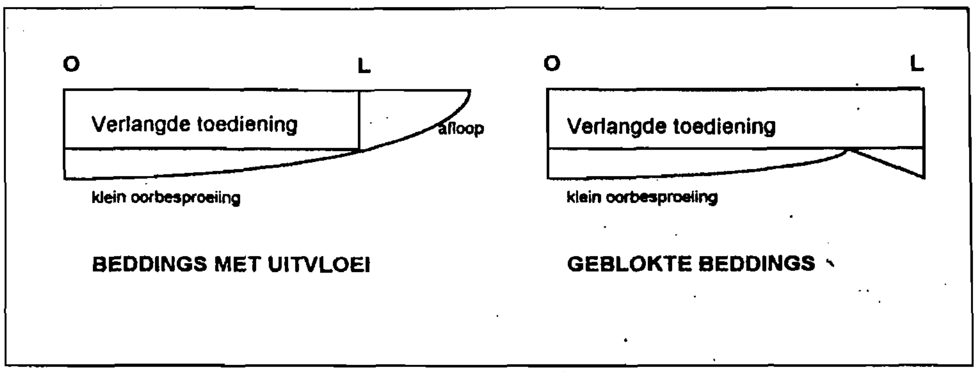
Die oogmerke tydens die ontwerp van 'n vloedbesproeiingstelsel is soos volg, naamlik:

1. **Toediening van genoeg besproeiingswater om die wortelsone van die plant, oor die hele bedding, tot 'n aanvaarde vlak te benat.** Die verlangde toediening word deur 'n verskeidenheid van faktore beïnvloed. 'n Gewas met 'n vlak wortelstelsel sal byvoorbeeld 'n kleiner verlangde toediening benodig as 'n gewas met 'n diep wortelstelsel. Net so mag bestuurspraktyke tot 'n kleiner of groter verlangde toediening lei as wat teoreties vereis word

(deficit irrigation). Om die graad van wateraanvulling in die wortelsone te beskryf, word normaalweg gebruikgemaak van die aanvullingsdoeltreffendheid (E_s "efficiency of storage"). In die praktyk is waardes vir hierdie aanvullingsdoeltreffendheid tussen 10 en 100 persent, terwyl waardes tussen 98 en 100 persent teoreties as aanvaarbaar beskou word wanneer daar vergelykings getref word. Dit is tans algemene praktyk om tekort-besproeiing (deficit irrigation) toe te pas ten einde die waterverbruiksdoeltreffentheid (kg graan/m^3 water) te verhoog.

2. **Die verlangde toediening moet so doeltreffend moontlik geskied.** Verliese ontstaan gewoonlik op plekke in 'n bedding waar water verby die wortelsone dreineer ("deep percolation"). 'n Ander groot bron van waterverlies kan die afloop aan die onderpunt van die bedding wees ("run-off"). Die verskil tussen die verlangde toediening en die werklike hoeveelheid water wat vir 'n besproeiing verbruik word (bekend as bruto toediening) staan bekend as die toedieningsdoeltreffendheid (E_a "efficiency of application"). Waardes van tussen 30 en 98 persent kom in die praktyk voor. Waar hergebruik van afloopwater plaasvind, is waardes van tussen 40 en 45 persent aanvaarbaar (SCS, 1983). Op Vaalharts kom toedienings van tussen 85 en 95 persent algemeen voor. Weens lae verdampingsverliese is die potensiële toedieningsdoeltreffendheid van vloedbesproeiing hoër as by sprinkelstelsels

3. **Besproeiingsaanvulling in die wortelsone moet so egalig moontlik oor die totale lengte van die bedding voorkom.** (Let wel dat afloopverliese nie in berekening gebring word nie). Die verspreidingsdoeltreffendheid (U_c - "uniformity coefficient") word normaalweg as die afwyking van die gemiddelde toediening bereken. In die praktyk kom waardes laer as 88 persent selde voor. Waardes van 94 tot 96 persent is algemeen by goeie vloedbesproeiingstelsels soos op Vaalharts. Die ontwerpoogmerk kan soos in Figuur 2.1 skematies voorgestel word.



Figuur 2.1 Skematiese voorstelling van die ontwerp-oogmerk.

2.6 BASIESE HIDROULIESE BEGINSELS EN BEHEERMEGANISMES WAT IN DIE PRAKTYK VOORKOM

Die verspreiding van water op/in 'n grond word in teorie bepaal deur:

(i) Die volume water: (MASSABEHOUD).

(ii) Die energie-insette: (ENERGIEBEHOUD).

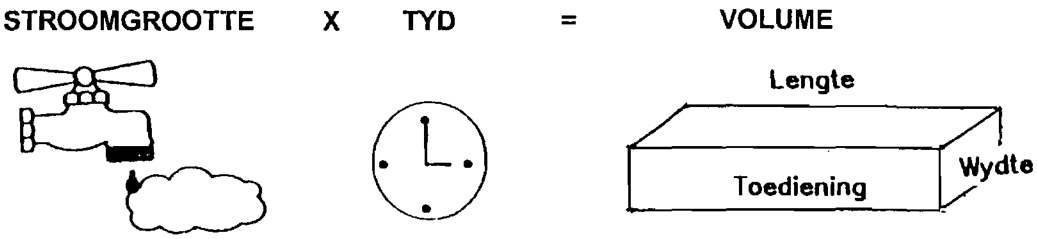
- Bogrondse energieverlies.
- Ondergrondse energieverlies.

Die hele proses is onderhewig aan die universele beginsel van massa- en energiebehoud.

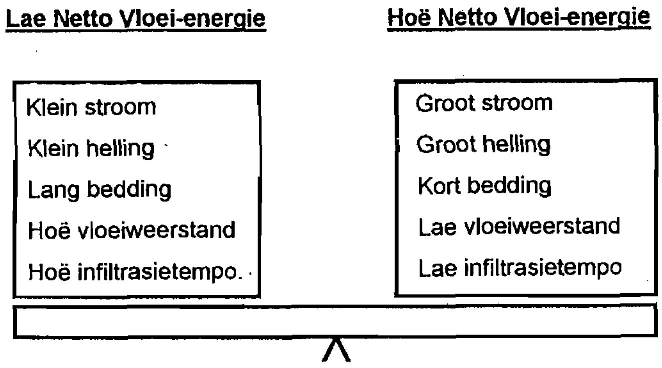
Die massabehoud of volumebalansbeginsel word in Figuur 2.2 as die produk van stroomgrootte en tyd voorgestel. Die besproeiingsoperateur het direkte beheer oor die inkeer- of afsnytyd van die stroom (voorgestel deur die horlosie). Die operateur kan normaalweg ook die eenheid-stroomgrootte beheer deur óf die direkte stroomgrootte te reguleer deur, hetsy die aantal beddings of voortjies te wissel óf die wydtes van die beddings te verander (voorgestel deur die kraan).

MEGANISMES OM VLOEDBESPROEIING TE BEHEER

1. MASSABEHOUD



2. ENERGIEBEHOUD



Figuur 2.2 Grafiese voorstelling om vloedbesproeiing te beheer

Dit is moeilik om die beginsel van energiebehoud te visualiseer. In die volksmond praat boere van 'n "vinnige bedding" of 'n "stadige bedding". Die lande lei "stadig" wanneer groot toedienings gegee word, en lei "vinnig" wanneer klein toedienings gegee word. Aangesien hierdie netto resultaat van die kombinasie van 'n aantal faktore in die praktyk belangrik is, meen die navorser dat 'n ewewigskaal die beste voorstelling bied. Die

begrippe “lae-” en “hoë netto-vloei-energie” is na aanleiding van die boerebenaming “stadige” en “vinnige” bedding, respektiewelik gedefinieër. Wanneer ’n toestand van “lae netto-vloei-energie” heers, sal die skaal in die guns van ’n groot toediening swaai. By so ’n bedding wat “stadig lei”, is die netto resultaat van ’n sekere kombinasie van faktore dus dat daar relatief min netto energie vir bogrondse vloei beskikbaar is. Dit word veroorsaak deur ’n relatiewe groot energie-absorberende komponent wat tydens infiltrasie en bogrondse vloei voorkom. Die totale proses is dinamies en dus afhanklik van tyd.

2.6.1 Wiskundige verbande

Terwyl die begrippe “volumebalans” en “massabehoud” eenvoudig meetbaar en berekenbaar is, is die begrip “energiebehoud” meer kompleks van aard. Energiebehoud kan alleen beskryf word aan die hand van ’n komplekse, interafhanklike, wiskundige verband tussen al die hooffaktore wat by vloedbesproeiing betrokke is (genoem onder massa- en energiebehoud in Figuur 2.2). In die praktyk het die besproeiingsoperateur ’n aantal faktore of meganismes waarmee ’n besproeiingsepisode beheer kan word. In Figuur 2.2 word ’n grafiese voorstelling van die meganismes getoon. Die Saint Venant-vloeivergelykings word algemeen aanvaar as die wiskundige verband wat vloedbesproeiingshidroulika beskryf. (Chow, 1959; Bassett, *et al.*, 1980; Walker & Skogerboe, 1987).

Die Saint Venant-vloeivergelykings is die volgende:

(i) **’n Kontinuïteitsvergelyking:** $\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}+I=0$

(ii) **’n Bewegingsvergelyking:** $\frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial t}+\frac{V}{g}\frac{\partial V}{\partial x}+\frac{\partial y}{\partial x}=S_0-S_f+\frac{I_x V}{2gA}$

Hierdie Saint Venant-vergelykings kan nie analities vir vloedbesproeiing opgelos word nie. Die vloeivergelykings word deur middel van numeriese

tegnieke opgelos. Hidrodinamiese simuleringsmodelle soos "Borderflow" (Strelkoff, 1985) en "SIRMOD" (Walker, 1989) is voorbeelde van rekenaargesteunde oplossingstegnieke.

2.6.2 Vereenvoudigde toepassing van hidrouliese beginsels om insette vir simuleringsmodelle te bepaal

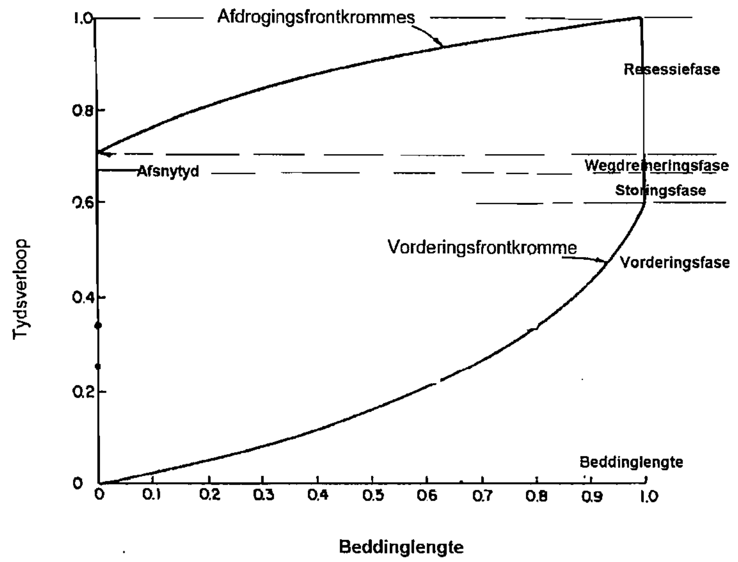
'n Simuleringsmodel simuleer 'n besproeiingsepisode met behulp van voorafgekose insette soos stroomgrootte, beddinglengte, afsnytyd en so meer. Hierdie voorafgekose insette kan ook soms as "beginwaardes" dien wanneer 'n optimale besproeiingskeuse ondersoek word. 'n Kundige keuse van die insette of beginwaardes moet dus gemaak word ten einde 'n simuleringsmodel vir 'n bepaalde doel te kan aanwend.

2.6.3 Meetbare fases tydens 'n besproeiingsperiode

In die praktyk kan die energie- en massabehoudbeginsels nie as sulks waargeneem word nie. Tasbare en kenmerkende vorderings- en afdrogingsfrontkrommes kan egter gemeet word.

Figuur 2.3 toon die algemeen aanvaarde tyd-afstandvoorstelling waar verskillende fases van 'n vloedbesproeiingsepisode voorgestel word, saam met vorderings- en afdrogingsfrontkrommes (Bassett, *et al.*, 1980; Walker, 1989).

Tydens die ontwerp van 'n vloedbesproeiingstelsel word gepoog om die hellings van die vorderingsfrontkromme en die afdrogingsfrontkromme so na as moontlik aan parallel te kry. Sodoende is daar eweredige kontaktyd en dus 'n eweredige waterinfiltrasie of toediening oor die volle lengte van die bedding.
Soos in Figuur 2.3 aangedui word, neig die krommings na 'n tyd in teenoorgestelde rigtings en "knyp" die kontaktyd gewoonlik namate die bedding langer word. Om hierdie effek te oorkom, word daar in die praktyk op bepaalde areas dikwels oorbesproei, soos in Figuur 2.1 aangedui. Afloop of opdamming aan die onderpunt van die bedding word dus ook gebruik om die toestand te verbeter.



Figuur 2.3 Besproeiingsfases waar vorderings- en afdrogingsfront-krommes op 'n tyd-afstand-vlak voorgestel word. (Aangepas vanaf Walker, 1989)

In die praktyk is die meting van die volume water wat in die bedding infiltreer, asook die meting van vorderings- en afdrogingskrommes die enigste metode waarmee 'n besproeiingsepisode gekwantifiseer kan word.

Hierdie praktiese ontleding van die besproeiingsfases is belangrik tydens 'n ontwerp en die ontleding van die stelsels. Hierdie is ook die enigste metode waarop sinvolle data, wat as insette in ontwerp en simuleringsprogramme benodig word, ingesamel kan word.

2.6.4 Faktore wat 'n indirekte invloed op stelselhidoulika het

Plaaslike omstandighede en toestande beïnvloed die toepassing van die hidrouliese beginsels. Die volgende faktore moet in ag geneem word wanneer hidrouliese beginsels in ontwerpe toegepas word:

- **Water as 'n skaars hulpbron in Suid-Afrika:** Die ooglopende "mors" van water as afloop is onaanvaarbaar vir die boer. Gevolglik is stelsels

waar voorsiening gemaak word vir afloop, nie gewild nie, alhoewel sulke stelsels baie voordele mag inhou.

- **Waterbeheer:** Waterbeheer word in 'n groot mate deur die beskikbaarheid van toerusting vir wateraanvoer en -verspreiding bepaal.
- **Konstruksievermoë:** In teenstelling met 'n sprinkelbesproeiingstelsel, waar voorafvervaardigde tegnologie gekoop word, skep die boer sy eie hidrouliese geleiers by vloedbesproeiing. Die vermoë van die boer om sodanige konstruksie volgens spesifikasie te doen **en te onderhou** hang van sy logistieke vermoëns af. In die algemeen sal die koste aan konstruksie en onderhoud direk verband hou met die graad van afwerking wat van watergeleiers verlang word.
- **Meganisasie**: Anders as met sprinkelbesproeiing het die meganiese werktuie meestal 'n direkte invloed op die stelsel-hidroulika. In Suid-Afrika is daar 'n algemene gebrek aan toerusting wat geskik is vir vloedbesproeiing. Daar bestaan nie, soos in die VSA, spesiale planters en werktuie vir byvoorbeeld voortjiebesproeiing nie. Die toepassing van bepaalde ontwerpprosedures word direk hierdeur geraak.

- **Bestuur**: By boom- en bakstelsels (bv. sitrusboorde) moet meganiese spuitprogramme en besproeiing goed gesinchroniseer word. Deurdat trekkers en ander toerusting oor watergeleiers en pas besproeide areas beweeg, veroorsaak dit dikwels sulke bestuursprobleme dat boere liewer na ander besproeiingstelsels oorskakel. Die ontwerper behoort dus hiervoor voorsiening te maak deur vir toegangsroetes, spuitbane en afloopwater te beplan.

Die ontwerpleeftyd van 'n vloedbesproeiingstelsel is waarskynlik 10 tot 50 jaar. Gedurende hierdie tydperk mag gewaskeuses vanweë eksterne markfaktore verander. Die ontwerper moet dus 'n spektrum van potensiële gewaskeuses ten opsigte van die hidrouliese stelselprestasie ondersoek. Daar behoort voorsiening gemaak te word vir toekomstige opgradering van bestaande of nuwe waterbeheerstelsels, ensovoorts.

Leibeurtstelsels op verskillende besproeiingskemas stel eiesoortige eise aan stelselbestuur. Die meer suksesvolle vloedbesproeiingskemas in Suid-Afrika het empiries so ontwikkel dat 'n variasie in stroomgrootte nie 'n groot invloed op die stelselprestasie het nie.

2.6.5 Faktore wat 'n direkte invloed op stelselhidroulika het

Hierdie faktore word in detail in Hoofstukke 3 tot 6 bespreek.

- Stroomgrootte
- Infiltrasie
- Vloeiweerstand
- Helling
- Beddinglengte
- Afsnytyd
- Geslote / geblokte beddings

2.7 DIE ONTWERP VAN VLOEDBESPROEIING IN SUID-AFRIKA

Die WNK het 'n ontwerpprosedure vir vloedbesproeiing in Suid-Afrika laat ontwikkel (Kruger 1998a-d) Die rekenaargesteunde ontwerpprosedure heet OPTIVLOED-2.2, en word in samehang met die SIRMOD simulasie program van Walker (1989) gebruik. Daar is ook 'n ontwerpprosedure vir "kortvoor besproeiing" ontwikkel deur Crosby *et al.* (2000) vir die WNK. Die LNR (ILLI) het ook, as deel van die 2003 uitgawe van hul Besproeiingshandleiding, 'n afdeling oor vloedbesproeiing (Hoofstuk 15) in samewerking met die Suid-Afrikaanse Besproeiingsinstituut vrygestel (LNR-ILI, 2003).

HOOFSTUK 3

METODES OM'N BESPROEIINGSEPISODE TE KWANTIFISEER

3.1 INLEIDING

Die titel van hierdie studie impliseer dat 'n lessenaarstudie onderneem is ten einde data met Hidrodinamiese Simulasie Modelle te genereer, waarmee randwaardes gestel kan word. In Hooftuk 2 is 'n oorsig oor vloedbesproeiingstegnologie verstrek. In hierdie hoofstuk word aangedui hoe 'vloedbesproeiing in die praktyk evalueer word en wat die doel van berekeninge is. Hierna word die analoog bespreek soos bepaal deur gebruik van hidrodinamiese simulasie modelle. Die verskillende benaderings wat gevolg word, word bespreek, aangesien dit 'n groot invloed op die wiskundige algoritmes en numeriese oplossingstegnieke het. Die wyse of tegniek waarop gemete of gesimuleerde vloedbesproeiing gekwantifiseer en evalueer is, word dus bespreek. Hierdie hoofstuk lewer 'n beskrywing van die instette wat gebruik word vir simulasie. Hiernaas word die metode gevolg om faktore te isoleer vir latere ontleding, aangetoon. Dit is besonder belangrik om die variasie van gesimuleerde data te beperk (Kruger, 1989) sodat daar vergelykings getref en tendense ontleed kan word. Die metode wat hiervoor ontwikkel is, word bespreek.

Om randwaardes te kan stel word sistematiese of planmatige kwantifisering van 'n aantal besproeiings-episodes gedoen. Die resultate van die kwantifiserings word dan ontleed ten einde tendense te kan beskryf. Die navorser het vir hierdie studie 'n spesifieke orde ontwikkel waarvolgens drie verskillende tipes tendenslyne beskryf en ontleed kan word. Indien die drie tipes tendenslyne grafies voorgestel sou word, ontstaan 'n aantal snypunte (nodepunte). By hierdie snypunte (nodepunte), wat dien as die "adres" van data, word dan genoeg data beskikbaar gestel om randwaardes (grenswaardes) te kan stel.

In Hoofstuk 3 word die algemene metodes vir die kwantifisering van 'n besproeiings-episode, die passing en vergelyking van data en planmatige ondersoek van die tendenslyne bespreek. (Hoofstukke 4, 5 & 6 handel met die spesifieke metodes en resultate vir die verskillende tipes tendenslyne).

3.2 KWANTIFISERING VAN 'N BESPROEIINGS-EPISODE

Die belangrikste tegniek wat gebruik word in navorsing oor vloedbesproeiing, is die kwantifisering van 'n besproeiings-episode. Dit kan gedoen word deur metings in die veld, asook deur simulasie met hidrodinamiese modelle.

3.2.1 Praktiese evaluasie van 'n vloedbesproeiings-episode

In paragraaf (2.6.3) figuur 2.3 word die meetbare fases tydens 'n besproeiings-episode beskryf. Dit verteenwoordig die waarneembare vordering van die vorderingsfront en afdrogingsfront. Wanneer 'n vloedbesproeiings-episode evalueer word, word hierdie tyd terwyl benatting (vorderingsfront) en afdroging (afdrogingsfront) plaasvind, teenoor beddinglengte, aangeteken.

In Figuur 3.1 word die meting en evaluering van hierdie fases prakties deur studente en kursusgangers geïllustreer.

Meting van vloeidiepte en stroomgrootte tydens die Glen-eksperiment. Hierdie data is gebruik in die ontwikkeling van die OPTIVLOED-2.2 program.

Kursusgangers evalueer 'n besproeiingsepisode op koring te Vaalharts. Hierdie data word gebruik in die berekening van waterverspreiding tydens evaluasie van 'n stelsel.

Figuur 3.1 Praktiese evaluasie van 'n vloedbesproeiings-episode

Die verskil tussen die tyd van benatting en afdroging word bereken en staan bekend as die kontaktyd (T_k). Dit verteenwoordig die tydsverloop wat die water op die spesifieke plek, die geleentheid gehad het om in die grond te infiltreer (sg. "Intake opportunity time"). Indien die infiltrasietempo van die spesifieke grond

bekend is[3] kan die toediening by elke meetpunt bereken word soos aangetoon in Tabelle 3.1 en 3.2. Sodoende kan die gemete toedienings met die beoogde toediening vergelyk word.

Tabel 3.1: Glen Eksperiment: Fisiese infiltrasie-metings - Oktober 1983
(Grondtipe: Valsrivier)

Tyd (min)	Kumulatiewe
	Infiltrasie
0	0
5	21
10	34
15	45
20	54
25	63
30	71

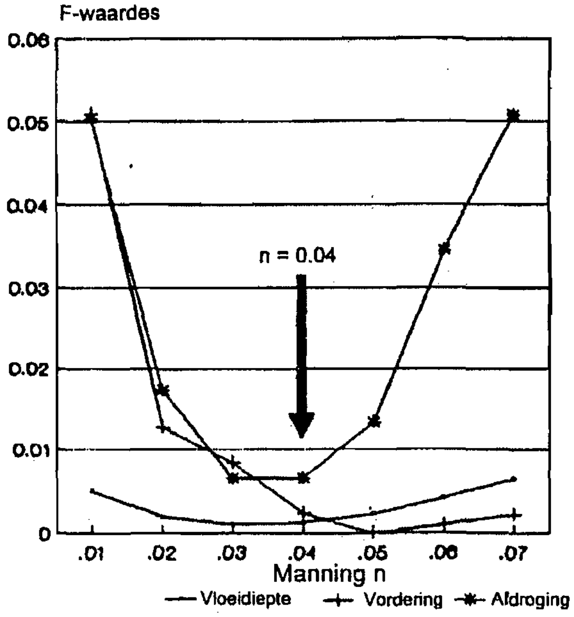
Tabel 3.2: Glen Eksperiment: Fisiese metings van die vorderings en afdrogingsfronte - Oktober 1983

Meetpunt	Bedding lengte	Vorderings tyd gemeet	Afdrogings tyd gemeet	Kontakyd bereken	Benaderde Toediening	Gekorrigeerde Toediening
	(m)	(minute)	(minute)	(minute)	(mm)	(mm)
1	0	0	19	19	51	53
2	34	3	21	18	49	51
3	68	5	23	18	49	51
4	102	8	26	18	49	51
5	136	10	29	19	51	53
6	170	12	32	20	52	54
7	204	14	40	26	63	65
8	238	16	44	28	66	68
9	272	19	46	27	64	67
10	306	21	51	30	68	71
Gemeet:	**Stroomgrootte**	65m^3/h/voor		**Gem Z**	56 mm	58 mm
	Afsnytyd	16,5 min		**Lengte**	306 m	
	Totale volume	17.8 m^3		**Volume**	17.136 m^3	

Die drie maatstawwe vir doeltreffentheidswaardes kan gevolglik bereken word. Indien die vloeidiepte tydens besproeiing op 'n aantal punte gedurende die verloop van die besproeiing gemeet is, kan daar met behulp van die aanvangsstroomgrootte (Q_o) en grondhelling (S_o), bereken word wat die werklike vloeiweerstand (Manning n-waarde) is. In Figuur 3.2 kan gesien word dat die

[3] gewoonlik word die tempo in 'n dubbelring of voorsegment gemeet en met 'n tweede volumebalans metode [Q_o x Afsnytyd] bereken nadat daar besproei is.

vloeiweerstand tydens vordering bykans n = 0.05 was. Soos kluite weggesmelt het en die bodem egaliger geword het tydens die besproeiing, was die vloeiweerstand tydens afdroging tussen n = 0.03 en n = 0.04.

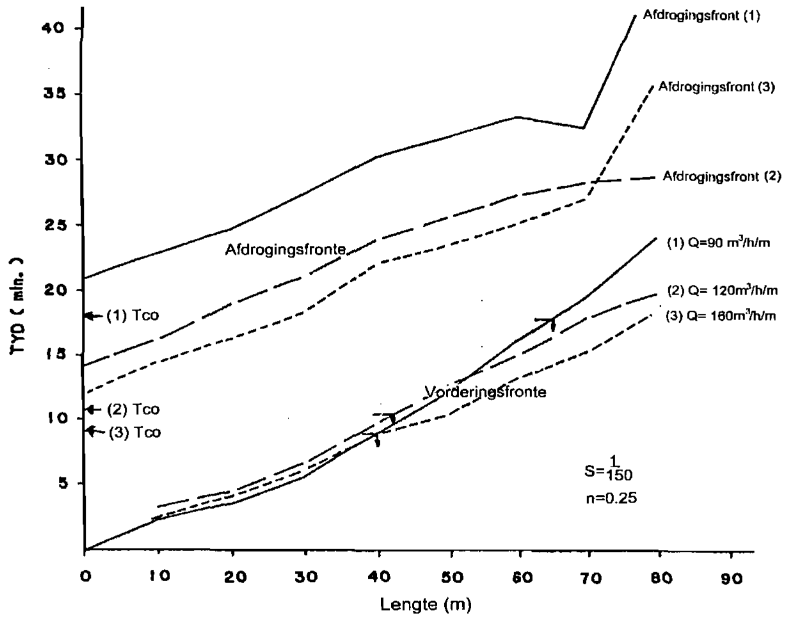


Figuur 3.2 'n Voorstelling van die mees geskikte waardes vir vloeiweerstand (Manning-n). Data wat hier uitgebeeld word is gemeet tydens die Glen Eksperiment en herverwerk (Kruger, 1998c).

Die Glen-eksperiment (Kruger, 1986) was uniek vir sy tyd. Uit figuur 3.2 kan die akkuraatheid van die meting en verwerking van resultate gesien word. Verdronke meetkerwe is te Silverton ontwikkel en in die besproeiingslaboratoruim gekalibreer. 'n Voortjie se invloei en uitvloei is gemeet en by 16 meetstasies is daar elke minuut 'n vloeidiepte-meting geneem. Voortjie profiele en benatte oppervlak is by elke meetstasie bepaal. In die berekening is daar vir wisselende benatte oppervlaktes voorsiening gemaak. Vloeihidrograwe is vir elke meetstasie bereken. Meer onlangse internasionale navorsing volg dieselfde detail metingstegnieke waarmee vloeidiepte en benatte oppervlak by verskeie meetstasies gemeet word (Katapodes, 1990; Clemmens *et al.*, 2003; Walker, 2005). Die proses is tydrowend en vereis vernuftige opstelling van meetapparaat

om die stroomgrootte te meet by die bokant van die bedding en metings by elke stasie te doen. Daar is dus nou op hierdie manier rekenskap gegee van die totale volume water wat in die bedding ingevloei het, en hoe dit dinamies oor die bedding versprei het.

Metings kan ook gewoonlik slegs gedoen word wanneer daar 'n fisiese besproeiingsbehoefte bestaan en daar leiwater bestel is. Tydens Projek OVH 77 (Du Rand *et al.*, 1985) is 167 besproeiings-episodes gemeet oor 'n tydperk van 4 jaar. Die probleem is dat daar gewoonlik beperkte afleidings uit die resultate van sulke evaluasies gemaak kan word. Subjektiewe meting, bestuursfoute (afsnytyd variasie in fig 3.3) en beperkte vermoë om variasies in stroomgrootte te toets is hiervoor verantwoordelik.



Figuur 3.3 Voorbeeld van metings waarvan daar beperkte afleidings gemaak kan word

Deesdae word praktiese evaluasie gebruik in kombinasie met hidrodinamiese simulasiemodelle (Kruger, 2000). Praktiese metings "yk" die model en verskeie variasies kan dan met behulp van die simulasiemodel deurtrap word. Navorsingsliteratuur bevestig hierdie gebruik (Walker & Kasilingam, 2004)

3.2.2 Hidrodinamiese simulasie van 'n vloedbesroeiings-episode

Verskeie navorsers in die VSA, het oor 'n tydperk van sowat 30 jaar tot die uiteindelike vrystelling van die eerste simuleringsmodelle vir vloedbesproeiing, in 1985, bygedra (Kruger, 1998a). Hierdie simuleringsmodelle is hoofsaaklik in die VSA en Australië aan die hand van praktiese data getoets (Clemmens,1979; Maheshwari *et al.*,1989). Daar is bewys dat simuleringsmodelle, met korrekte keuse van subroetines, ook in Suid- Afrika suksesvol aangewend kan word (Kruger, 1998c). Aanwendingsmoontlikhede is ook intussen bevestig vir gebruik in Egipte (Strelkoff *et al.*, 1999), China (Gonvalves *et al.*, 2001) en in Europa (Abbasi *et al.*, 2003).

Simuleringstudies bied 'n unieke geleentheid aan navorsers om aspekte van vloedbesproeiingstegnologie te verken. Soos reeds aangedui kan die verband tussen die faktore wat by vloedbesproeiing 'n rol speel, nie analities opgelos word nie. 'n Hidrodinamiese simuleringsmodel kan aangewend word om hierdie verband met behulp van rekenaar-tegnologie op te los. 'n Enkele besproeiings-episode kan sodoende gesimuleer en dus gekwantifiseer word. Die rekenaaroprateur kan normaalweg besluit oor hoeveel van hierdie berekeningsdetail weergegee moet word.

Die berekende oplossings wat verkry word, voldoen binne 'n toelaatbare foutlimiet, aan die voorwaardes vir massa- en energiebehoud. Die oplossings wat so verkry word, is egter nie altyd prakties uitvoerbaar nie, of stem nie ooreen met gemete resultate in die praktyk nie. Die redes hiervoor word in paragraaf 3.4.1 bespreek.

3.2.3 Benadering tot meting en wiskundige berekenings

Wanneer 'n besproeiings-episode gekwantifiseer word kan daar een van twee benaderings gevolg word. Tradisioneel word die beddinglengte in konstante meetafstande verdeel en tydsverloop word gemeet. Alternatiewelik kan

tydsverloop konstante inkremente lewer en dan word afstand telkens gemeet of bereken.

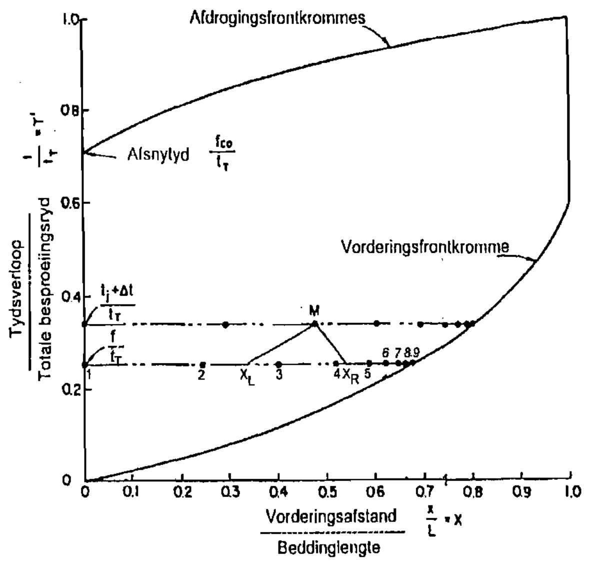
3.2.3.1 Die 'konstante afstand' benadering

Tydens hierdie benadering word die land of bedding in 'n aantal meetstasies verdeel. 'n Bedding van 100m lank sal byvoorbeeld in 10 blokke verdeel word wat elk presies 10m lank is. Daar is dus 11 (10 inkremente + nulpunt) meetstasies. Hierdie metode word algemeen in die praktyk nagevolg wanneer stelsels evalueer word. Figuur 2.1 toon so 'n praktiese evaluasie aan wat tydens 'n opleidingskursus in OPTIVLOED-2.2 te Vaalharts, deur die navorser aangebied is. Analoog hieraan, het die wiskundige oplossing van die simulasiemodel van Strelkoff (1985) ontstaan. Navorsers aan Davis (University of California) het met USDA befondsing gefokus op die matematiese/kinematiese, dinamiese beginsels van afnemende volumevloei met lengte, as gevolg van oppervlakstoring en infiltrasie (Hart *et al.*, 1968).

Die "Borderflow"-SRFR, model (Strelkoff, 1985)

Die Strelkoff model (1985) skakel die Saint Venant-vloeivergelykings (nie-liniêre eerste orde parsiële differensiaalvergelykings) met behulp van 'n karakteristieke metode na twee standaard differensiaalvergelykings om. Hierdie differensiaal-vergelykings word tot 'n volrangstelsel van vergelykings uitgebrei.

'n Inkrementele tweede-orde kwadratiese interpolasieprosedure is deur Strelkoff en Katapodes (1977) gebruik om oplossings by nodepunte te verkry (voorgestel in Figuur 3.4).



Figuur 3.4 Dimensielose tyd-afstandvlak ["Borderflow"-program, Strelkoff (1985)]

Strelkoff het destyds, voor die koms van persoonlike rekenaars, gepoog om oplossings by slegs 11 meetstasies te verkry. Vandaar die dimensielose tegniek om "standaard oplossings" te kon weergee. By elke nodepunt is vier vergelykings met vier onbekendes wat met behulp van 'n Newton-Rapson-tegniek opgelos word. 'n Preismann-dubbelvee-tegniek is gebruik vir finale akkuraatheid.

Die tegniek lewer slegs akkurate oplossings as die tydsinterval klein gehou word en konvergensie van die numeriese oplossings plaasvind. Haie (1984) wys daarop dat die begin-oplossingswaardes (en by implikasie randwaardes) vir konvergensie na aan die kol moet wees. Die navorser het dieselfde ondervind tydens die gebruik van die Strelkoff-model. Volgens Maheshwari, *et al.*, 1989 toon die Strelkoff-model die meer akkurate simulering vir afdrogingsfronteienskappe. Volgens die ervaring van die navorser, is hierdie model gevorderd ten opsigte van spesiale toepassings soos byvoorbeeld wisselende hellings. Dit is egter meer gespesialiseerd as die Walker model (1989) en vereis veel langer rekenaartyd. Groter vaardigheid word ook van die operateur vereis. Die Borderflow program is intussen opgradeer (Strelkoff, 1993).

Vanuit voorafgaande blyk dit dat die "konstante afstand benadering" dus maklik is om vir evaluasie in die praktyk aan te wend. Dit lei egter tot ingewikkelde wiskundige en numeriese oplossingstegnieke in 'n simulasiemodel.

3.2.3.2 Die 'konstante tyd' benadering

Figuur 3.5 toon die konstante tyd benadering aan. Aangesien die stroomgrootte dieselfde bly (behalwe by meer gevorderde oplossings), sal die konstante tydstappe tot gevolg hê dat die benadering ook konstante volumes lewer.

Navorsers aan Utah State University (Naby Salt Lake, 'n 2000 jaar oue besproeiingskema waar voortjiebesproeiing algemeen toegepas word) ontwikkel empiriese vorderingsfunksies en later kinematiese golfanalises wat berus op die beginsel van konstante volumes (Fok & Bishop, 1965; Wu & Bishop,1970; Walker & Humpherys, 1983). Hieruit ontwikkel die beginsel van kumulatiewe oplossing van volumebalans, eerder as inkrementele oplossing deur die konstante afstand benadering (Rayej & Wallender, 1987). Walker (1989) gebruik dan ook juis hierdie tegniek, wat neerkom op die integrasie van die stelsel van volrangvergelykings soos deur Strelkoff gebruik, ten einde sy simulasiemodel te ontwikkel. Die wiskundige benadering vereenvoudig dus, en numeriese oplossings pas outomaties aan by die inkrimentele verkleining van vorderingstempo met tyd.

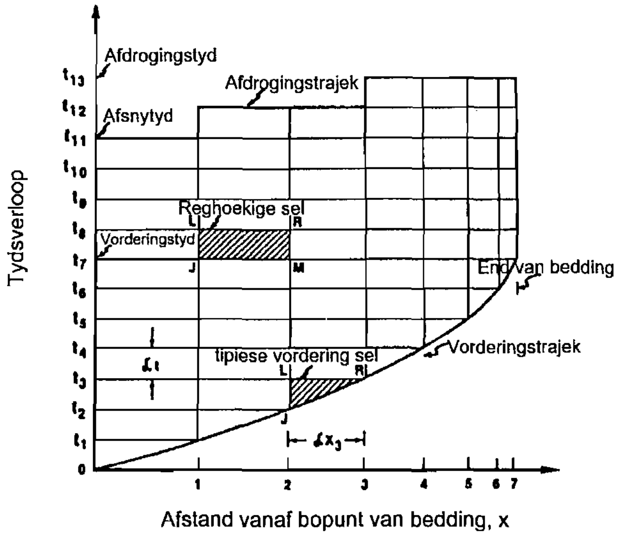
In Hoofstukke 5 en 6 van hierdie studie, word hierdie 'konstante tyd/volume' benadering gebruik om nuwe analitiese metodes, genoem **'Metodes 1 en 2'**, te ontwikkel.

Die "SIRMOD"-model (Walker, 1989)

Dié model van Walker (1989) is gebaseer op 'n Euler-numeriese-integrasie van die Saint Venant-vloeivergelykings.

Beide die beginsels van massa- en energiebehoud word uitgedruk as veranderlikes van die selle soos in Figuur 3.5 voorgestel. Vloeitempo, vloei-oppervlak,

volume- infiltrasie en ander bekende veranderlikes word vir elke sel bepaal. In teenstelling hiermee word daar met die Borderflow-model by elke tyd-afstand nodepunt, vir al die veranderlikes in die stelsel van volrangvergelykings opgelos.



Figuur 3.5 Die Euler tyd-afstandsvlak ["SIRMOD"-program, Walker(1989)]

Deur tyds- en afstandsnormaliseringskoëffisiënte (shape factors) te gebruik, word volumes van die halfgevulde selle bepaal en kan die veranderlikes telkens tot slegs twee onbekendes beperk word.

Twee anlities-onoplosbare vergelykings kan inkrementeel met behulp van numeriese tegnieke opgelos word. 'n Newton-Rapson-prosedure word gebruik, en 'n Preismann-dubbelvee-algoritme word aangewend. Die Walker-model (1989) is interaktief met die rekenaaroperateur deurdat 'n grafiese voorstelling van die besproeiing op die rekenaarskerm verskyn. Konvergensie van die oplossing is veel makliker as met die Strelkoff-model (1985) aangesien die selle aangepas word (die afstands inkremente dus verklein word met verloop van tyd) en daar vir minder veranderlikes opgelos word.

Met die tegniek om gemete en gesimuleerde besproeiings-episodes te kan kwantifisser nou bespreek, kan daar voortbeweeg word om te beskryf hoe die gekwantifiseerde data benut word ten einde by randwaardes uit te kom.

3.3 BENUTTING VAN BESPROEIINGSEPISODE DATA

Kwantifisering van 'n besproeiingsepisode het nie net die bepaling van "meetbare fases" soos vorderingfronte, afdrogingsfronte, infiltasie (of toediening) en berekening van doeltreffendhede in gedagte nie. Die data wat so verkry word, kan ontleed word om die volgende besproeiing te verbeter. Deur herhaaldelik die data te ontleed en telkens op die vorige besproeiing te verbeter, kan die optimale besproeiing uiteindelik geïdentifiseer word. Figuur 3.9 beeld die proses uit.

3.3.1 Optimalisering van 'n enkele besproeiing

Meriam (1978) wys op die moontlikheid om die doeltreffentheid van vloedbesproeiing te verbeter deur die tempo van die vorderingsfront, wat afhanklik is van stroomgrootte, in die praktyk aan te pas by die tempo waarteen die afdrogingsfront beweeg. Kruger (1986) ontleed die tempo van die afdrogingsfronte vir verskeie besproeiings te Vaalharts en vind inderdaat dat 'n enkele besproeiingsepisode, onder tipiese Suid-Afrikaanse toestande, ge-optimaliseer kan word deur die tempo van die vorderingsfront aan te pas, sodat die volgende geld:

- Die afdrogingsfront moet begin wanneer die vorderingsfront die eindpunt van die bedding bereik.
- Die gemiddelde tempo van die vorderingsfront moet dieselfde wees as die gemiddelde tempo van die afdrogingsfront

Gedetaileerde metings tydens die Glen-eksperiment bevestig die resultaat en lei tot die ontwikkeling van die "Afdrogingsfrontgradiënt teorie" (Kruger, 1986). Soos in die inleidende paragraaf (3.3) hierbo beskryf, kan 'n enkele besproeiing dus ge-optimaliseer word, deur tydens herhaalde lopies, telkens na die tendense

van die vordering- en afdrogingsfronte te kyk, en stroomgrootte en afsnytyd so aan te pas dat die krommes van die twee fronte al meer parallel neig.

3.3.2 Optimalisering van 'n reeks besproeiings

Kruger (1986 en 1998a-e) bewys dat die tempo waarteen die afdrogingsfront sal beweeg op 'n bepaalde grond, 'n funksie is van die heersende infiltrasietempo, die helling van die grond, die weerstand teen vloei en met die lengte van die bedding sal toeneem. As 'n toestand geskep word waar die afdrogingsfront begin wanneer die vorderingsfront die eindpunt van die bedding bereik, kan die tydsverloop, tussen die beweging van die vordering- en afdrogingsfronte, dus vir enige beddinglengte voorspel word. Hierdie tydsverloop verteenwoordig die infiltrasietyd en dus die besproeiings toediening. Daar is dus 'n direkte verband tussen die besproeiingstoediening en die lengte van die bedding wat besproei word. Die OPTIVLOED-2.2 program (Kruger, 1998d) simuleer hierdie verband telkens vir gegewe toestande. Die resultaat wat die model lewer verteenwoordig die optimalisering van 'n reeks besproeiings. Die resultaat verteenwoordig dus 'n tendens van optimale waardes vir toediening (Z) en die lengte (L) waarby dit vir die toestande sal geld.

3.3.3 Ontleding van optimale besproeiings vir die voorkoms van tendense

Die verband tussen toediening en beddinglengte verteenwoordig maar slegs een van die tendense wat uit die data van optimale besproeiings-episodes ontleed kan word. In Hoofstuk 2 van hierdie studie word daar in paragraaf 2.6 verwys na meganismes om vloedbesproeiing te beheer. Daar word verwys na die beeld van 'n ewewigskaal wat kan kantel in die rigting van 'n "klein toediening" of 'n "groot toediening," afhanklik van die "netto vloei-energie" in die sisteem. Die netto vloei-energie is 'n funksie van stroomgrootte, helling, beddinglengte, vloeiweerstand en infiltrasietempo. In die daarop volgende paragrawe (2.6.4 en 2.6.5) word verwys na faktore wat direkte en indirekte invloed op stelsels in Suid-Afrika het. In Hoofstukke 4 tot 6 van hierdie studie word verwys na die bestuur van afsnytyd en toedieningsdoeltereffendheid, na gronderosie, maksimum

beddinglengte en stroomgrootte, na vloeidiepte en hellings. Al hierdie faktore is op 'n interafhanklike wyse verbind aan elke optimale vloedbesproeiings-episode. Die fundamentele beginsels van massabehoud en energiebehoud soos uiteengesit in paragraaf 2.6 bepaal hierdie interafhanklike verbande. Vir elkeen van die faktore hierbo genoem kan daar tendense ontleed word deur die Saint Venant vergelykings (paragraaf 2.6.1) vir 'n spesifieke situasie herhaaldelik op te los.

3.3.4 Die stel van randwaardes vir tendense

Die tendense word normaalweg wiskundig beskryf en grafies voorgestel. Die vraag ontstaan of die tendense by alle moontlike waardes van die faktore, soos hierbo genoem, geldig is? Dit is logies om te aanvaar dat byvoorbeeld die verband tussen toediening en beddinglengte nie tot in oneindigheid sal geld nie. Aangesien die krommings van die vorderings- en afdrogingsfronte in teenoorgestelde rigtings neig, sal die besproeiing 'afknyp' met 'n toename in beddinglengte. Daar moet dus 'n beperking (randwaarde) op beddinglengte gestel word gesien uit die oogpunt van die ontwerpoogmerke soos uiteengesit in paragraaf 2.5. Daar is egter reeds genoem dat al hierdie faktore op 'n interafhanklike wyse verbind word aan elke optimale vloedbesproeiings-episode. Dus is hier sprake van 'n tendens, van 'n tendens. Hierna verwys die navorser as 'n primêre en 'n sekondêre tendens.

Wanneer tendense beskryf word is, is die verband tussen teorie en die praktyk altyd relatief. Die vraag is dus, wanneer raak die teoretiese oplossing of tendens onprakties en hoe word daardie afsnypunt of randwaarde bepaal? Gewoonlik is die afsnypunt relatief tot die tegnologie en praktyk van die dag. So byvoorbeeld meld Walker en Skogerboe (1987) dat die konsep van 'pulsbesproeiing' in die praktyk ontstaan het en dat die teorie daaragter eers veel later ontwikkel het. Tot en met suksesvolle outomatisering van toerusting waarmee 'n waterpuls telkens in 'n besproeiingsvoor gelewer kon word, was die hele konsep onprakties.

Oplossings en tendense wat uit gesimuleerde data bepaal word, is nie altyd prakties uitvoerbaar nie, of stem nie noodwendig presies ooreen met gemete

resultate in die praktyk nie. Weens die volgende redes is randwaardes (begrensing) nodig en moet dus gestel word:

- Die algoritmes waarmee die rekenaar die oplossing simuleer, maak nie voorsiening vir alle praktiese omstandigdhede nie. So sal die rekenaar byvoorbeeld nie die tyd wat dit neem om 'n stroom water in 'n bedding in te keer, verreken nie. Die rekenaar-oplossing neem die tyd as "oombliklik". In die praktyk wissel hierdie tyd egter en is afhanklik van die metode en toerusting wat geruik word. 'n Tydsverloop van minder as 'n minuut kan voorkom indien daar van sluise gebruik gemaak word, terwyl 'n tydsverloop van 5 minute kan voorkom wanneer daar met grawe of hewelpype gewerk word.
- Die rekenaar-oplossing ken geen perke ten opsigte van infiltrasie of stroomgrootte nie. Terwyl die gebruik van groot strome in die praktyk tot erosie kan lei.
- Dit sou onprakties wees vir 'n besproeiings-operateur om elke minuut die leiwater in 'n volgende bedding te sit. Selfs met sluise tot sy beskikking wat slegs oop en toe getrek moet word, sou die operateur eenvoudig nie die tempo vir 'n volle werkdag kon handhaaf nie.
- In die praktyk is dit moeilik om die water vir elke bedding op presies die regte tyd af te sny. Oordeel oor die afstand waarop daar afgesny behoort te word is subjektief, en die uitvoering van die proses hang van 'n individu af. Op Vaalharts is daar in die praktyk gemeet hoé hierdie afsnyproses kan wissel (OVH 77). Terwyl, met die rekenaar word dit telkens korrek en dieselfde gedoen en derhalwe word herhaalbare resultate gelewer.

3.4 DIE BEPLANNING VAN SIMULASIE STUDIES

Wanneer daar beplan word om gesimuleerde en gemete data met mekaar te vergelyk, is dit van groot belang om vas te stel of die metings en simulasies wel ooreenstemmende data kan oplewer. Metings en prosedures moet daarvolgens beplan word. Kruger (1998c) beskryf byvoorbeeld dat 'n besproeiing waarvan die vorderings- en afdrogingsfronte "afknyp" ideaal is wanneer daar beoog word om infiltrasies te bepaal uit

'n simulasie proses. Die rede daarvoor lê in die notering van verskillende kontaktye wat voorkom by 'n "afknyp" besproeiing. Aan die bopunt van die bedding is daar 'n volle kontaktyd, terwyl daar by die "afknyppunt" 'n kort kontaktyd is. Indien die data dan in 'n numeriese krommepassings-program gepas word, kan 'n baie meer akkurate bepaling van die dinamiese infiltrasietempo gemaak word, as wat die geval sou wees indien die kontaktyd oral bykans dieselfde sou wees. In die praktyk sou so 'n besproeiingsresultaat egter onaanvaarbaar wees.

Op 'n soortgelyke wyse moet daar vooruit beplan word hoe die data van simulasie-studies ingesamel en verwerk gaan word. In Hoofstuk 5 word die analise van vloei-energie byvoorbeeld gedoen deur simulasie op 'n 'konstante tyd' basis uit te voer vir verskillende ander insette. Die simulasie-uitset kan dan op 'n 'volume balans' basis met 'n volgende simulasie korreleer word. Sodoende kan waardes vir toedieningsdoeltreffentheid tussen die verskillende simulasies vergelyk word. Sou die simulasie op konstante lengtes gebaseer wees, sal die vergelyking van data meer kompleks wees.

3.4.1 Beperking van variasie tydens vergelykings:

Wanneer daar 'n passing van gemete en gesimuleerde data gedoen moet word, word verskeie ander maatstawwe vereis ten einde die variasie as gevolg van die getal "onmeetbare" faktore te beperk. So byvoorbeeld is die waardes van 'dinamiese infiltrasie' en 'dinamiese vloeiweerstand' nie werklik direk meetbaar nie. Deur vloeidieptes en vloeihidrograwe egter by elke nodepunt te bepaal, kan die waardes wel gekwantifiseer word. Waar hierdie studie dan spesifiek fokus op die bepaling van randwaardes, soos byvoorbeeld maksimum stroomgroottes, is dit van uiterse belang om die "basiese boustene" van die waargenome of meetbare fases beter te bestudeer

3.4.2 Beplanning van die analise van tendense om randwaardes te kan stel

Daar is soveel tendense of kenmerkende eienskappe wat afgelei kan word, dat die navorser in Hoofstukke 4 tot 6, waar spesifieke metodes vir die resente navorsing

beskryf word, ‘n onderskeid getref het tussen verskillende tendense. Vir doeleindes van die studie word onderskei tussen primêre, sekondêre en tersiêre tendense. Die oorsprong en aanwending van ‘n tendens bepaal in watter kategorie dit vir hierdie studie geplaas is.

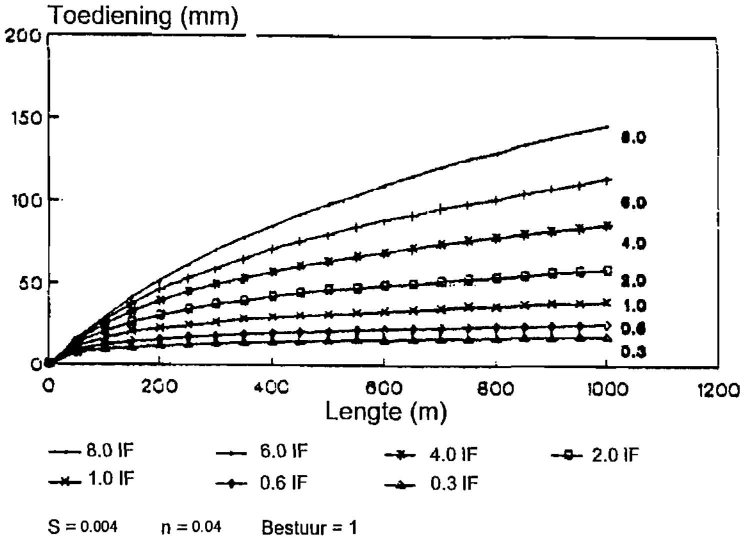
Dit is belangrik om te besef dat al die tendense oorspronklik afgelei is uit die samevoeging van resultate wat verkry is uit die kwantifisering van besproeiings-episodes (hetsy by wyse van simulasie óf eksperimentele meting.)

3.5 PROSEDURE ONTWIKKEL VIR DIE STEL VAN RANDWAARDES

Uit die ervaring wat met die WNK projek (Kruger, 1998a-e) opgedoen is, is die beplanning van ’n prosedure waarmee randwaardes gestel kon word, vir hierdie studie aangepak. Hierdie prosedure behels onder andere om resultate, soos verkry uit simulasies, as tendense (primêre, sekondêre en tersiêre tendense) te identifiseer. Voorbeelde van sulke tendense soos verkry uit data wat gegenereer is in die WNK projek, word grafies in figure 3.6, 3.7 en 3.8 voorgestel. Die tendenslyne vertoon snypunte of nodepunte. Deur telkens te fokus op die bepaling van data vir ‘n besproeiings-episode (met behulp van hidrodinamiese simulasies) by ’n nodepunt, kan die aantal simulasies aansienlik verminder word. Met behulp van hierdie gesimuleerde data vir elke nodepunt/adres, kan wiskundige of analitiese passing gedoen word, ten einde prorammeerbare oplossings vir randwaardes te kan stel.

3.5.1 Primêre tendenslyne: Eienskappe van afdrogingsfronte

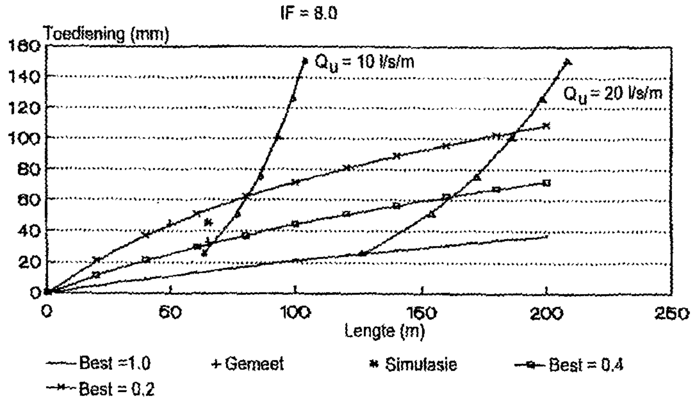
Die optimale verband tussen beddinglengte en toediening soos dit deur die OPTIVLOED-2.2 program bepaal word, is as primêre tendense gestel. Figuur 3.6 beeld hierdie tendenslyne uit vir verskillende inname families. Die waarde van die helling (*S*) is gelyk aan 0.004 en vloeiweerstand (*n*) is 0.04. Berekeninge is gedoen met die waarde vir bestuur wat gelyk gestel is aan 1.



Figuur 3.6 Grafiese voorstelling van die verband tussen beddinglengte en toediening soos bepaal uit die eienskappe van afdrogingsfronte

3.5.2 Sekondêre tendenslyne: Vloeienergie, bestuurswyse en doeltreffentheid

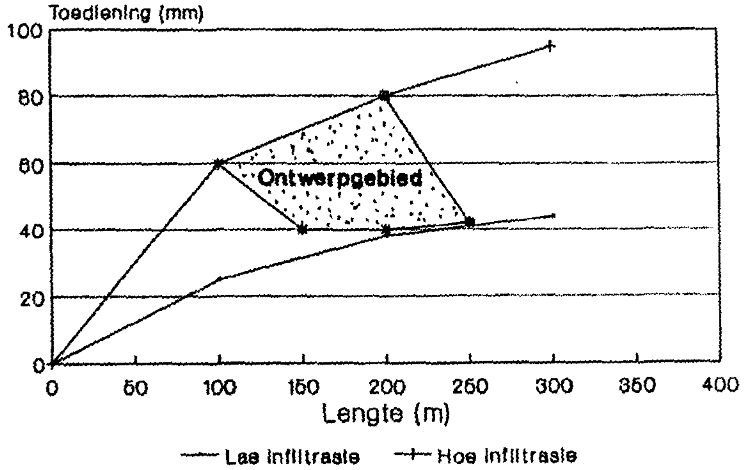
Tendense uit die analise van vloei-energie word gebruik as sekondêre tendenslyne. In figuur 3.7 word die afstand waarby die vorderingsfront vir verskillende stroomgroottes staak, voorgestel. Die tendenslyne vir die vorderingsfront, soos verkry uit OPTIVLOED-2.2, neig meer horisontaal soos lengte (afstand) toeneem, tewyl die stakingslyne vertikaal neig. Nodes (snypunte) word tussen die verskillende tendenslyne gevorm. Data word by hierdie nodes gesimuleer.



Figuur 3.7 Twee tipes tendenslyne wat by nodes sny word aangetoon.

3.5.3 Tersiêre tendenslyne: Randwaardebegrensing en afbakening van die ontwerpgebied

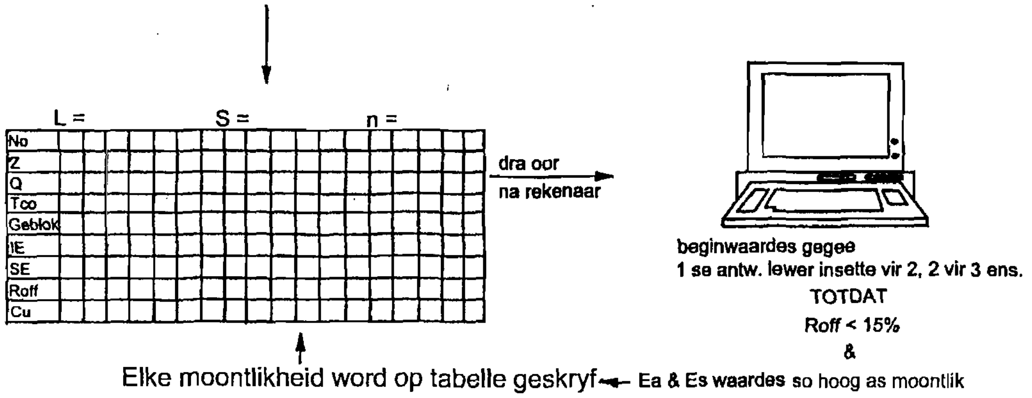
Vir hierdie studie word tersiêre tendenslyne benut om die ontwerpgebied te begrens of af te baken. Die tendenslyne word gebruik om onpraktiese, ongewensde en onsinnige ontwerpberekenings uit te wys. Daar word derhalwe, soos in figuur 3.8 aangedui, 'n ontwerpgebied afgebaken deur randwaardes te stel, waarbinne daar doeltreffend besproei kan word.



Figuur 3.8 'n Gebied of spektrum waarbinne daar teoreties doeltreffend en volhoubaar besproei kan word.

3.6 ALGEMENE PROSEDURE SOOS GEBRUIK VIR DIE SIMULASIE VAN DATA

'n Algemene prosedure is gebruik om data sinvol te simuleer. Hierdie prosedure word grafies in Figuur 3.9 uitgebeeld. Die navorser het telkens 'n aantal kombinasies van instette vasgestel en beginwaardes vir stroomgrootte en afsnytyd gebruik om 'n begin-oplossing te simuleer. Hierdie begin-oplossing is dan in 'n tabel aangeteken. Daarna is verbeterde simuleringpogings geloods deur telkens die stroomsterkte (*Q*) of die afsnytyd (T_{CO}) te verander en dan die verbeterde resultate weer eens in die tabel aan te teken.



Figuur 3.9 Grafiese voorstelling van die datagenerasie prosedure

Tydens aanvanklike simulasie is die water toegelaat om aan die onderkant van die beddings uit te vloei, aangesien dit die numeriese oplossingstegnieke aansienlik vereenvoudig. Indien konvergensie nie verkry is nie, het die navorser die tydsinterval van die berekeninge in die simulasieprogram verstel totdat daar oplossings verkry is. Simulerings is uitgevoer sodat die vorderingsfront- en die afdrogingsfrontkrommes redelik parallel aan mekaar is, en sodat aanvaarbare doeltreffendhede dus kon realiseer. Die afloop (R_{off}) is deurgaans so klein as moontlik gehou.

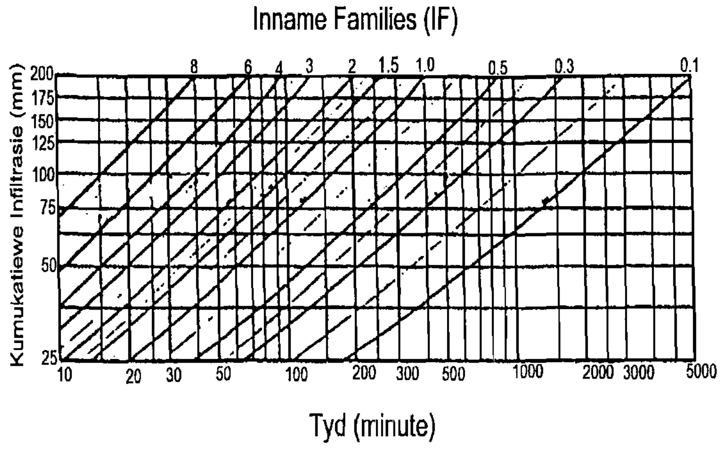
Sodra die beste kombinasie verkry is, is die verlangde watertoediening (*Z*) wat in die berekening van doeltreffendheids maatstawwe gebruik is, verstel, sodat die hoogste moontlike waardes vir beide die toedieningsdoeltreffendheid (E_a) en die

storingsdoeltreffendheid (E_S) bereken kon word. Om variasie in data te beperk, is slegs simulasies met 'n storingsdoeltreffendheid (E_S) tussen die waarde van 98% en 100%, vir hierdie studie aanvaar.

Die finale simulerings is met data vir geslote beddings uitgevoer ten einde die doeltreffendheid te maksimaliseer. In die volgende paragrawe word die insette wat in hierdie studie gebruik is en waarmee simulasies gedoen is, gegee.

3.6.1 Infiltrasienorme gebruik vir simulasies

Datastelle is met behulp van standaard infiltrasiegroepe in inname families (Figuur 3.10) gegenereer. Hierdie standaard infiltrasiegroepe is in ooreenstemming met die SCS-stelsel (1974) gekies en beskryf deur Kruger (1998b).



Figuur 3.10 Voorgestelde Infiltrasienorme van Kruger (1989).

In hierdie studie is die resultate van Figuur 3.10 verwerk en weergegee in Tabel 3.3. Die infiltrasie waardes soos gebruik vir simulasie en die stel van randwaardes word aangedui vir beide OPTIVLOED-2.2 en SIRMOD programme.

Tabel 3. 3: INFILTRASIENORME GEBRUIK VIR RANDWAARDESTELLING

	Tyd (sekondes)						
IF	0.3	0.5	1	2	4	6	8
mm							
25	4152	2387	1236	665	470	240	155
50	11808	6614	3327	1741	943	597	378
75	21983	12006	5938	3057	1631	1018	636
100	33923	18329	8956	4558	2406	1487	919
125	47569	25449	12319	6214	3252	1994	1224
150	62704	33274	15984	8005	4162	2535	1546
175	79465	41660	19959	9916	5138	3107	1884
200	97282	50695	24198	11937	6154	3704	2236

Infiltrasie waardes vir OPTIVLOED-2.2: $Z = aT^b$ (m/s)

IF	0.3	0.5	1	2	4	6	8
a	0.000102	0.000126	0.000171	0.000232	0.000314	0.000388	0.000488
b	0.66	0.68	0.7	0.72	0.74	0.76	0.78

Infiltrasie waardes vir SIRMOD: $Z = kT^a$ (mm/ minuut) met $f_0 = 0$.

IF	0.3	0.5	1	2	4	6	8
k	0.00152	0.00206	0.003	0.0044	0.0064	0.0087	0.0123
a	0.66	0.68	0.7	0.72	0.74	0.76	0.78

3.6.2 Hellings (S) gebruik vir simulasies

In Tabel 3.4 word die hellings wat gebruik is in die studie aangetoon.

Tabel 3.4: Hellings soos in die studie gebruik

Helling (S_0) m/m								
0.0125	0.01	0.0083	0.0063	0.004	0.003	0.002	0.0013	0.001

3.6.3 Gewas en vloeiweerstand (n) gebruik vir simulasies

In Tabel 3.5 word die vloeiweerstandswaardes wat gebruik is in die studie aangetoon.

Tabel 3.5: Vloeiweerstandswaardes soos in die studie gebruik

Vloeiweerstandswaardes (Manning *n*)	
Kaalgrond	n=0.04
Koring	n=0.015
Lusern	n=0.25

3.6.4 Besproeiingstoediening (*Z*) gebruik vir simulasies

In Tabel 3.6 word die besproeiingstoedienings (*Z*) in mm gegee soos dit in die studie gebruik is.

Tabel 3.6 Besproeiingstoediennings soos in die studie gebruik

Besproeiingstoedienning (*Z*) mm							
25	50	75	100	125	150	175	200

3.6.5 Beddinglengte (*L*) gebruik vir simulasies.

Tydens simulasies is maksimum beddinglengte telkens vir bepaalde toedienings en stroomgroottes, deur gebruik van die *SIRMOD* program bepaal. *In* die OPTIVLOED-2.2 program, is optimale toedienings by beddinglengtes tussen 0 en 1000m, met inkremente van 50m, bereken.

3.6.6 Grafiese voorstelling van 'n datastel

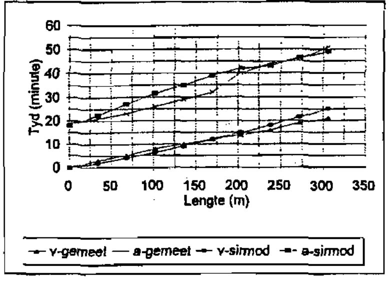
Elke datastel bestaan uit 'n kwantifisering van 'n optimale besproeiings-episode. In Figuur 3.11 word so 'n datastel vanuit Kruger (1998c) grafies voorgestel. Vir hierdie spesifieke geval is die vergelyking tussen gemete en gesimuleerde data aangetoon vir die Glen eksperiment. Die voorspellingwaarde van die SIRMOD simulasie program word as 96.77% vir die vorderingsfront en 93.21% vir die afdrogingsfront aangedui. Gemiddelde sistematiese afwyking word in minute aangedui en word relatief tot die totale kontaktyd beoordeel.

DATASTEL

NAAM: Glen eksperiment

DOEL: * Toets simulering met Sirmod-model vir voortjies soos aangepas deur Kruger (1989).
Sirmod"-aangepaste-beddingmetode (m**3/h)/m met Q= Q gemeet/ P gemeet

RESULTATE:



Infiltrasie:		IF = 2.0	Sirmod:	k = .0051	a = .73
S = 0.001					
q= 12.5 l/s/m				n = 0.05 kaal grond	
		Tyd in minute			
Pt	Bedding lengte(m)	vordering v-gemeet	afdroging a-gemeet	vordering v-sirmod	afdroging a-sirmod
1	0	0	19	0	18
2	34	3	21	2	22.5
3	68	5	23	4	27
4	102	8	26	6.3	31.5
5	136	10	29	9	35
6	170	12	32	12	39
7	204	14	40	15	42
8	238	16	44	18	43
9	272	19	46	21.5	46.5
10	306	21	51	25.1	49
11					
12					
Statistiek					
Voorspellings-waarde D-indeks				96.77%	93.21%
Sistemiese gem.afwyking RSME (minute)				1.84	3.79

Die vorderingsfrontkromme soos gesimuleer met behulp van die Sirmod-model se beddingbesproeiingsubroetine toon 'n 96.77% korrelasie met die gemete data.

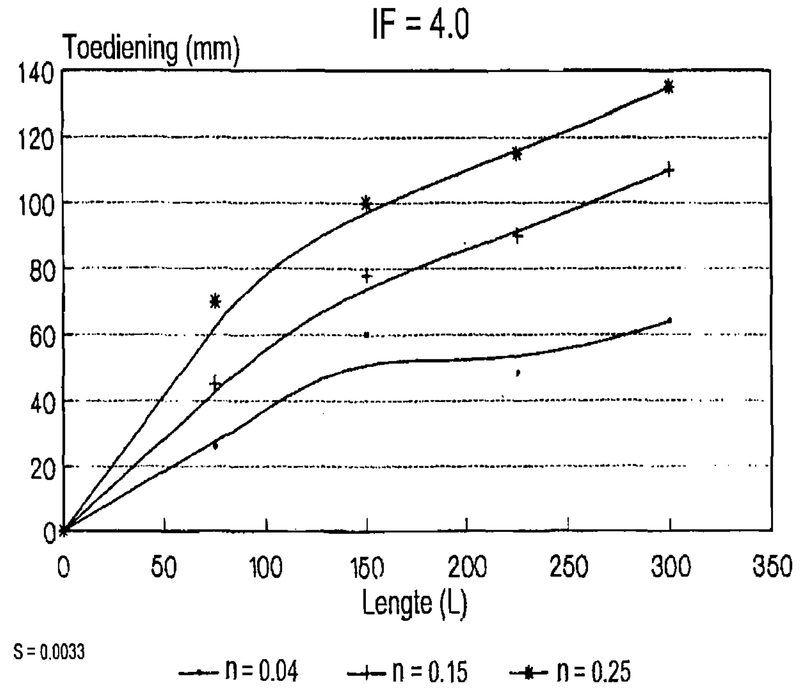
Die afdrogingsfrontkromme soos gesimuleer met behulp van die Sirmod-model se bed-dingbesproeiingsubroetine toon 'n 93.21% korrelasie met die gemete data.

GEVOLGTREKKING:
Die Sirmod-model (Walker, 1989) simuleer die voortjiebesproeiing baie goed indien die voortjie as 'n klein bedding beskou word, met 'n aangepasde stroomgrootte, soos voorgestel deur Kruger (1989).

Figuur 3.11 Grafiese voorstelling van 'n datastel

3.6.7 Ontleding van tendense

Die tendense is telkens, direk nadat die rekenaar-operateur genoeg data gegenereer het, ontleed. Figuur 3.12 toon 'n eenvoudige krommepassing van 'n aantal tipiese datastelle. Data en metode uit Kruger (1989) en (1998d).



Figuur 3.12 Krommepassing van 'n aantal gesimuleerde optimale datastelle

Vanuit Figuur 3.12 is dit duidelik dat verhoogde vloeiweerstande neig om tot groter watertoedienings te lei. Die invloed wat beddinglengte het op watertoediening word ook vir die betrokke vloeiweerstandswaardes aangedui.

3.7 ALGEMENE PROSEDURE VIR DIE SIMULASIE EN VERWERKING VAN RESULTATE

Vir hierdie studie is daar op 'n selektiewe wyse te werk gegaan om bruikbare datastelle te simuleer ten einde besproeiings-episodes te kwantifiseer. Seleksie van die besproeiings-episodes het geskied aan hand van die noodsaak om data te bekom, waarmee bepaalde tendense ondersoek kon word, soos wat in Hoofstukke 4 tot 6 beskryf word.

Die verdere aanwending en verwerking van die resulterende datastelle het in die algemeen as volg geskied:

- Datastelle is in tabelvorm aangeteken. Data is vergelyk en waar nodig gekorrigeer of gekontroleer deur hersimulasie.
- Sommige data is grafies voorgestel ten einde tendense te kon ontleed.
- Data wat uit die simulasie proses verkry is om primêre tendense vas te stel, is as nodepuntdata oorgedra na die volgende stappe waarmee sekondêre en tersiêre tendense bepaal is (meer detail hieroor in Hoofstukke 4 tot 6).

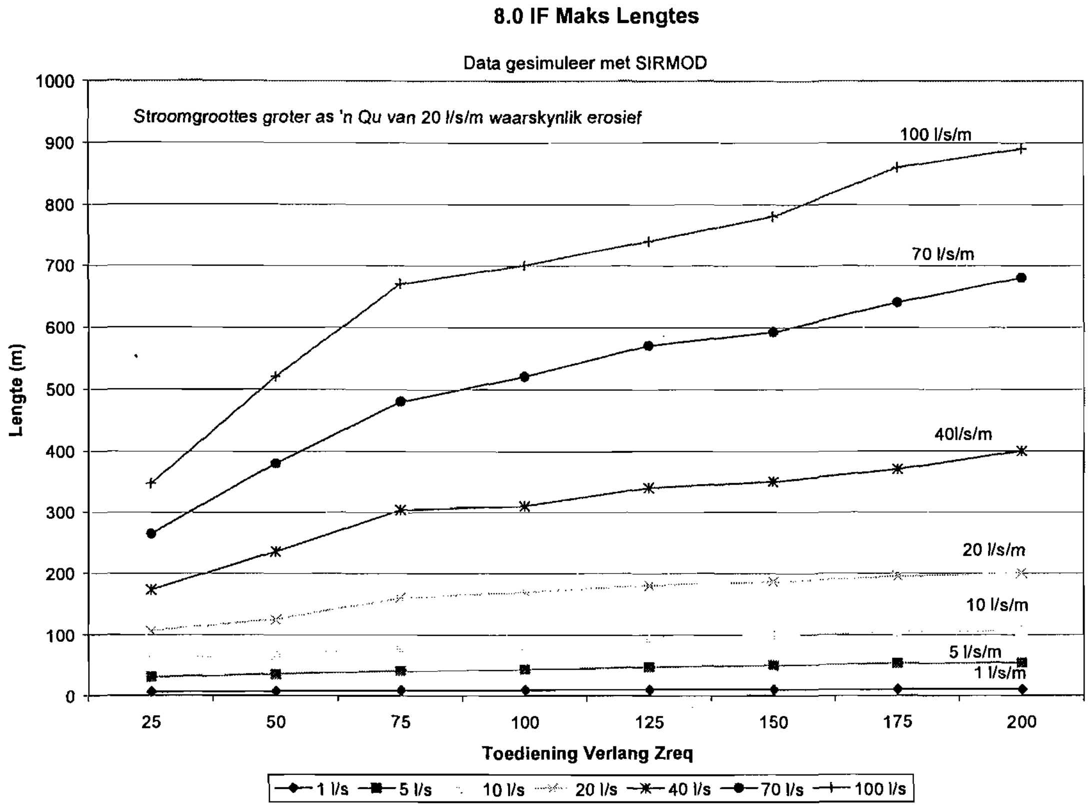
3.8 RESULTATE: DATA VAN GEKWANTIFISEERDE BESPROEIINGS-EPISODES

Vir die studie is meer as 500 datastelle met die SIRMOD hidrodinamiese simulasie model gesimuleer. 'n Enkele voorbeeld van data uit die samestelling en vergelyking van datastelle in latere hoofstukke word ter opsomming in Tabel 3.7 gegee: In hierdie tabel word resultate van simulasies van die 8.0 Infiltrasie Groep / Inname Familie verstrek. Simulasies het teen 'n helling (S) van 0.0125 m/m vir 'n kaal grond, met vloeiweerstand van 0.04 (waarde van Manning n), plaasgevind. Die eenheidstroomgroottes het gewissel vanaf *1* (l/s)/m tot die maksimum wat die SIRMOD program toelaat, naamlik 100 (l/s)/m. Simulasie is uitgevoer by die kontaktyd (T_k) wat benodig word om veelvoude van 25 mm toedienings te gee tydens 'n besproeiing. Om die prosedure te vereenvoudig is die afsnytyd (T_{co}) gekies as gelyk aan die kontaktyd. Daar is dan telkens gesimuleer om die maksimum lengte (L) van 'n geslote bedding te bepaal waarby die aanvullingdoeltreffentheid (E_s) 98% sou wees. Die tydsinterval wat die SIRMOD program gebruik, is waar nodig verstel ten einde konvergensie te verkry en om die berekeningsfout (Error %) so klein moontlik te hou. By die beste kombinasie is die maksimum lengte en toedieningsdoeltreffentheid (E_a) van die datastel aangeteken. Figuur 3.13 beeld die data van Tabel 3.7 grafies uit.

Tabel 3.7: Resultate van SIRMOD Gesimuleerde data

8.0 IF *met geslote beddings. S=0.0125; n = 0.04*

			Q_u ((l/s)/m)						
Z_{req} mm	T_{co} = *Tk* min		*1*	*5*	*10*	*20*	*40*	*70*	*100*
25	3	L (m)	7	34.6	63.1	106.3	173	264	347
		E_a %	95	96	87	74	60	52	0.48
		E_s %	98	98	98	98	98	98	98
		R_{of}	0	0	0	0	0	0	0
		Error %	2.4			6.7			18
50	6	L (m)	7	35	67	125	235	380	520
		E_a %	97	97	93	81	81	75	70
		E_s %	98	98	98	98	98	98	98
		R_{of}	0	0	0	0	0	0	0
		Error %	0.9			7.8			15
75	11	L (m)	8.5	40	80	160	303	480	670
		E_a %	96	95	90	90	86	76	74
		E_s %	98	98	98	98	98	98	98
		R_{of}	0	0	0	0	0	0	0
		Error %	0.6	0.5	3.6	3.4		8.5	7.4
100	15	L (m)	9.1	43	85	170	310	520	700
		E_a %	98	95	94	94	86	82	77
		E_s %	98	98	98	98	98	98	98
		R_{of}	0	0	0	0	0	0	0
		Error %			1.8	2	5.6		7.7
125	20	L (m)	9.5	47	93	180	340	570	740
		E_a %	99	98	97	94	85	84	77
		E_s %	98	98	98	98	98	98	98
		R_{of}	0	0	0	0	0	0	0
		Error %	1.25			3.1			9.5
150	26	L (m)	9.7	50	100	186	350	592	780
		E_a %	99	99	96	90	84	81	76
		E_s %	98	98	98	98	98	98	98
		R_{of}	0	0	0	0	0	0	0
		Error %	2.15				2.8		6.5
175	31	L (m)	9.8	53	104	195	370	640	860
		E_a %	92	99	99	91	86.5	85	80
		E_s %	98	98	98	98	98	98	98
		R_{of}	0	0	0	0	0	0	0
		Error %	0.6			2.3			3.6
200	37	L (m)	9.9	54	107	200	400	680	890
		E_a %	88	97	96	90	90	89	80
		E_s %	98	98	98	98	98	98	98
		R_{of}	0	0	0	0	0	0	0
		Error %	1.8			3.9			5.6



Figuur 3.13 'n Voorbeeld van die passing van gesimuleerde data

Uit Figuur 3.13 kan die verband tussen stroomgrootte, maksimum beddinglengte en toediening afgelei word. Dit is duidelik dat 'n toename in stroomgroote telkens 'n toename in maksimum beddinglengte teweeg bring. Dit is verder duidelik dat 'n verhoging in die verlangde toediening (Z_{req}) lei tot die moontlikheid om 'n langer bedding met dieselfde stroomgrootte te besproei.

Uit Figuur 3.13 is dit verder duidelik dat die onegalige toename in tendenslyne (byvoorbeeld die 40 l/s lyn) dui op die tipiese operateursfoute wat tydens simulasie gemaak word. Die rekenaar-operateur het waarskynlik nie al die moontlike kombinasies ondersoek nie. Paragraaf 3.4.1 van hierdie hoofstuk bespreek juis die tegnieke om beperking van variasie in data te verkry. In die geval van Figuur 3.13, is daar juis reeds maatreëls toegepas om variasies te beperk.

In die volgende hoofstukke word die aanwending van besproeiingsepisode-data bespreek. Daar word eienskappe of tendense afgelei vanaf besproeiingsepisode-data wat in optimale ontwerp gebruik kan word.

HOOFSTUK 4

DIE EIENSKAPPE VAN AFDROGINGSFRONTE IN OPTIMALE ONTWERP.

4.1 INLEIDING

Verskeie navorsers het gevind dat afdrogingsfronte bepaalde tendense toon (Merriam, 1978; Du Rand, *et al.,* 1985; Kruger, 1986 en 1998c). Die ontleding en beskrywing in hierdie hoofstuk is met vergunning ontleen aan die beskrywing van die navorsing wat die navorser vir die WNK gedoen het (Kruger 1998a-d). Die navorsing vir die WNK is onder uitdruklike voorwaarde dat gedeeltes later vir akademiese doeleindes aangebied sal word, uitgevoer.

In hierdie hoofstuk word die eienskappe van afdrogingsfronte soos bewys tydens die ontwikkeling van die OPTIVLOED-2.2 program, gebruik om geldige primêre tendenslyne vir optimale vloedbesproeiing daar te stel. Die resultate word in tabelvorm aan die einde van hierdie hoofstuk weergegee. Hierdie primêre tendenslyne word aangewend om randwaardes vir hierdie reeds bewese afdrogingsfronteienskappe daar te stel (Hooftukke 5 en 6). Die wiskundige beredenering en agtergrond tot die gebruik van afdrogingsfronteienskappe, soos in OPTIVLOED-2.2 vervat, word gevolglik hier bespreek.

4.2 ONTWIKKELING VAN DIE OPTIVLOED MODEL

Kruger (1986) het gevind dat waargenome tendense in die eienskappe van afdrogingsfronte ontleed kan word. 'n Wetenskaplike ontleding (Kruger, 1998d) 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:

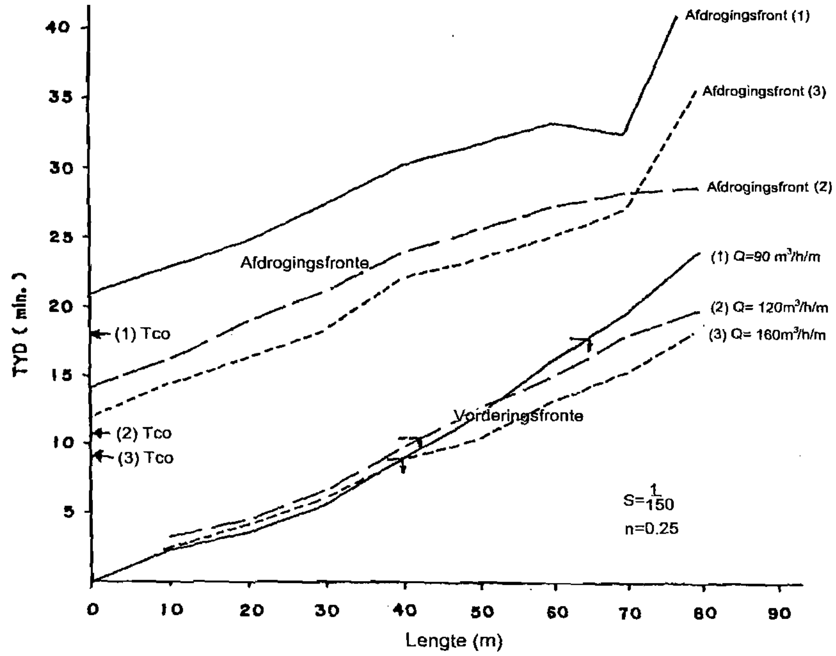
- Die waargenome tendense wat vanaf gemete data verkry is, word in paragraaf 4.3 aangetoon en bespreek.

- Hierdie waargenome tendense is aan die hand van studies oor simuleringsmodelle ondersoek.
- Die resultate van hierdie studies word in paragrawe 4.4 en 4.5 van hierdie hoofstuk bespreek.
- In dié betrokke paragrawe word bewys dat die waargenome tendense ook as eienskappe van die stelsels gesien kan word.
- Hierdie eienskappe word in paragraaf 4.6 wiskundig ontleed om die waargenome tendense te staaf.
- In paragraaf 4.7 word aangetoon hoedat hierdie eienskappe by die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels aangewend kan word.
- In paragraaf 4.8 word die metode waarmee die resultate bereken is aangedui.

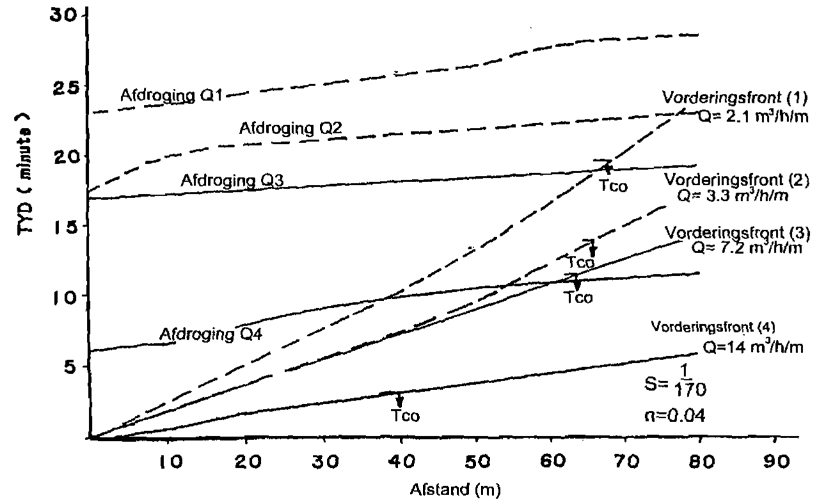
4.3 WAARGENOME TENDENSE UIT DATA WAT IN DIE PRAKTYK GEMEET IS

Figure 4.1 en 4.2 toon 'n grafiese voorstelling van waargenome tendense wat verkry is tydens die uitvoering van die OVH 77-projek en 'n voortjiebesproeiingsprojek wat by Vaalharts gedurende 1982 tot 1984 gedoen is.

Figuur 4.1 toon die resultate van vorderings- en afdrogingsfrontkrommes wat by beddingbesproeiing op koring gemeet is. Stroomgroottes het tussen 90 en 165 $(m^3/h)/m$ op 'n bedding met 'n ses meter wydte gewissel (lengte en helling word op die grafiek aangetoon). Vanuit hierdie resultate blyk dit 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 4.1 Vorderingsfronte vir besproeiing van beddings te Vaalharts (Gewas: koring)



Figuur 4.2 Vorderingsfronte vir voortjiebesproeiing te Vaalharts. (Gewas: rissies)

Figuur 4.2 toon 'n baie groter variasie in stroomgrootte [wissel tussen 2,1 en 14 (m^3/h)/m)]. Die wydte van die vore was 0.4m. 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.

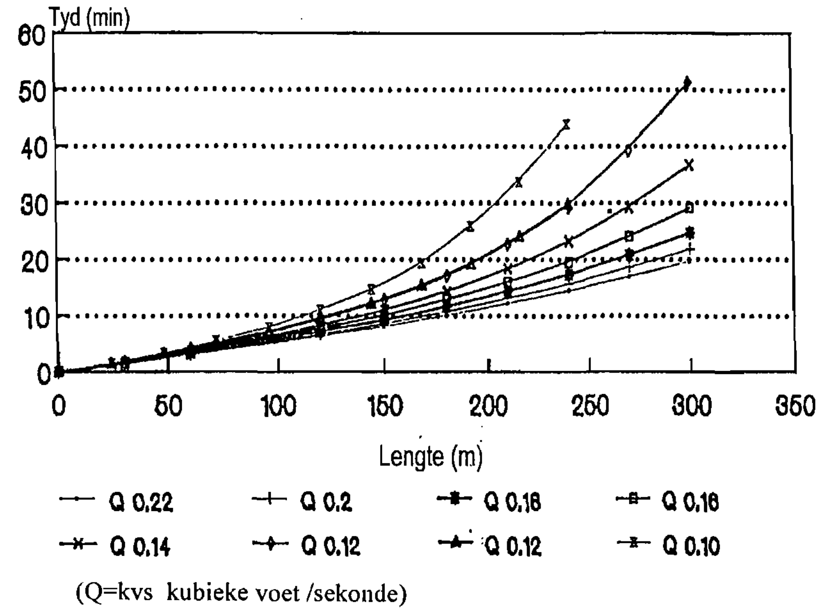
In die geval van die grootste stroomgrootte [14 (m^3/h)/m], verloop die vorderings- en afdrogingsfrontkrommes feitlik parallel aan mekaar. Die bo- en onderpunt van die voortjie ontvang dus min of meer ewe veel water. Figuur 4.2 toon dat, in die geval van die kleinste stroomgrootte [2,1 (m^3/h)/m], meer 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 dienooreenkomstig verleng of verkort sou word. Hierdie waarnemings is gedoen in navorsing wat gedurende 1982 en 1983 uitgevoer is en het gelei tot die formulering van die sogenaamde 'Afdrogingsfrontgradiënt-model' van Kruger (1986).

4.4 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 4.3 word getoon hoedat die vorderingsfrontkrommes vir 'n tipiese Vaalhartsgrond met 'n 4,0 inname familie (IF) daar uitsien indien dit met verskillende stroomgroottes vloedbesproei sou word (Manning n gelyk aan 0,04, en 'n helling [*S]* van 0,01m/m). Daar is weereens gevind dat vorderingsfronte stadiger vorder indien die stroomgroottes verklein word.

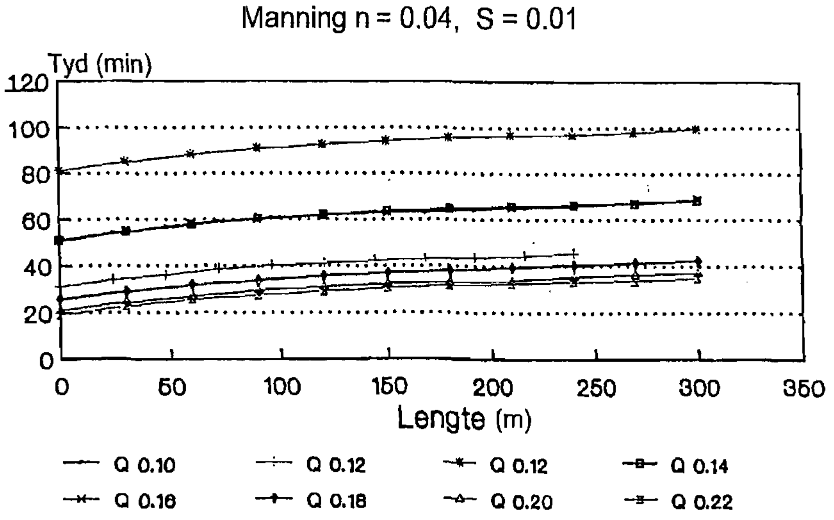


Figuur 4.3 Vorderingsfrontkrommes wat vir oop beddings met behulp van die Borderflow-simuleringsmodel van Strelkoff (1985) verkry is.

Figuur 4.4 toon die ooreenstemmende afdrogingsfrontkrommes vir beddings van verskillende lengtes indien uitvloei aan die onderpunte van elke bedding toegelaat word. Verskillende afsnytye is gebruik. Die afdrogingsfrontkrommes neig parallel.

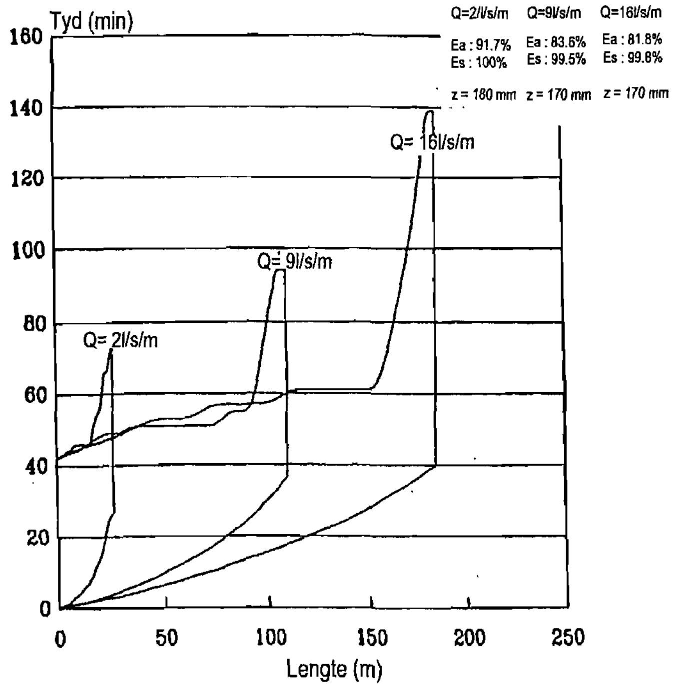
In Figuur 4.5 word beddings met geslote onderpunte uitgebeeld. Die resultate toon weereens dat, in die geval van beddings met geslote onderpunte, die afdrogingsfronte parallel neig.

Die afdrogingsfrontkrommes in Figuur 4.5 is op 'n grond met 'n inname-familie (IF) van 8,0 en 'n helling (*S*) van 0,01m/m. 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 weereens parallel, maar het skerp opwaarts geswaai wanneer oppervlakstoring aan die onderpunt van die geslote bedding voorgekom het.



(Q=kvs kubieke voet /sekonde)

Figuur 4.4 Afdrogingsfrontkrommes vir oop beddings met behulp van die Borderflow-simuleringsmodel van Strelkoff (1985)



Figuur 4.5 Vorderings- en afdrogingsfrontkrommes vir geslote beddings met behulp van die SIRMOD-simuleringsmodel van Walker (1989) IF = 8; $S_0 = 0.01$

4.5 DIE INVLOED VAN VERSKILLENDE FAKTORE OP DIE AFDROOGEIENSKAPPE

Beide simuleringmodelle is gebruik om die afdrogingsfront-eienskappe te ondersoek. Figure 4.6 tot 4.9 toon die voorspelde afdrogingsfrontdata wat met verskillende stroomgroottes, infiltrasietempo's, hellings en vloeiweerstandswaardes verkry is. Enkele data wat gemeet is, word ook getoon. Vervolgens word die invloed wat verskeie faktore het op die eienskappe van die afdrogingsfront, bespreek.

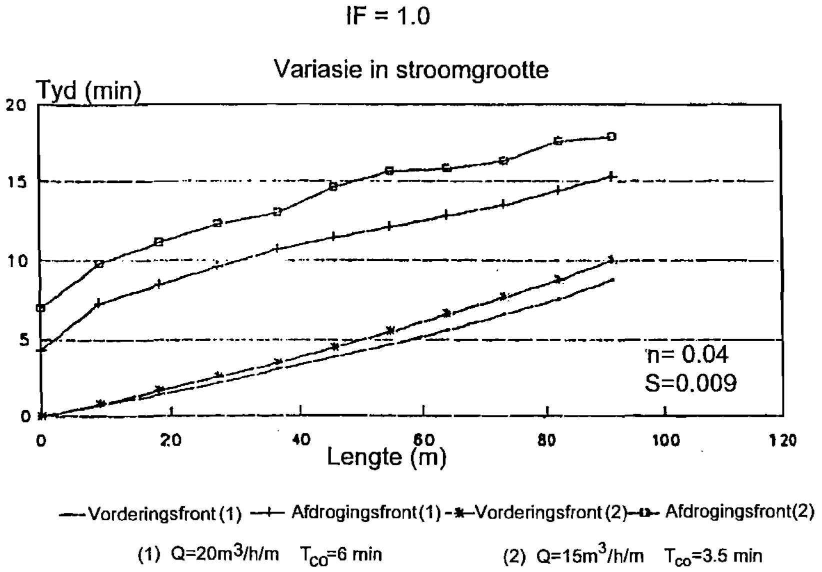
4.5.1 Die invloed van stroomgrootte

Figuur 4.6 toon dat 'n kleiner stroomgrootte 'n groter watertoediening tot gevolg het. Die afdrogingsfronte bly egter steeds redelik parallel.

Figure 4.7 en 4.8 toon die invloed wat stroomgrootte het op 'n grond met 'n ultrahoë infiltrasie. Die resultate is met sojabone op besproeide voortjies verkry. In hierdie geval was die helling (S)=0,0065m/m. 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.

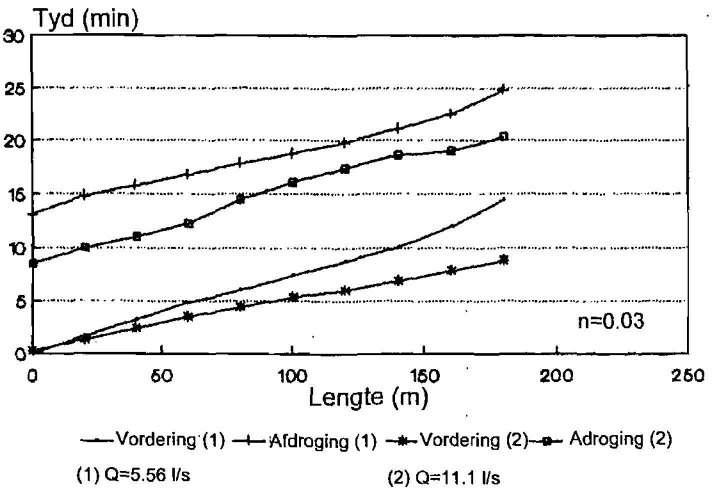
Die stroomgrootte van 11,1 (l/s)/m (Figure 4.7 en 4.8) was effens te groot, met die gevolg dat daar 'n mate van divergensie tussen die vorderings- en afdrogingsfronte voorgekom het namate langer voortjielengtes gebruik is. Die 5,56 (l/s)/m stroomgrootte was weer effens te klein, met die gevolg dat konvergensie 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.



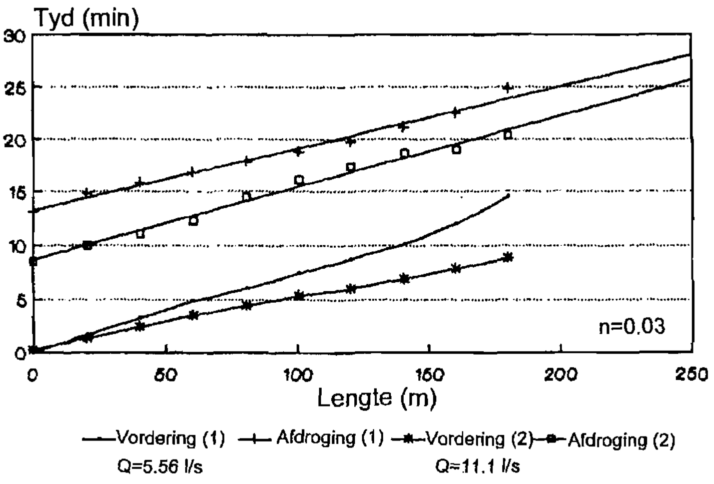
Figuur 4.6 Die invloed van stroomgrootte op die afdrogingsfrontkrommes.

Vanuit al hierdie resultate blyk dit duidelik dat die afdrogingsfrontgradiënte 'n bepaalde tendens toon wat nie deur stroomgroottes beïnvloed word nie. Hierdie tendens van parallelle afdrogingsfronte word soms versluier deurdat data vervorm word waar swakker afgewerkte hellings voorkom soos aangetoon in Figure 4.7 en 4.8.

In die geval van die 5,56 (l/s)/m toedieningstempo in Figuur 4.8, 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.



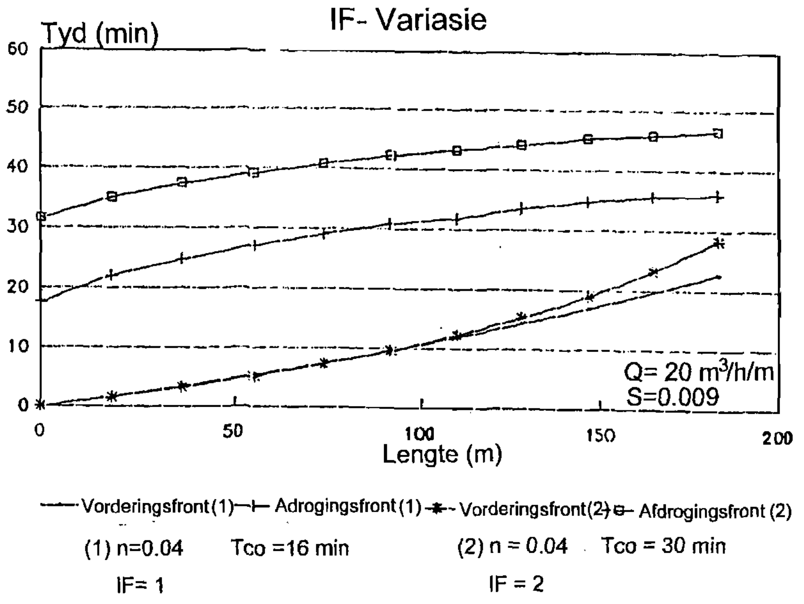
Figuur 4.7 Die invloed van stroomgrootte op 'n grond met 'n ultrahoë infiltrasie. (voortjies; kaalgrond)



Figuur 4.8 Tendenslyne soos verkry uit data vir die afdrogingsfront soos gegee in Figuur 4.7 (voortjies;kaalgrond)

4.5.2 Die invloed van infiltrasie

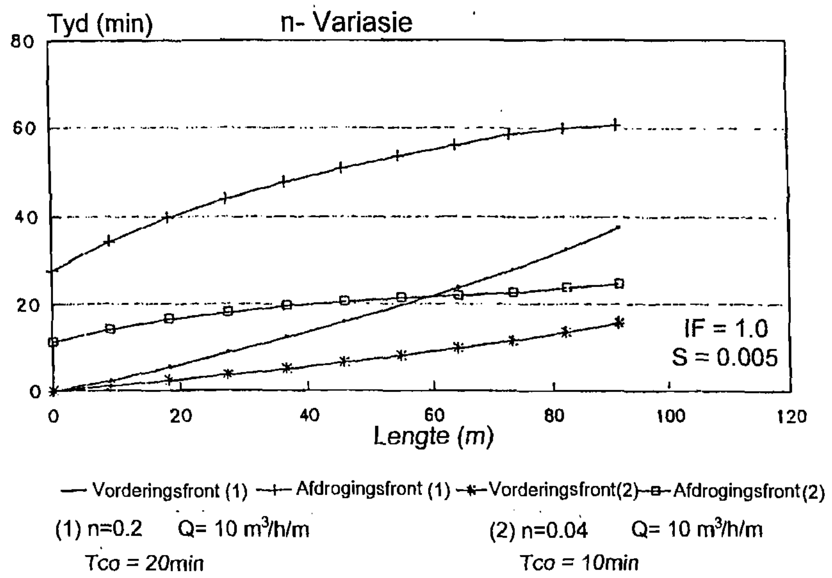
Figuur 4.9 toon duidelik dat die infiltrasie-eienskappe 'n groot invloed op watertoedienings kan hê. (By 'n verandering in die inname-familie vanaf 1,0 tot 2,0, verdubbel die toediening). Die afdrogingsfront se gradiënt is meer afgeplat by die hoër infiltrasietempo in vergelyking met die laer infiltrasietempo.



Figuur 4.9 Die invloed van infiltrasie-eienskappe op die afdrogingsfrontkrommes.

4.5.3 Die invloed van vloeiweerstand

Figuur 4.10 toon die invloed van vloeiweerstand 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 vloeiweerstand beïnvloed nie.



Figuur 4.10 Die invloed van vloeiweerstand op die afdrogingsfrontkrommes.

Figuur 4.10 toon hoedat die gradiënt van die vorderings- en afdrogingsfrontkrommes deur die vloeiweerstand beïnvloed word.

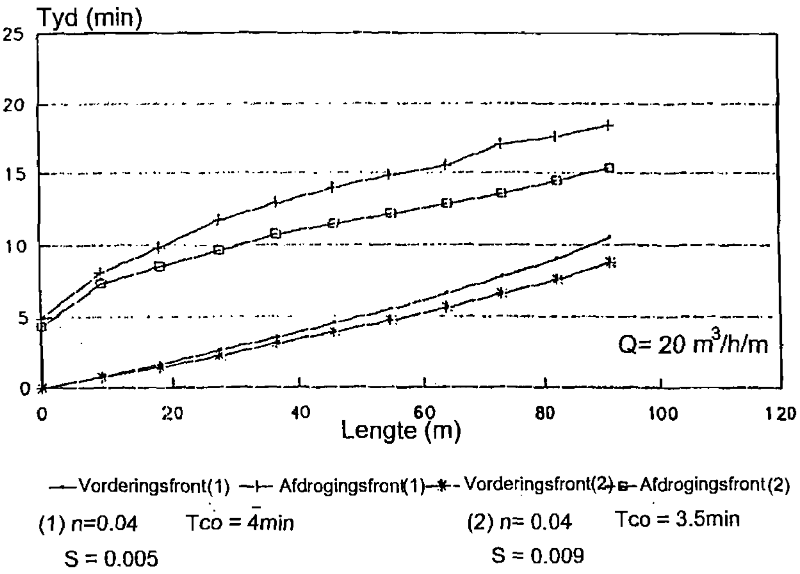
Vir konstante stroomgroottes verdubbel die vorderings- en afdrogingstye wanneer die vloeiweerstand vanaf 0,04 (kaal grond) tot 0,2 ('n grond met 'n digte kleingraanbedekking) toeneem. Gevolglik begin die afdrogingsfront veel later, en toon dit ook 'n ander gradiënt.

Strelkoff en Katapodes (1977) het gevind dat die waterverspreiding en dus haalbare besproeiingsdoeltreffendheid min deur bogenoemde veranderings beïnvloed word. 'n Groter toediening vind egter by hoër vloeiweerstande plaas. In die praktyk kan hierdie eienskap benut word om groter toedienings te verseker namate die gewas groei en sy vloeiweerstand verhoog. Daar kan ook beter by die skeduleringsbehoeftes van 'n gewas aangepas word indien die vloeiweerstand kunsmatig gemanipuleer word by 'n vaste uitleg waarbinne sekere wisselbou-

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

4.5.4 Die invloed van helling

Die invloed van 'n verandering in helling (Figuur 4.11) stem tot 'n groot mate ooreen met die invloed van verandering in vloeiweerstand (Figuur 4.10)

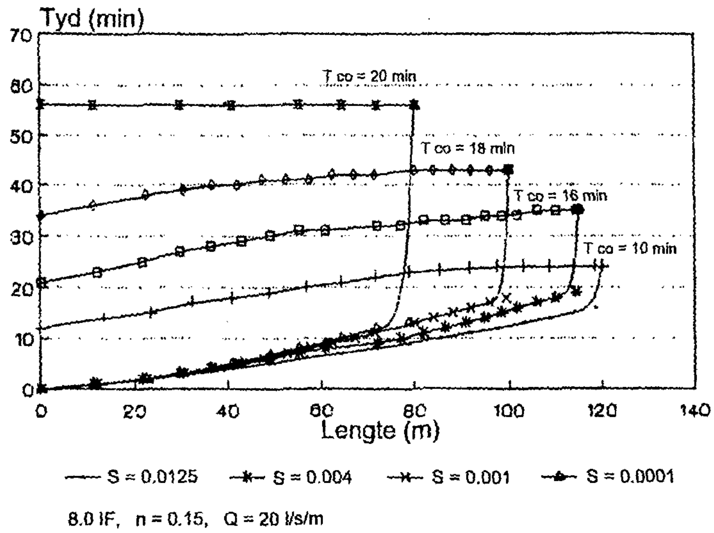


Figuur 4.11 Die invloed van helling op die vorderings- en afdrogingsfrontkrommes.

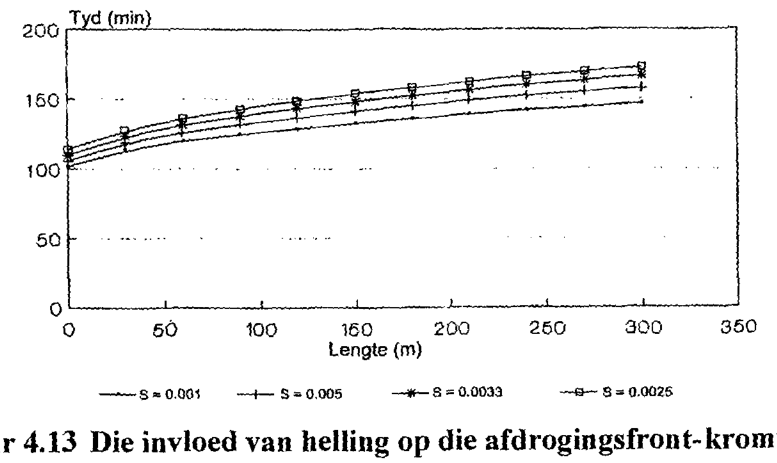
Beide die vorderings- en afdrogingsfront-krommes word beïnvloed (Figuur 4.12 en Figuur 4.13). Indien die helling vanaf 0,005m/m na 0,009m/m verhoog, sal die water vinniger na die onderpunt van die bedding beweeg. Die stroom sal gevolglik gouer afgesny word en die afdrogingsfront sal gouer begin. Hierdeur 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 4.12 wat voorkom

by 'n helling van S=0.0001m/m, teenoor die res van die afdrogingsfrontkrommes in die grafiek.



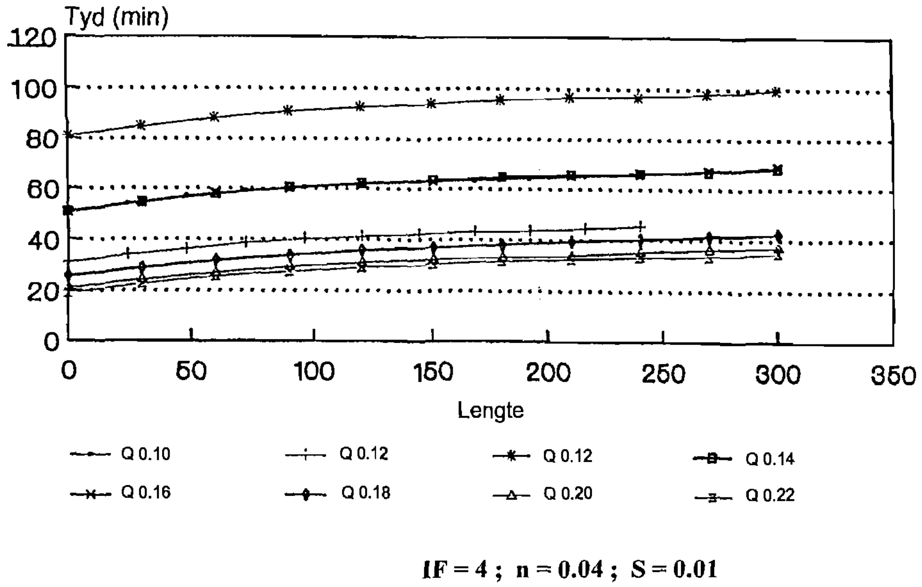
Figuur 4.12 **Die invloed van helling op afdrogingskrommes van gronde met 'n ultra-hoë infiltrasie.**



Figuur 4.13 Die invloed van helling op die afdrogingsfront-krommes Manning n = 0.15

4.5.5 Die invloed van beddinglengte

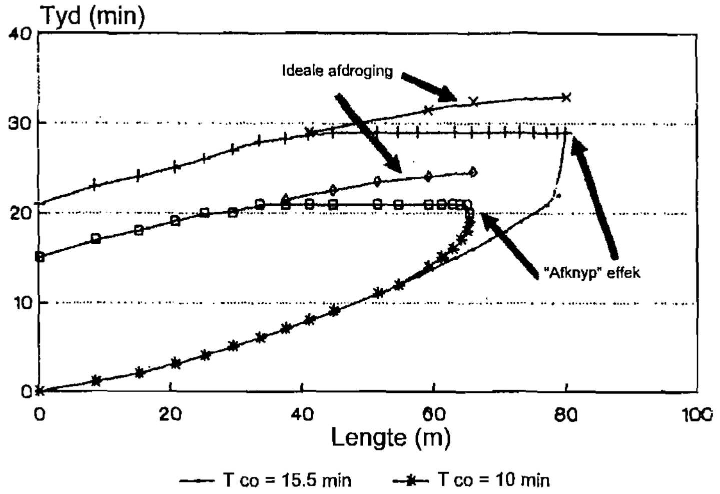
Soos in Figuur 4.14 aangetoon, plat die hellings van die afdrogingsfronte af namate beddinglengte toeneem (sommige krommes oorvleul as gevolg van eenderse afsnytye). In die geval van Q=0.12 (kubieke voet/s)/m is daar twee afsny tye gebruik in simulasies met die BORDERFLOW-model. Tenspyte van die tydverloop vertoon die verskillende afdrogingsfrontkrommes 'n paralelle tendens wat afplat met toename in lengte.



Figuur 4.14 **Die invloed van beddinglengte op afdrogingsfronte by verskillende stroomgroottes.**

4.5.6 Die invloed van afsnytyd

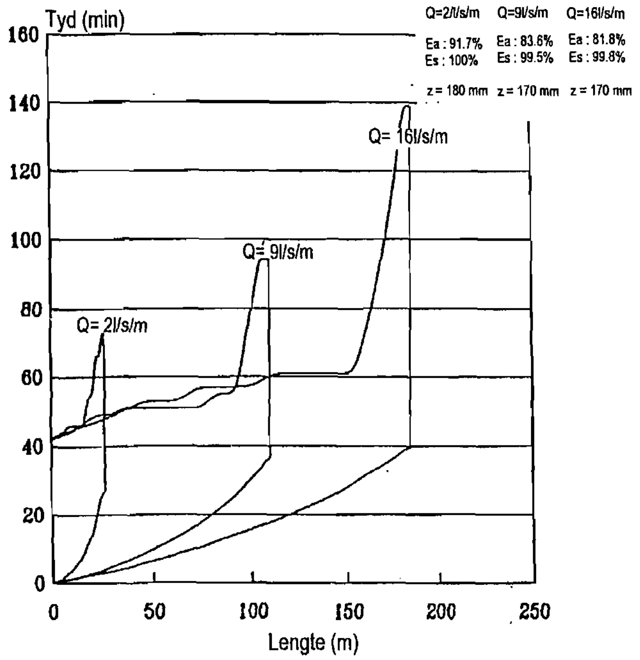
Een van die aannames van die afdrogingsfront-gradiënt-teorie (Kruger, 1986) is dat genoeg water op 'n bedding toegedien moet word om dit oor die volle lengte te benat. Figuur 4.15 toon hoedat 'n afsnytyd wat te kort gekies is, kan veroorsaak dat die afdrogingsfront "afknyp". Die afdrogings-front-eienskappe word gehandhaaf tot op die punt waar daar onvoldoende water is. Die infiltrasietempo oorskry dan die water se wegvloeitempo. Gevolglik word 'n min of meer horisontale of selfs negatiewe gradiënt van die afdrogingsfront aangetref.



Figuur 4.15 **Die invloed van afsnytyd op die vorderings- en afdrogingsfrontkrommes.**

4.5.7 *Die invloed van geslote beddings*

In Figuur 4.16 word die verwagte afdrogingsfront vir 'n bepaalde stroomgrootte en beddinglengte in 'n geslote bedding aangetoon.



Figuur 4.16 **Die invloed van geslote beddings op die afdrogingsfront by verskillende stroomgroottes en beddinglengtes. IF = 8.0.**

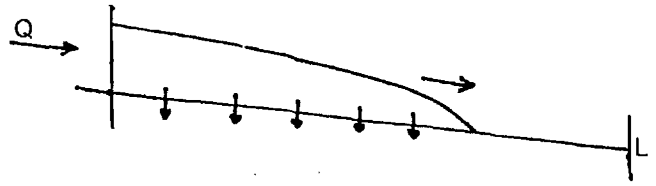
Sodra die geslote end van die bedding bereik word, vind opdamming plaas. Die afdrogingsfront vertoon 'n skerp opwaartse neiging weens die stadige infiltrasietempo van die opgedamde water (die wegvloeiterm in die volumebalans-vergelyking is dan gelyk aan nul).

4.6 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:

4.6.1 Die Vorderingsfase:

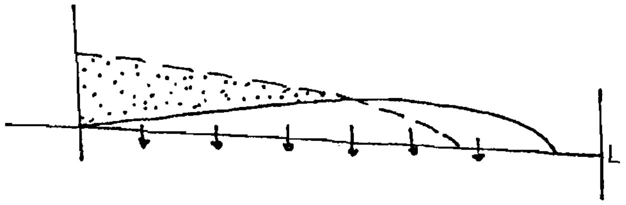
Water vloei by die bopunt van die bedding in en 'n benattingsfront beweeg stadig in die bedding af.



Figuur 4.17 **Skematiese voorstelling van die beweging van water tydens die vorderingsfase.**

4.6.2 Die Wegdreiningsfase ("Depletion Phase")

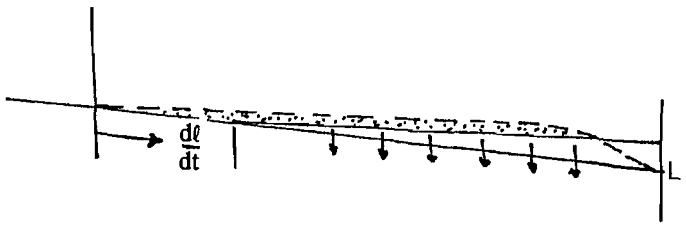
Tussen vorderings- en afdrogingsfront kom 'n fase voor waar die helling van die water se oppervlak aan die bopunt van die bedding verander (afneem). Gedurende die tydsverloop of vertraging wat voorkom vandat die watertoevoer afgesny is totdat die resessie nét begin (genoem T_{Lag}) moet water in die gearseerde profiel deur infiltrasie wegdreineer en afloop soos Figuur 4.18 aangedui.



Figuur 4.18 **Skematiese voorstelling van die beweging van water tydens die wegdreineringsfase.**

4.6.3 Die Resessiefase

Sodra die resessiefase begin, begin die waargenome afdrogingsfront beweeg, dit wil sê die bopunt van die bedding begin afdroog soos voorgestel in Figuur 4.19.

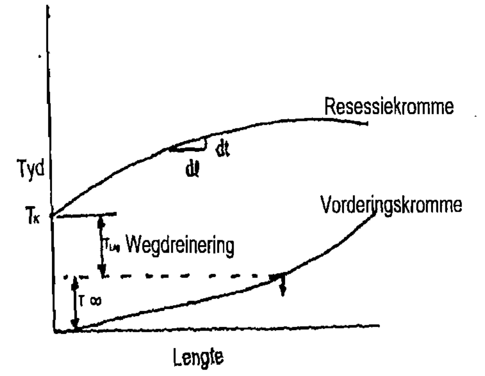


Figuur 4.19 **Skematiese voorstelling van die beweging van water tydens die resessiefase**

Onder Suid-Afrikaanse toestande word 'n dinamiese golfprofiel tydens die resessiefase verkry, soos in Figuur 4.19 aangetoon. Die tempo waarteen die resessiefase plaasvind [dit wil sê die gradiënt van die afdrogingsfront ($\frac{d\ell}{dt}$)] 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 4.20):



Figuur 4.20 Voorstelling van die gradiënt van die afdrogingsfront ($\frac{d\ell}{dt}$)

4.6.4 Wiskundige beskrywing/ontleding van afdrogingsfronteienskappe

Vervolgens word die situasie tydens resessie of afdroging van naderby beskou: Die Saint Venant-vloeivergelykings geld (Chow,1959).

A. Massabehoud (kontinuïteitsvergelyking):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} + I_x = 0 \qquad \text{-----------(4.1)}$$

B. Energiebehoud (bewegingsvergelyking):

$$\frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g}\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f + \frac{I_x V}{2_g A} \qquad \text{-----------(4.2)}$$

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 die

bewegingsvergelyking (vergelyking 4.2) mekaar uit, aangesien die verandering in versnelling weglaatbaar klein is. Hul stel die sogenaamde "Zero Inertia" benadering voor waardeur hierdie vergelyking (4.2) soos volg vereenvoudig word:

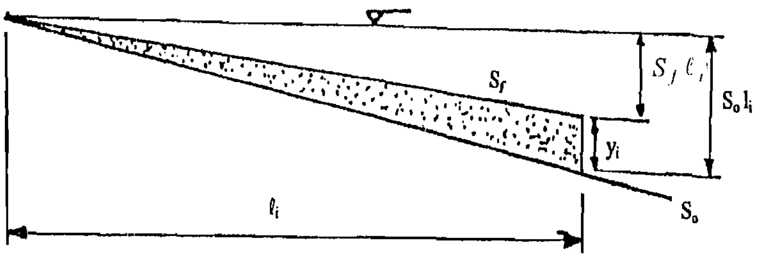
C. Momentumlose ("Zero Intertia") bewegingsvergelyking:

$\frac{\partial y}{\partial x} = S_o - S_f$ ------(Strelkoff en Katapodes, 1977) ------------------(4.3)

Soos in Hoofstukke 2 en 3 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 dwarssnit van 'n tipiese resessieprofiel tydens vloedbesproeiing ontleed. In Figuur 4.21 word 'n dwarssnit van die tipiese golfprofiel wat tydens die resessiefase van vloedbesproeiing voorkom aangetoon.



Figuur 4.21 Voorstelling van die wiskundig ontleedbare resessiefase in vloedbesproeiing

Aanames wat gemaak word vir die ontleding van die profiel in Figuur 4.21:

1. Die oppervlakhelling van die driehoekige profiel kan aan die begin van die resessiefase deur 'n reguit lyn met helling S_f benader word. Voorts word aangeneem dat die driehoekige profiel van die oppervlak water tydens 'n groot gedeelte van die resessiefase, bestendig sal bly.
2. Vir beddingbesproeiing word 'n konstante wydte aanvaar, en slegs 'n tweedimensionele situasie word dus beskou.
3. Vir voortjiebesproeiing word 'n bedding met aangepaste eenheid stroomgrootte aanvaar (Kruger, 1998).

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

$$\frac{dQ}{dx}+\frac{dA}{dt}+I_x=0 \qquad \text{------------(4.4)}$$

EN

$$\frac{dy}{dx}=S_o-S_f \qquad \text{------------(4.5)}$$

Integreer vergelyking (4.4) tussen ℓ_0 en ℓ_i

$$\int_o^i\left(\frac{dQ}{dx}+\frac{dA}{dt}+I_x\right)dx=0 \qquad \text{------------(4.6)}$$

Daarom ook:

$$Q_{uitvloei}+\frac{dV}{dt}+q_{\inf}=0 \qquad \text{------------(4.7)}$$

(waar V = volume van driehoekprofiel).

Of in woorde beskryf:

A		B		C	
Verby-vloei tempo by ℓ_i	+	Volumeverandering van die driehoekige profiel (bogronds)	+	Infiltreerde volume water onder die driehoekige oppervlakprofiel per eenheidtyd	= 0

Beskou weer die driehoekige profiel soos voorgestel in Figuur 4.21, dan volg die **Analise vir beddingbesproeiing** soos volg:

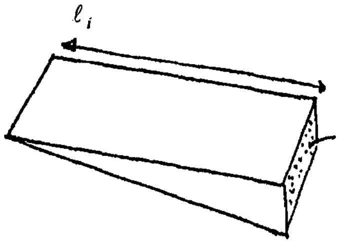
- <u>Verby-vloei-vergelyking vir beddings</u> (A van vergelyking 4.7)
  (Manning-tipe verband vir vloeiweerstand)

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

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

$$= y_i^{5/3}\frac{\sqrt{S_f}}{n} \qquad \text{---(4.8)}$$

- <u>Volumevergelyking vir beddings</u> (B van vergelyking 4.7)



$\rightarrow A_i = 1 \times y_i = y_i$

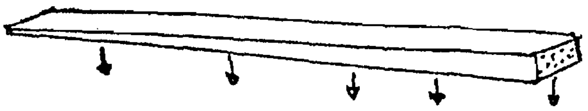
(per eenheidswydte)

Figuur 4.22 Driedimensionele voorstelling van die volume water bo die grond

$$\text{Volume} = \tfrac{1}{2}\ell_i A_i$$

$$= \tfrac{1}{2}\ell_i y_i \qquad \text{---(4.9)}$$

- <u>Infiltrasie vergelyking vir beddings:</u> (C van vergelyking 4.7)



Figuur 4.23 Driedimensionele voorstelling van die volume water bogronds en die infiltrasie wat plaasvind

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

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

$= I_{res} \ell_i$ --------------------------------(4.10)

Indien vergelyking **4.7** herrangskik word, is:

$$\frac{dV}{dt} = -q_{\inf iltrasie} - Q_{uitvloei} \qquad \text{(4.11)}$$

Die waarde van die bogrondse volume kan vanaf vergelyking **4.9** in bogenoemde (4.11) vergelyking vervang word:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d\left(\frac{1}{2}\ell_i y_i\right)}{dt} = -q_{\inf iltrsie} - Q_{uitvloei} \qquad \text{(4.12)}$$

vanuit vergelyking **4.5** 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:

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

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

Differensieër die vergelyking:

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

$$\frac{d\ell}{dt}\Big/_i = -\frac{q_{\inf}}{\ell_i S_y} - \frac{Q_{uitvloei}}{\ell_i S_y} \quad \text{---(4.13)}$$

Vervang q_{inf} en $Q_{uitvloei}$ uit vergelykings (4.8) en (4.10) in vergelyking 4.13

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

maar:

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

dus:

$$\frac{d\ell}{dt} = -\frac{I_{res}\ell_i}{y_i} - y_i^{2/3}\frac{\sqrt{S_f}}{n} \quad \text{---(4.14)}$$

Anders gestel:

$$\frac{d\ell}{dt} = -\frac{q_{\inf}}{y_i} - y_i^{2/3}\frac{\sqrt{S_f}}{n} \quad \text{---(4.15)}$$

4.7 TOEPASSING VAN AFDROGINGSFRONTEIENSKAPPE IN DIE OPTIMALE ONTWERP VAN BEDDINGS EN VOORTJIES TEEN VERSKILLENDE HELLINGS

4.7.1 Ontwerp-oogmerke

In **Hoofstuk 2** (paragraaf 2.5) word die ontwerpoogmerke vir 'n vloedbesproeiingsstelsel bespreek. Dit word vervolgens kortliks opgesom:

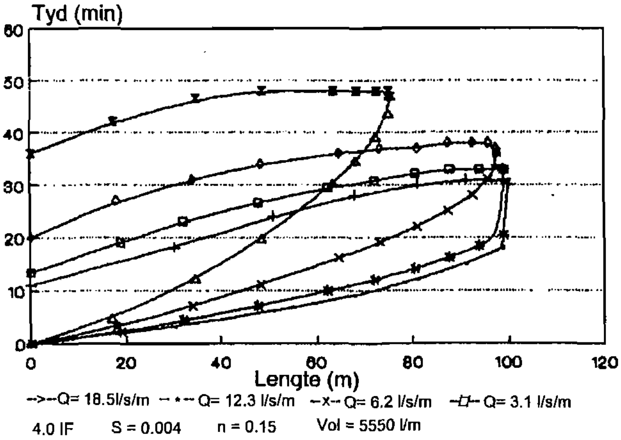
1. Toediening van genoeg besproeiingswater om die wortelsone oor die hele bedding tot 'n aanvaarde vlak te benat.
2. Die verlangde toediening moet so doeltreffend as moontlik geskied.
3. Die bruto aanvulling moet so egalig as moontlik in die wortelsone, oor die totale lengte van die bedding, versprei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

4.7.2 Bereiking van die ontwerpoogmerke tydens besproeiing

'n Groot aantal metings (vergelyk paragraaf 4.3 en Figuur 4.2) asook etlike duisende simulerings het aangetoon dat optimale ontwerpe onder Suid-Afrikaanse toestande verkry word wanneer:

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

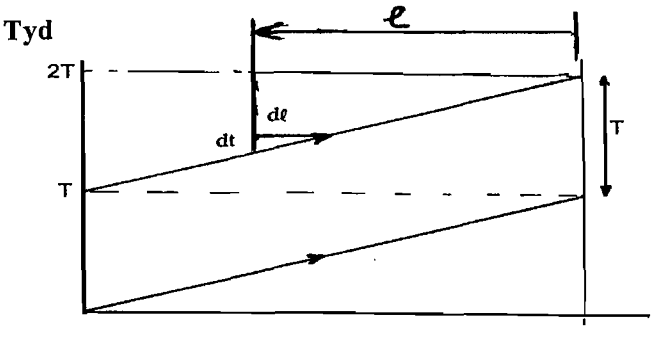
Bogenoemde stelling kan gedemonstreer word deur vordering- en afdrogingskrommes tydens 'n tipiese besproeiing te ontleed. Die stroomgrootte en afsnytyd word telkens aangepas sodat 'n konstante volume water op 'n bedding ingelaat word. 'n Simulasielopie met SIRMOD (Walker, 1989) bereken telkens die vordering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



Figuur 4.24 Grafiese voorstelling van sommige van die vordering- en afdrogingskrommes van die data in Tabel 4.1

Tabel 4.1: Besproeiingsdoeltreffendhede van data waarvan sommige getoon word in Figuur 4.24

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
Toedieningsdoeltref-fendheid (%)	82,6	84,5	87,0	79,3	71,8	63,0
Storingsdoeltreffend-heid (%)	91,7	96,2	96,9	88	79	70
Verspreidingsdoeltref-fendheid (%)	86	94,1	85,9	72,9	62,2	36,4



Figuur 4.25 'n Grafiese voorstelling van die afdrogings-frontgradiënt ($\frac{d\ell}{dt}$) waar die vordering- en afdrogingsfronte teen dieselfde tempo beweeg
(met ander woorde hulle is parallel – ideale ontwerpoogmerk).

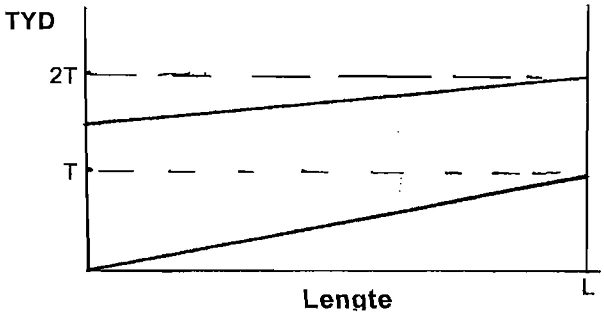
Die tempo van afdroging word dan soos volg voorgestel:

$$\left.\frac{d\ell}{dt}\right|_{gemiddeld} = -\frac{L}{T} \qquad \text{--} (4.16)$$

(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).

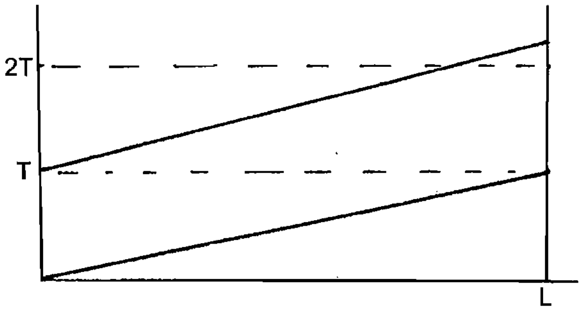
Dit is egter wel moontlik om steeds goeie besproeiingsresultate te kry wanneer matig van bogenoemde ontwerpoogmerke afgewyk word. Die afwykings kan soos volg grafies voorgestel word (Figure 4.26 en 4.27):



Figuur 4.26 Grafiese voorstelling van die afdrogings-frontgradiënt ($\frac{d\ell}{dt}$) waar die afdrogingsfront vinniger as die vorderingsfront beweeg

Die tempo van afdroging word dan soos volg voorgestel:

$$\left.\frac{d\ell}{dt}\right|_{gemiddeld} = -\frac{L}{\alpha_3 T} \quad \text{waar } \alpha_3 < 1 \quad \text{--------------------(4.17)}$$



Figuur 4.27 Grafiese voorstelling van die afdrogings-frontgradient ($\frac{d\ell}{dt}$) waar die afdrogingsfront stadiger as die vorderingsfront beweeg

Die tempo van afdroging word dan soos volg voorgestel:

$$\left.\frac{d\ell}{dt}\right|_{gemiddeld} = -\frac{L}{\alpha_3 T} \quad \text{waar } \alpha_3 > 1$$

4.7.3 Infiltrasie-eienskappe

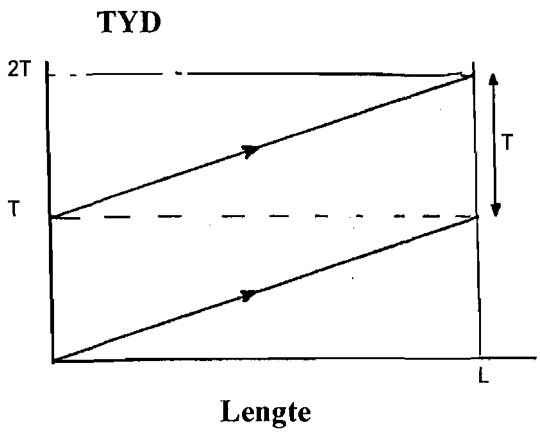
In die eenvoudigste vorm kan die infiltrasie-eienskappe van 'n bepaalde grond as 'n magsfunksie van tyd geskryf word. Die Kostiakov-infiltrasiefunksie soos deur Strelkoff (1977) vir die evaluering van SCS ontwerpnorme gebruik is, sien soos volg daaruit:

$$z = aT^b \qquad \text{---} (4.18)$$

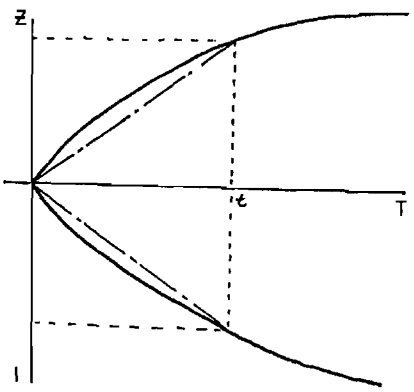
Hierdie funksie lewer ook goeie resultate onder Suid-Afrikaanse toestande (Kruger, 1989).

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 Kruger (1998) vereenvoudig hierdie taak egter aansienlik. Beskou weer die grafiese verband by optimale besproeiing (Figuur 4.28), asook die infiltrasiekromme (Figuur 4.29).



Figuur 4.28 Voorstelling van die ideale vorderings-en afdrogingsfronte wat parallel loop en toelaat vir 'n eweredige kontaktyd (T_k=T)



Figuur 4.29 **'n Skematiese voorstelling van kumulatiewe infiltrasie (*Z*) en infiltrasietempo (*I*) teenoor tyd(*T*)**

Vanuit Figure 4.28 en 4.29 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:

$$I_{res} / L_{i=0} = \frac{Z}{T} \qquad \text{--(4.19)}$$

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

4.7.4 Die verband tussen beddinglengte en toediening

Beskou 'n bedding of voor wat in vier kwarte verdeel is. Tabel 4.2 toon die formules vir die berekening van infiltrasie tydens die resessiefase. Indien die

infiltrasiewaardes in vergelyking 4.14 soos volg vervang word, geld die volgende afleiding slegs tydens optimale besproeiing van 'n bedding of voortjie wat in vier kwarte verdeel is:

$$\left.\frac{d\ell}{dt}\right|_{i=0} = -\frac{Z\ell_i}{T_y} - y_i^{2/3}\frac{\sqrt{S_f}}{n} \quad \text{---(4.20)}$$

$$\left.\frac{d\ell}{dt}\right|_{i=1/4 L} = -\frac{0.65\ell_i Z}{Ty_i} - y_i^{2/3}\frac{\sqrt{S_f}}{n} \quad \text{-------------------------------------(4.21)}$$

$$\left.\frac{d\ell}{dt}\right|_{i-1/2 L} = -\frac{0.42\ell_i Z}{Ty_i} - y_i^{2/3}\frac{\sqrt{S_f}}{n} \quad \text{-------------------------------------(4.22)}$$

$$\left.\frac{d\ell}{dt}\right|_{i=3/4 L} = -\frac{0.2\ell_i Z}{Ty_i} - y_i^{2/3}\frac{\sqrt{S_f}}{n} \quad \text{-------------------------------------(4.23)}$$

$$-\frac{L}{\alpha_3 T} = -\frac{1}{4}\left[\frac{Z\ell_i}{Ty_i}(1 + 0.65 + 0.42 + 0.2)\right] - y_i^{2/3}\frac{\sqrt{S_f}}{n}$$

$$= -0.57\frac{Z\ell_i}{Ty_i} - y_i^{2/3}\frac{\sqrt{S_f}}{n}$$

Dus is:

$$L = +0.57\alpha_3\frac{Z\ell_i}{y_i} + \alpha_3 Ty_i^{2/3}\frac{\sqrt{S_f}}{n}$$

Maar:

$$Z = aT^b$$

Vervang:

$$L = +0.57\alpha_3\frac{Z\ell_i}{y_i} + \alpha_3\left(\tfrac{1}{a}\right)^{1/b} Z^{1/b} y_i^{2/3}\frac{\sqrt{S_f}}{n} \quad \text{-------------------------------(4.24)}$$

Maar:

$$\frac{y_i}{\ell_i} = S_y = \left(S_0 - S_f\right)$$

Sodat:

$$L = +0.57\alpha_3 \frac{Z}{S_y} + \alpha_3\left(\tfrac{1}{a}\right)^{1/6} Z^{1/6} y_i^{2/3} \frac{\sqrt{S_f}}{n}$$

Stel:

$$+\frac{0.57\alpha_3}{S_y} = C_1$$

En

$$\alpha_3\left(\tfrac{1}{a}\right)^{1/6} y_i^{2/3} \frac{\sqrt{S_f}}{n} = C_2$$

In spesifieke gevalle geld die volgende:

$$L = C_1 Z + C_2 Z^{1/6} \qquad \text{-----(4.25)}$$

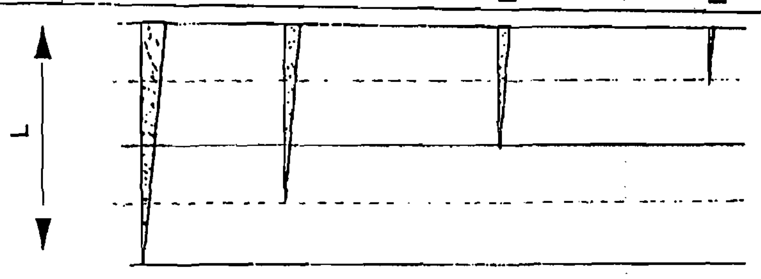
Net so kan ook afgelei word dat

$$L = f\left(Z\tfrac{1}{n}\right) \qquad \text{-----(4.26)}$$

En: $$L = f\left(Z\sqrt{S_f}\right) \qquad \text{-----(4.27)}$$

Tabel 4.2: Infiltrasieberekeninge tydens die resessiefase, geldig vir optimale besproeiing (Met *P*=die gemiddelde benatte omterk vir voortjies) (Kruger, 1998).

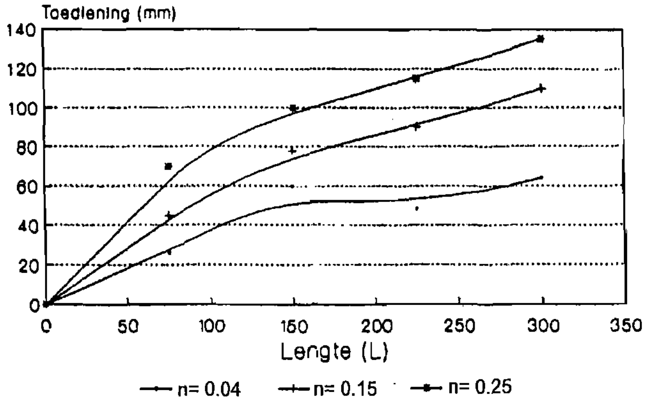
INFILTRASIE TYDENS RESESSIE $\quad q_{inf} = I \times A_{inf}$



L	Gemiddelde Infiltrasie tempo	Beddings Q_{inf}	Voortjies Q_{inf}
			$A_{inf} = \frac{1}{2} P l_i$
$L_i = 0$	$I_{res} = \int_0^{L} abt^{b-1}\, dl = \frac{Z}{T}$	$q = \frac{Z}{T} L$	$q = \frac{Z}{T}\frac{P}{2} L$ $= 0{,}5 \frac{ZP_m L}{T}$
$L_i = \frac{L}{4}$	$I_{res} = \int_0^{\frac{3L}{4}} abt^{b-1}\, dl = 0{,}87 \frac{Z}{T}$	$q = 0.87 \frac{Z}{T}\frac{3L}{4}$ $= 0{,}65 \frac{ZL}{T}$	$q = \frac{Z}{T}\frac{P3L}{8}$ $= 0{,}38 \frac{Z}{T} P_1 L$ $= 0{,}34 \frac{ZP_m L}{T}$
$L_i = \frac{L}{2}$	$I_{res} = \int_0^{\frac{L}{2}} abt^{b-1}\, dl = 0{,}83 \frac{Z}{T}$	$q = 0.83 \frac{Z}{T}\frac{L}{2}$ $= 0{,}42 \frac{ZL}{T}$	$q = \frac{Z}{T}\frac{PL}{4}$ $= 0{,}25 \frac{Z}{T} P_2 L$ $= 0{,}19 \frac{ZP_m L}{T}$
$L_i = \frac{3L}{4}$	$I_{res} = \int_0^{\frac{L}{4}} abt^{b-1}\, dl = 0{,}80 \frac{Z}{T}$	$q = 0.8 \frac{Z}{T}\frac{L}{4}$ $= 0{,}2 \frac{ZL}{T}$	$q = \frac{Z}{T}\frac{PL}{8}$ $= 0{,}25 \frac{Z}{T} P_3 L$ $= 0{,}074 \frac{ZP_m L}{T}$

Vergelykings (4.24), (4.25), (4.26) en (4.27) staan bekend as die optimaliseringsverband van Kruger (1998).

Figuur 4.30 toon die gesimuleerde optimale verband tussen beddinglengte (L) en toediening (Z) vir verskillende vloeiweerstandswaardes (n). Soortgelyke verbande kan ook vir verskillende waardes van helling (S_o) verkry word.



Figuur 4.30 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. Genoemde vergelykings bied 'n unieke oplossing vir die optimaliseringsprobleem.

4.8 TOEPASSING VAN DIE OPTIMALISERINGSVERBAND IN PRAKTIESE ONTWERPBEREKENINGE

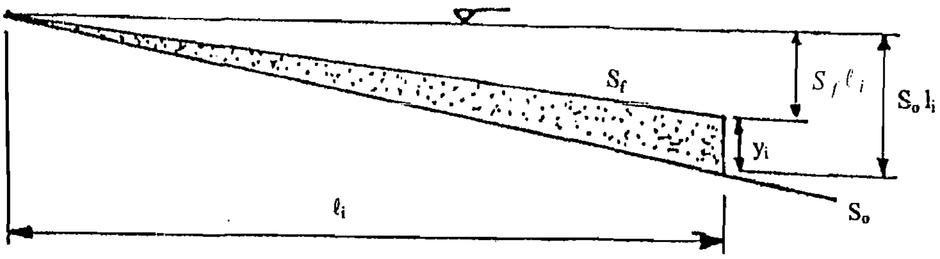
Die berekening van die optimale verband tussen toediening en beddinglengte word met behulp van iterasie uitgevoer.

4.8.1 Die waardes van die vloeidieptekonstante (S_y):

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

$S_y = \frac{y_l}{\ell_l}$ (gedefinieer in paragraaf 4.6).

Ook is $S_y = S_0 - S_f$



Figuur 4.31 Voorstelling van die wiskundigontleedbare resessiefase

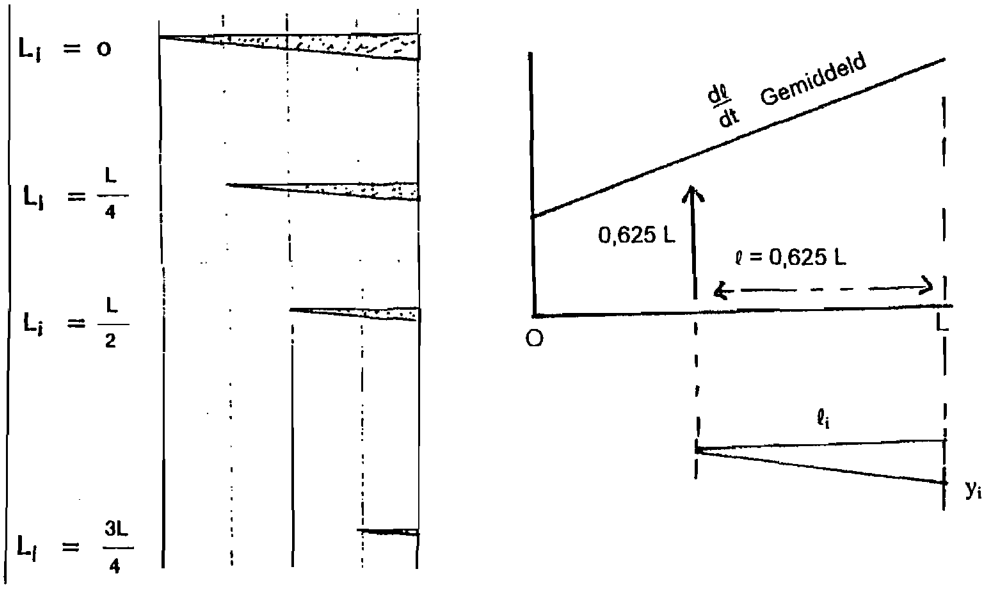
Vanaf Tabel 4.2 kan 'n geweegde gemiddelde waarde, vir die lengte (ℓ_i) in die driehoekige profiel (Figuur 4.31), as volg bereken word:

$$\ell_i = \frac{1}{4}\left(\frac{4L}{4} + \frac{3L}{4} + \frac{2L}{4} + \frac{1L}{4}\right) = 0.625L$$

dus geld dat:

$$S_y = \frac{y_i}{0.625L}$$

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



Figuur 4.32 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

$$y = \frac{Q^{0.6}\left(n^{0.6}\right)}{S^{0.3}}$$

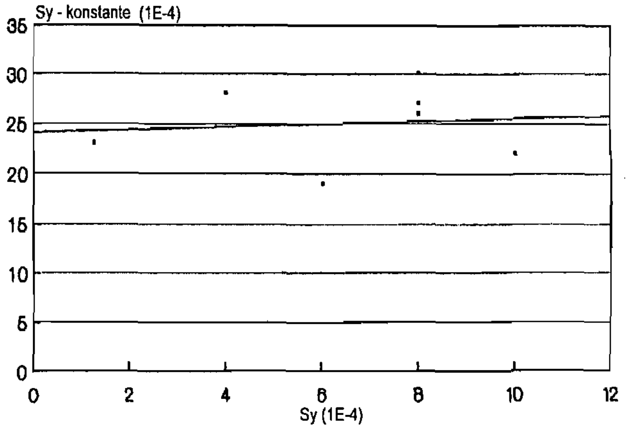
Dus kan aanvaar word dat:

$$S_y = f\left(\frac{n^{0.6}}{S^{0.3}}\right)$$

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

$$S_y = \frac{y_i}{\ell_i} = \frac{y_i}{0.625L} = (konstante)\left(\frac{n^{0.6}}{S^{0.3}}\right)$$

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



Figuur 4.33 'n Voorbeeld van die waarde van die S_y-konstante soos dit uit beperkte data, wat beskikbaar was en nuut bepaal is deur Kruger (1998)

Vir die eerste fase van die OPTIVLOED-2.2-program 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 4.33 word die bepaling deur middel van data weergee.

4.8.2 Oplos van veranderlikes

Vanaf vergelyking 4.25 volg dat $L = f(Z)$

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

Die veranderlikes in vergelyking 4.24 en al sy variasies (vergelykings 4.25 – 4.27) word deur 'n iterasieproses bepaal. 'n Begin-oplossing word telkens verskaf, waarna die iterasie- proses plaasvind. Ten einde konvergensie tydens die iterasies te verkry is die volgende formules in die sigbladprogram gebruik, naamlik:

$$L_{i+1} = \frac{L_0 + L_i}{2}$$ waar $L = f(Z)$ en L_0 = beginoplossingswaarde

En:

$$Z_{i+1} = \left(\frac{Z_0 + Z_i}{2}\right)$$ Waar $Z = f(L)$ en Z_0 = beginoplossingswaarde

Konvergensie vind normaalweg binne die bestek van 10 stappe plaas.

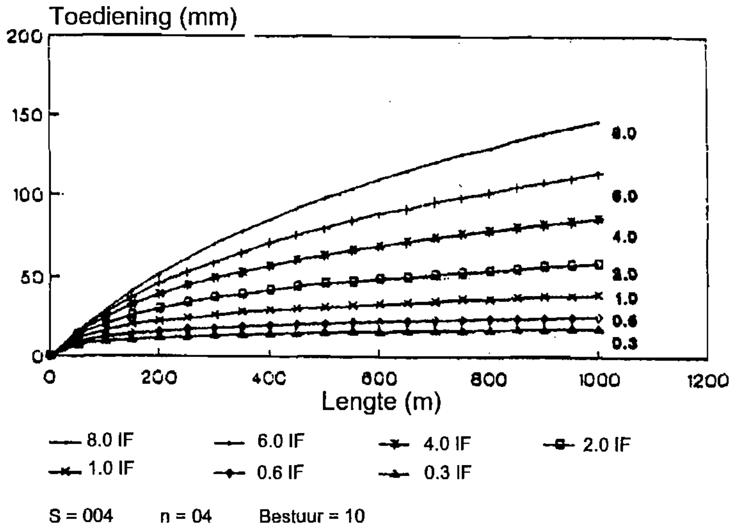
In die OPTIVLOED-2.2-program word addisionele verkleining van iterasie stappe deur middel van 'n subroetine toegepas indien divergensie bespeur word. Die maksimum aantal stappe waarbinne konvergensie moet plaasvind, is in die OPTIVLOED-2.2-program tot 6000 beperk (Kruger, 1998).

4.8.3 Resultate van die optimaliseringsberekeninge

Deur die optimaliseringsverband van vergelyking 4.26 numeries op te los 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 4.34 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 Tabel 4.3 getoon.



Figuur 4.34 Grafiese voorstelling van die resultate van die verband tussen beddinglengte en toediening word oor die volle infiltrasiespektrum aangetoon

Optimalisering van die verband tussen beddinglengte en toediening kan ook by verskillende waardes van α_3 gedoen word. (Verwys na die waarde van α_3 in vergelyking 4.17).

Die waarde van α_3 verwys na 'n afwyking van die keuse van paralelle vorderingen afdrogingsfronte. In hoofstuk 5 waar vloei-energie en die wyse waarop 'n stelsel bestuur gaan word bespreek word, word die keuse van α_3 in die vergelyking 4.17 verder behandel.

4.9 RESULTATE VAN OPTIVLOED-2.2

Die resultate van berekeninge soos in Figuur 4.34 aangetoon, verteenwoordig die primêre tendenslyne waarmee die navorsing in hoofstukke 5 en 6 voortgesit word. Tabelle 4.3 tot 4.14 dui die optimale verband tussen toediening (*Z*) en beddinglengte *(L)* aan vir waardes van helling (*S*), vloeiweerstand (n) en die verskillende innamefamilies (IF), soos dit met die insette van paragraaf 3.6 van hoofstuk 3 bereken is. Vir tabelle 4.3 tot 4.14 is die waarde na bestuur α_3 = 1 gekies. Die toediening so bereken is dus relatief klein teenoor die waarde van die beddinglengte. Tabelle waar die waarde van bestuur wissel tussen α_3 = 0.3 tot 0.6 word nie weergee nie , maar is by die hoë infiltrasiegronde aangewend

Tabel 4.3: OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 8.0IF : Kaalgrond Manning n= 0.04

Besproeiingstoediening Z_{req} mm

	Beddinglengte (m)								
Helling S	**0**	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**
0.0125	0	11.3	21.0	29.6	37.3	44.3	50.7	56.6	62.0
0.01	0	12.0	22.0	32.0	40.0	47.0	54.0	60.0	66.0
0.0083	0	13.0	24.0	33.0	42.0	50.0	57.0	63.0	69.0
0.0063	0	14.0	26.0	36.0	45.0	54.0	61.0	69.0	75.0
0.004	0	16.0	29.3	41.0	51.6	61.0	69.7	77.7	85.0
0.003	0	17.0	32.0	45.0	56.0	66.0	76.0	84.0	92.0
0.002	0	19.0	36.0	50.0	63.0	75.0	85.0	95.0	104.0
0.0013	0	22.0	41.0	57.0	72.0	85.0	97.0	108.0	118.0
0.001	0	24.0	45.0	63.0	79.0	93.0	107.0	119.0	130.0

Bestuursfaktor = 1

Tabel 4.4: OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 8.0IF : Koring Manning n= 0.15

Besproeiingstoediening Z_{req} mm

	Beddinglengte (m)								
Helling S	**0**	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**
0.0125	0	24.0	45.0	63.0	78.0	92.0	105.0	116.0	127.0
0.01	0	26.0	48.0	67.0	83.0	98.0	111.0	124.0	135.0
0.0083	0	28.0	51.0	70.0	88.0	103.0	117.0	130.0	142.0
0.0063	0	30.0	55.0	76.0	95.0	112.0	127.0	141.0	154.0
0.004	0	34.0	63.0	87.0	109.0	128.0	145.0	161.0	175.0
0.003	0	37.0	68.0	95.0	118.0	139.0	158.0	175.0	191.0
0.002	0	42.0	78.0	108.0	135.0	159.0	181.0	201.0	219.0
0.0013	0	48.0	89.0	125.0	157.0	186.0	212.0	236.0	258.0
0.001	0	54.0	100.0	142.0	180.0	214.0	245.0	275.0	302.0

Bestuursfaktor = 1

Tabel 4.5: OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 8.0IF : Lusern Manning n= 0.25

Besproeiingstoediening Z_{req} mm

	Beddinglengte (m)								
Helling S	**0**	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**
0.0125	0	33.0	60.0	83.0	104.0	122.0	138.0	153.0	167.0
0.01	0	35.0	64.0	89.0	111.0	130.0	147.0	163.0	178.0
0.0083	0	37.0	68.0	94.0	117.0	137.0	155.0	172.0	187.0
0.0063	0	40.0	74.0	102.0	127.0	149.0	168.0	187.0	203.0
0.004	0	46.0	84.0	117.0	145.0	170.0	193.0	213.0	232.0
0.003	0	50.0	92.0	128.0	159.0	186.0	211.0	234.0	255.0
0.002	0	57.0	105.0	146.0	183.0	215.0	244.0	271.0	296.0
0.0013	0	66.0	123.0	173.0	218.0	259.0	296.0	330.0	362.0
0.001	0	75.0	144.0	208.0	268.0	323.0	376.0	426.0	473.0

Bestuursfaktor

Tabel 4.6: OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 4.0IF : Kaalgrond Manning n= 0.04

Besproeiingstoediening Z_{req} mm

	Beddinglengte (m)												
Helling S	**0**	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**450**	**500**	**550**	**600**
0.0125	0	10.3	17.8	23.7	28.5	32.7	36.3	39.5	42.3	44.8	47.2	49.4	51.5
0.01	0	11.0	19.0	25.3	30.5	34.9	38.7	42.2	45.1	47.9	50.5	52.8	55.0
0.0083	0	11.5	20.0	26.6	32.0	36.6	40.6	44.1	47.3	50.2	52.8	55.3	57.6
0.0063	0	12.5	21.6	28.7	34.5	39.5	43.8	47.5	51.0	54.0	56.8	59.4	61.9
0.004	0	14.2	24.3	32.2	38.7	44.1	48.7	52.9	56.6	60.0	63.1	66.0	68.7
0.003	0	15.5	26.5	35.1	42.2	48.0	53.2	57.7	61.8	65.5	68.9	72.0	75.0
0.002	0	17.4	29.9	39.5	47.3	53.9	59.6	64.7	69.3	73.5	77.2	80.7	83.9
0.0013	0	19.7	33.8	44.7	53.6	61.1	67.7	73.4	78.6	83.3	87.6	91.6	95.3
0.001	0	21.6	37.1	49.2	59.1	67.5	74.8	81.2	87.0	92.2	97.0	101.5	105.7

Bestuursfaktor = 1

Tabel 4.7: OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 4.0IF : Koring Manning n= 0.15

Besproeiingstoediening Z_{req} mm

	Beddinglengte (m)												
Helling S	**0**	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**450**	**500**	**550**	**600**
0.0125	0	21.7	36.6	48.0	57.1	64.8	71.4	77.3	82.5	87.2	91.6	95.6	99.4
0.01	0	23.1	38.9	50.9	60.5	68.7	75.7	81.8	87.3	92.3	97.0	101.2	105.1
0.0083	0	24.3	40.9	53.5	63.6	72.1	79.4	85.8	91.6	96.8	101.7	106.0	110.1
0.0063	0	26.4	44.3	57.9	68.7	77.8	85.7	92.6	98.8	104.4	109.6	114.3	118.6
0.004	0	30.1	50.4	65.7	77.9	88.2	97.0	104.8	111.7	118.1	123.9	129.2	134.0
0.003	0	32.8	54.9	71.5	84.8	96.0	105.7	114.1	121.7	128.6	134.9	140.7	145.9
0.002	0	37.2	62.5	81.5	96.9	109.8	120.9	130.7	139.4	147.3	154.6	161.3	167.4
0.0013	0	42.9	72.8	95.7	114.4	130.0	143.6	155.6	166.3	176.0	184.8	193.1	200.7
0.001	0	48.4	83.9	111.8	134.8	154.5	171.6	186.7	200.4	212.8	224.1	234.6	244.3

Bestuursfaktor = 1

Tabel 4.8: OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 4.0IF : Lusern Manning n= 0.25

Besproeiingstoedieniing Z_{req} mm

	Beddinglengte (m)												
Helling S	**0**	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**450**	**500**	**550**	**600**
0.0125	0	28.9	48.2	62.6	74.3	84.0	92.4	99.7	106.3	112.2	117.7	122.7	127.3
0.01	0	30.8	51.3	66.5	78.8	89.1	97.9	105.7	112.6	119.0	124.7	129.9	134.8
0.0083	0	32.4	53.9	69.9	82.8	93.6	102.8	110.9	118.1	124.8	130.8	136.2	141.3
0.0063	0	35.2	58.5	75.8	89.7	101.2	111.2	119.9	127.7	134.8	141.2	147.1	152.6
0.004	0	40.2	66.6	86.3	102.1	115.3	126.5	136.4	145.2	153.3	160.5	167.2	173.4
0.003	0	43.9	72.9	94.5	111.8	126.2	138.6	149.5	159.2	168.1	176.1	183.4	190.2
0.002	0	50.2	83.9	109.3	129.7	146.7	161.4	174.3	185.8	196.4	205.9	214.6	223.7
0.0013	0	59.0	101.0	133.3	159.8	182.2	201.6	218.8	234.1	248.0	260.8	272.6	283.6
0.001	0	70.2	126.9	174.5	215.4	251.2	283.2	312.0	338.2	362.3	384.6	405.3	424.7

Bestuursfaktor = 1

Tabel 4.9: OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 1.0 IF : Kaalgrond Manning n= 0.04 *Besproeiingstoediening Z_{req} mm*

	Beddinglengte (m)																
Helling S	**0**	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**450**	**500**	**550**	**600**	**650**	**700**	**750**	**800**
0.0125	0	8.0	12.1	14.8	16.8	18.4	19.9	21.0	22.2	23.2	24.0	24.8	25.5	26.1	26.7	27.4	27.9
0.01	0	8.0	13.0	16.0	18.0	19.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	28.0	29.0	29.0
0.0083	0	9.0	13.0	16.0	18.0	20.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	29.0	30.0	31.0
0.0063	0	10.0	14.0	17.0	20.0	22.0	23.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0	31.0	31.0	32.0	33.0
0.004	0	10.8	16.1	19.5	22.1	24.2	26.0	27.7	28.9	30.1	31.3	32.2	33.1	34.0	34.9	35.6	36.3
0.003	0	12.0	17.0	21.0	24.0	26.0	28.0	30.0	31.0	32.0	34.0	35.0	36.0	37.0	37.0	38.0	39.0
0.002	0	13.0	19.0	23.0	27.0	29.0	31.0	33.0	35.0	36.0	37.0	39.0	40.0	41.0	42.0	43.0	43.0
0.0013	0	15.0	22.0	27.0	30.0	33.0	35.0	37.0	39.0	41.0	42.0	44.0	45.0	46.0	47.0	48.0	49.0
0.001	0	16.0	24.0	29.0	33.0	36.0	39.0	41.0	43.0	45.0	47.0	48.0	50.0	51.0	52.0	53.0	54.0

Bestuursfaktor = 1

Tabel 4.10: OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 1.0IF : Koring Manning n= 0.15 *Besproeiingstoediening Z_{req} mm*

	Beddinglengte (m)																
Helling S	**0**	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**450**	**500**	**550**	**600**	**650**	**700**	**750**	**800**
0.0125	0	16.0	23.0	28.0	31.0	34.0	36.0	38.0	40.0	42.0	43.0	45.0	46.0	47.0	48.0	49.0	50.0
0.01	0	17.0	24.0	29.0	33.0	36.0	38.0	41.0	42.0	44.0	46.0	47.0	48.0	50.0	51.0	52.0	53.0
0.0083	0	17.0	25.0	30.0	34.0	37.0	40.0	42.0	44.0	46.0	48.0	49.0	50.0	52.0	53.0	54.0	55.0
0.0063	0	19.0	27.0	33.0	37.0	40.0	43.0	45.0	47.0	49.0	51.0	53.0	54.0	55.0	56.0	58.0	59.0
0.004	0	21.0	31.0	37.0	41.0	45.0	48.0	51.0	53.0	55.0	57.0	59.0	61.0	62.0	64.0	65.0	66.0
0.003	0	23.0	33.0	40.0	45.0	49.0	52.0	55.0	58.0	60.0	62.0	64.0	66.0	67.0	69.0	70.0	72.0
0.002	0	26.0	38.0	46.0	51.0	56.0	60.0	63.0	66.0	69.0	71.0	73.0	75.0	77.0	79.0	80.0	82.0
0.0013	0	31.0	45.0	54.0	61.0	67.0	71.0	75.0	79.0	82.0	85.0	88.0	90.0	92.0	94.0	96.0	98.0
0.001	0	36.0	54.0	65.0	74.0	81.0	87.0	92.0	97.0	101.0	105.0	108.0	111.0	114.0	117.0	119.0	122.0

Bestuursfaktor = 1

Tabel 4.11: **OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 1.0IF : Lusern Manning n= 0.25** *Besproeiingstoediening Z_{req} mm*

	Beddinglengte (m)																
Helling S	**0**	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**450**	**500**	**550**	**600**	**650**	**700**	**750**	**800**
0.0125	0	20.0	29.0	35.0	39.0	43.0	46.0	48.0	51.0	53.0	54.0	56.0	58.0	59.0	60.0	61.0	63.0
0.01	0	22.0	31.0	37.0	42.0	45.0	48.0	51.0	53.0	55.0	57.0	59.0	61.0	62.0	63.0	65.0	66.0
0.0083	0	23.0	33.0	39.0	44.0	47.0	51.0	53.0	56.0	58.0	60.0	62.0	63.0	65.0	66.0	68.0	69.0
0.0063	0	24.0	35.0	42.0	47.0	51.0	54.0	57.0	60.0	62.0	64.0	66.0	68.0	70.0	71.0	72.0	74.0
0.004	0	28.0	40.0	74.0	53.0	58.0	61.0	65.0	68.0	70.0	73.0	75.0	77.0	79.0	80.0	82.0	84.0
0.003	0	30.0	43.0	52.0	58.0	63.0	67.0	71.0	74.0	77.0	79.0	82.0	84.0	86.0	88.0	90.0	91.0
0.002	0	35.0	50.0	60.0	68.0	73.0	78.0	83.0	86.0	90.0	93.0	95.0	98.0	100.0	103.0	105.0	107.0
0.0013	0	43.0	62.0	76.0	85.0	93.0	100.0	105.0	110.0	115.0	119.0	123.0	126.0	129.0	132.0	135.0	139.0
0.001	0	56.0	88.0	111.0	128.0	142.0	154.0	164.0	173.0	181.0	188.0	195.0	201.0	207.0	212.0	217.0	222.0

Bestuursfaktor = 1

Tabel 4.12: **OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 1.0 IF : Kaalgrond Manning n= 0.04** *Besproeiingstoediening Z_{req} mm*

	Beddinglengte (m)																				
Helling S	**0**	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**450**	**500**	**550**	**600**	**650**	**700**	**750**	**800**	**850**	**900**	**950**	**1000**
0.0125	0	5.3	7.1	8.2	9.0	9.5	10.1	10.6	11.0	11.4	11.6	11.9	12.2	12.5	12.7	13.0	13.3	13.3	13.5	5.3	7.1
0.01	0	5.6	7.5	8.5	9.5	10.0	10.5	11.2	11.6	11.8	12.3	12.5	12.8	13.2	13.3	13.6	13.8	14.0	14.2	5.6	7.5
0.0083	0	5.8	7.8	9.0	9.8	10.4	11.0	11.6	12.0	12.4	12.7	13.0	13.4	13.7	14.0	14.1	14.3	14.5	14.8	5.8	7.8
0.0063	0	6.2	8.3	9.5	10.4	11.1	11.7	12.3	12.7	13.1	13.4	13.8	14.2	14.5	14.7	15.0	15.2	15.4	15.7	6.2	8.3
0.004	0	6.9	9.2	10.4	11.5	12.2	12.9	13.6	14.1	14.4	14.8	15.3	15.6	16.0	16.2	16.5	16.8	17.1	17.3	6.9	9.2
0.003	0	7.4	9.8	11.2	12.2	13.2	13.9	14.5	15.1	15.5	15.9	16.4	16.8	17.1	17.4	17.7	17.9	18.3	18.5	7.4	9.8
0.002	0	8.2	10.7	12.4	13.6	14.5	15.4	16.0	16.5	17.2	17.7	18.0	18.4	18.9	19.2	19.6	19.8	20.1	20.5	8.2	10.7
0.0013	0	9.2	12.0	14.0	15.3	16.2	17.3	18.0	18.6	19.3	19.8	20.3	20.7	21.2	21.6	21.9	22.3	22.6	23.0	9.2	12.0
0.001	0	10.2	13.2	15.4	16.9	17.9	19.0	19.8	20.4	21.2	21.8	22.4	22.8	23.2	23.8	24.2	24.5	25.0	25.3	10.2	13.2

Bestuursfaktor = 1

Tabel 4.13: OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 1.0IF : Koring Manning n= 0.15 ***Besproeiingstoediening Z_{req} mm***

	Beddinglengte (m)																				
Helling S	**0**	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**450**	**500**	**550**	**600**	**650**	**700**	**750**	**800**	**850**	**900**	**950**	**1000**
0.0125	0	9.6	12.4	14.3	15.5	16.6	17.5	18.2	19.0	19.6	20.2	20.6	21.1	21.4	21.8	22.2	22.7	23.0	23.2	23.6	24.0
0.01	0	10.2	13.1	15.0	16.4	17.6	18.5	19.2	19.9	20.6	21.2	21.6	22.0	22.5	23.0	23.4	23.8	24.0	24.4	24.8	25.1
0.0083	0	10.6	13.7	15.7	17.0	18.3	19.2	20.0	20.7	21.4	21.9	22.5	22.9	23.5	23.9	24.2	24.7	25.0	25.4	25.8	26.1
0.0063	0	11.3	14.7	16.7	18.2	19.5	20.3	21.2	21.9	22.8	23.3	23.8	24.4	25.0	25.3	25.8	26.3	26.7	27.1	27.4	27.6
0.004	0	12.6	16.4	18.6	20.4	21.7	22.8	23.7	24.7	25.5	26.1	26.7	27.3	27.8	28.5	28.8	29.2	29.7	30.2	30.6	31.0
0.003	0	13.6	17.7	20.1	21.9	23.4	24.5	25.7	26.5	27.4	28.0	28.9	29.5	30.1	30.7	31.2	31.6	32.0	32.5	33.0	33.3
0.002	0	15.4	20.1	22.8	24.9	26.5	27.9	29.0	30.1	31.1	31.8	32.6	33.5	34.1	34.8	35.2	36.0	36.4	37.0	37.4	37.8
0.0013	0	21.8	28.8	33.0	36.1	38.6	40.6	42.5	44.0	45.5	46.8	47.9	49.0	50.1	51.0	51.9	52.7	53.5	54.3	54.9	55.7
0.001	0	25.0	32.7	37.3	40.7	43.5	45.7	47.7	49.4	51.0	52.4	53.7	55.0	56.0	57.0	58.0	59.0	59.9	60.8	61.6	62.3

Bestuursfaktor = 1

Tabel 4.14: OPTIVLOED-2.2 Resultate vir 1.0IF : Lusern Manning n= 0.25 ***Besproeiingstoediening Z_{req} mm***

	Beddinglengte (m)																				
Helling S	**0**	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**	**400**	**450**	**500**	**550**	**600**	**650**	**700**	**750**	**800**	**850**	**900**	**950**	**1000**
0.0125	0	12.0	15.6	17.7	19.4	20.7	21.7	22.6	23.5	24.2	24.9	25.4	26.0	26.6	26.9	27.4	27.8	28.3	28.7	29.1	29.5
0.01	0	12.7	16.5	18.6	20.4	21.7	22.7	23.7	24.6	25.3	26.1	26.8	27.3	27.8	28.3	28.9	29.3	29.8	30.1	30.5	31.0
0.0083	0	13.3	17.2	19.4	21.3	22.5	23.7	24.7	25.6	26.3	27.1	27.8	28.4	29.0	29.5	30.0	30.5	30.9	31.4	31.8	32.1
0.0063	0	14.1	18.4	20.7	22.6	24.1	25.3	26.4	27.3	28.2	28.9	29.7	30.3	30.9	31.5	32.0	32.5	32.9	33.4	33.8	34.4
0.004	0	16.0	20.6	23.4	25.5	27.0	28.4	29.6	30.7	31.5	32.4	33.2	33.9	34.6	35.3	35.9	36.5	37.0	37.5	38.1	38.5
0.003	0	17.4	22.5	25.4	27.8	29.6	30.9	32.2	33.4	34.4	35.3	36.2	37.0	37.7	38.4	39.1	39.7	40.4	40.9	41.4	41.9
0.002	0	20.1	26.0	29.4	32.2	34.1	36.0	37.4	38.8	39.9	40.9	42.0	43.0	43.9	44.6	45.3	46.1	46.8	47.5	48.2	48.6
0.0013	0	25.5	33.3	38.0	41.5	44.4	46.7	48.7	50.5	52.0	53.6	54.8	56.0	57.2	58.3	59.3	60.2	61.1	61.9	62.8	63.6
0.001	0	36.3	49.4	57.6	63.5	68.4	72.3	75.6	78.6	81.2	83.7	86.0	88.1	89.9	91.6	93.4	95.0	96.5	98.0	99.2	100.5

Bestuursfaktor = 1

HOOFSTUK 5

DIE INVLOED VAN VLOEI-ENERGIE OP DIE ONTWERP VAN VLOEDBESPROEIING

5.1 INLEIDING

In Hoofstuk 4 is primêre tendenslyne vanuit die perspektief van die afdrogingsfront bespreek. Hier in Hoofstuk 5, word sekondêre tendenslyne vanuit die tempo waarteen die vorderingsfront vorder, dus 'n vloei-energie perspektief, ontwikkel. Vloei-energie beïnvloed die randwaarde vir maksimum beddinglengtes, die waarde van toedieningsdoeltreffendheid en ook die wyse waarop die afsnytyd beheer word.

In hierdie hoofstuk word die vloei-energie konsep verder ontwikkel en hidrouliese beginsels beskryf. Vloei-energie is 'n onbekende term, waarvan die effek in paragraaf 5.4 in bekende terminologie omskryf, bereken en voorgestel moet word. Die faktore wat 'n invloed op vloei-energie het, word bespreek. Ook word die invloed van netto-vloei-energie op bestuur en ontwerp van stelsels ondersoek en bespreek. Die tendenslyne wat hier as sekondêre tendenslyne ontwikkel word , word tesame met die primêre tendenslyne van Hoofstuk 4, in Hoofstuk 6 aangewend om randwaardes te stel.

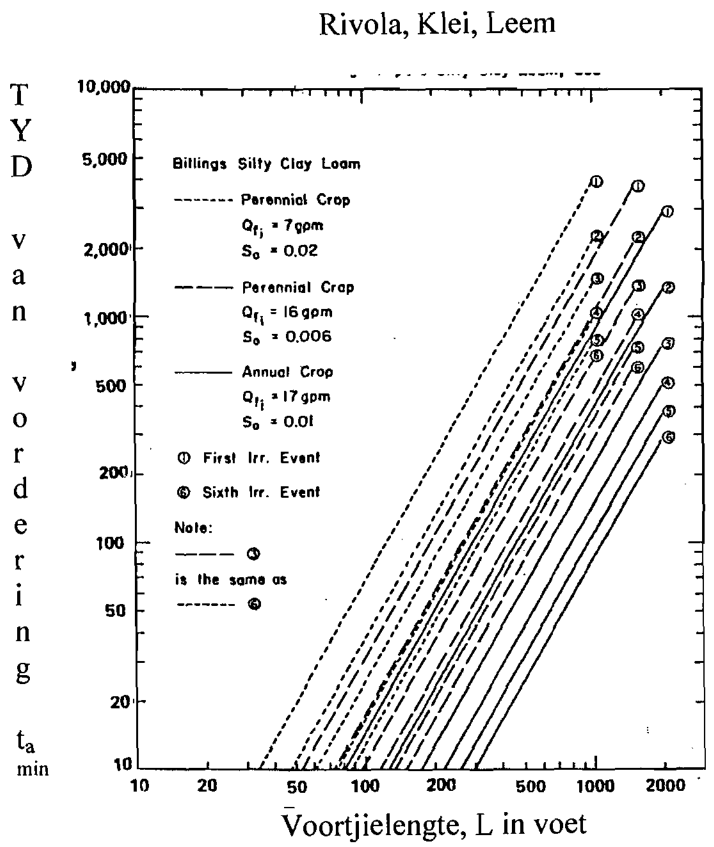
5.2 ONTWIKKELING VAN DIE KONSEP 'VLOEI-ENERGIE'

Kruger (1998) definieer die begrip vloei-energie tydens kritiese evaluasie van die ontwerpprosedure van Van Heerden (1987). Boere praat van 'n "vinnige" of "stadige" besproeiing. Kruger (1998) definieer die begrip **netto vloei-energie** wat verwys na die netto positiewe balans van energie waarmee die tempo van die vorderingsfront as relatief vinnig of relatief stadig getipeer kan word. Hy toon ook aan hoe hierdie netto-vloei-energie die bestuur en ontwerp van 'n vloedbesproeiingstelsel kan beïnvloed. Hy toon aan dat die netto-vloei-energie 'n dinamiese faktor is, wat bepaal word deur die gesamentlike uitkoms van 'n aantal faktore.

5.2.1 Waarnemings in die praktyk.

Die boere term "vinnige of stadige" bedding, of besproeiing verwys na die tempo waarteen die vorderingsfront die eindpunt van die bedding bereik tydens verskillende besproeiings deur die loop van 'n seisoen. Die operateur moet dus op Vaalharts die water vinniger of stadiger as normaalweg afsny om te verseker dat die besproeiing korrek plaasvind (OVH 77, Du Rand *et al.*, 1985). Walker en Skogerboe (1987) gee ook 'n soortgelyke voorbeeld van die variasie in die tempo van die vorderingsfront met verskeie besproeiings deur die loop van 'n seisoen. Figuur 5.1 dui die seisoenale variasie in die tempo van die vorderingsfront aan.

Die praktiese waarnemings verwys na die wisseling in die tempo van die vorderingsfront wat voorkom as gevolg van die wisseling van infiltrasietempo van gronde met verloop van 'n seisoen. Die infiltrasie verlaag aanvanklik na die eerste besproeiing weens konsolidasie van die bewerkte grond. Die konsolidasie stabiliseer na die tweede besproeiing. Wisseling wat hierna voorkom, kan grootliks verklaar word aan hand van besproeiingskedulering en vogverbruik deur die gewas, wat nie altyd sinkroniseer nie. Wanneer 'n "droë week", met hoë vogaanvraag dus ervaar word, sal die grondvogstatus daal en die opeenvolgende besproeiing sal "swaar" wees. Daarmee word bedoel dat 'n hoër infiltrasietempo en groter resulterende besproeiing voorkom. Met 'n vaste stroomgrootte, sal die groter infiltrasie dan lei tot stadige vordering van die vorderingsfront. Soortgelyk sal 'n "nat week" aanleiding tot 'n kleiner infiltrasietempo gee, en sal die vorderingsfront dus vinnig vorder. Hierdie tempo waarteen die vorderingsfront beweeg, lewer 'n aanduiding van die netto energie wat op die spesifieke stadium beskikbaar is vir die bogrondse vloei van water. Uit die bespreking is dit duidelik dat die vloei-energie op 'n bepaalde bedding mag wissel deur die loop van 'n seisoen.



Figuur 5.1 **Seisoenale variasie in die tempo van vorderingsfronte in die VSA, soos aangepas vanaf Walker en Skogerboe (1987)**

Met bevestiging van die wisseling in die tempo van vorderingsfronte as 'n algemene waarneming, gekoppel aan die dinamiese infiltrasietempo se wisseling gedurende die seisoen, kan daar ondersoek na die redes vir wisseling van vloei-energie gedoen word.

5.2.2 Teoretiese beredenering van vloei-energie konsep

5.2.2.1 Vloei in 'n ondeurlaatbare kanaal:

Water vloei van as gevolg van potensiële energie—met ander woorde van hoog na laag en dam op in enige waterpas vlak. Die tempo van vloei of spoed word bepaal deur energie absorberende en energie gewende faktore. Tydens vloei is daar wrywing of vloeiweerstand. Energie word "geabsorbeer" deur die vloeiweerstand. Vloeiweerstand is afhanklik van vloeidiepte en vloeispoed. Teen

lae vloeispoed (lae Froude getal) is vloei egalig en geleidelik veranderend. Sleur of wrywing teen die wande van die geleier vertraag vloeispoed naby die wandoppervlak. Hoe verder van die wandoppervlak, hoe groter raak die vloeispoed.

Indien daar geen uitlate in die kanaal is nie, is

vloei in = vloei uit..........................(Massa behoud)

en

vloei-energie = drukstandverskil – wrywingstand......(Energie behoud)

5.2.2.2 Infiltrasie in 'n besproeiingsbedding.

In 'n besproeiingsbedding vind daar infiltrasie plaas. Infiltrasie vind in twee stappe plaas.

- Eerstens is daar 'n vinnige absorberings proses, 'n sponseffek, Genoem "sorptivity"(Philip, 1957a). Tydens die proses word lug verplaas soos wat water in die grond indring, hoofsaaklik as gevolg van gravitasiekragte. Die grond raak oorversadig met water. Soms kan uitborrelende lug gehoor en gesien word. Indien daar op die grond getrap word, sak die voetspore eenvoudig weg in die gesuspendeerde oornat grond. Die proses begin met beweging van die vorderingsfront en eindig met beweging van die afdrogingsfront. Dit vind dus plaas tydens die kontaktyd tussen grond en water.

- Tweedens vind 'n herverspreiding van vog plaas. Gravitasiekragte veroorsaak afwaartse vogbeweging, terwyl kapillêre kragte 'n suigkrag in alle rigtings meebring. Hierdie proses begin tydens benatting (beweging van vorderingfront) maar voltooi eers na etlike ure of dae.

Infiltrasie is afhanklik van die tipe grond, die fisiese toestand (as gevolg van of bewerking, of herkonsolidasie, of kompaksie van die grond), en die vogspanning

(of vogstatus) in die grond. Infiltrasietempo neem af met tyd tydens 'n besproeiing. Dus tempo van absorbering en aanvang van kapillêre kragte neem af gedurende die kontaktyd.

In lae infiltrasietempo gronde (0.1 IF tot 1.5 IF soos tipies in die VSA) is dit praktyk om die infiltrasie in twee komponente te beskryf, naamlik die basiese infiltrasie tempo (f_o) en die absorberende komponent wat 'n funksie van tyd is. Meting van die verband word gedoen deur die uitvloei uit 'n bedding of voortjie te bepaal (as basis vir f_o) wanneer die uitvloeitempo gestabiliseer het:

$$Z = kT^a + f_0 \qquad \text{(Philip, 1957b)}$$

By hoë infiltrasie tempo gronde (2.0 - 4.0 IF) het Strelkof en Katapodes (1977) gevind dat die basiese infiltrasietempo nie van groot belang is nie. Onder SA toestande waar water 'n skaars hulpbron is sou die meting van gestabiliseerde uitvloei (f_o) meestal onprakties wees weens die uitvloei van water aan die onderpunt van die beddings, en word die Kostiakof–Lewis-verband dus as volg aanvaar:

$Z = kT^a$ geldig vir gebruik in SIRMOD. T word gemeet in minute.

en

$Z = aT^b$ geldig vir gebruik in OPTIVLOED-2.2. T word gemeet in sekondes.

(Tabel 3.3, Hoofstuk 3, lewer die waardes om infiltrasie te bereken soos dit in hierdie studie gebruik is.)

5.2.2.3 Vloei in 'n besproeiingsbedding:

By die bopunt (nulpunt) van die bedding geld normale kanaalvloei wanneer die stroom water in die bedding ingekeer word. Soos die voorpunt van die benattings

(vorderings) front die benatte kanaal verleng, geld daar egter 'n onttrekking van water weens infiltrasie. Die infiltrasietempo is die hoogste waar die water die grond pas benat het, en neem af na die bopunt (nulpunt) waar die grond reeds vir 'n tyd benat is.

Wanneer die verlangde kontaktyd by die bopunt (nulpunt) van die bedding benader word (met voldoende vordering om die onderpunt effektief te benat), sal die water afgesny word, sodat daar ná verstryking van die kontaktyd begin word met die afdroging van die bedding. In ideale omstandighede sal die afdroging presies begin wanneer die ideale kontaktyd verstryk het (Figuur 4.25, Hoofstuk 4) In die praktyk sal 'n mate van oorbesproeiing egter normaalweg by die bopunt (nulpunt) plaasvind (Figuur 4.26, Hoofstuk 4)

Die vraag is nou egter om die posisie van die vorderingsfront vas te stel. Met ander woorde, hoe ver het die vorderingsfront beweeg tydens die verloop van die kontaktyd? Logies sal die infiltrasietempo, waardeur water heeltyd uit die stelsel verwyder is, 'n groot invloed hê aangesien die kleiner wordende stroom al stadiger sal vloei. Ook logies sal 'n groter vloeiweerstand en kleiner helling die vloeispoed vertraag.

Gestel die tempo en totale afstand wat die vorderingsfront binne die kontaktyd sou beweeg, word bepaal deur die Netto Positiewe Vloei-energie in die stelsel. Dan behoort die vraag oor die vorderingsfront deur die analise van vloei-energie beantwoord te kan word.

5.2.2.4 Vloei-energie by Vloedbesproeiing:

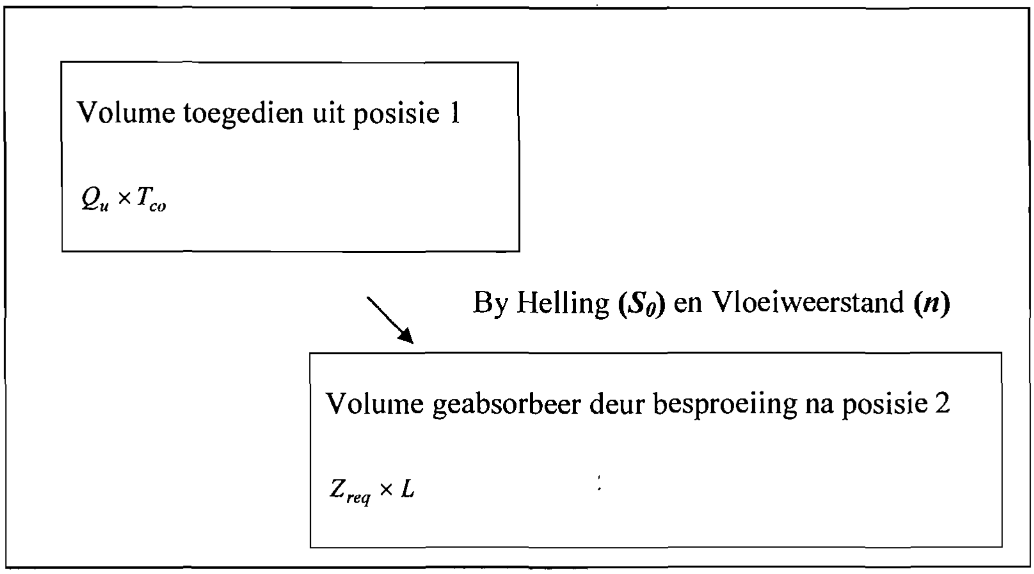
Vloei-energie, of die energie beskikbaar vir die vloei van water word by elke inkrementele punt van die beddinglengte verteenwoordig deur die drukstand (of vloeidiepte) wat by die punt voorkom tydens die verloop van die besproeiing. Die drukstand is aanvanklik nul, neem dan soos die bedding benat word, toe tot 'n maksimum waarde (Figuur 4.18, Hoofstuk 4) Soos die bedding afdroog neem die drukstand weer af na nul (Figuur 4.19, Hoofstuk 4) Vir die geval waar die

bedding op die onderpunt geblok word sodat water opdam, geld andersoortige toestande.

Die totale energie wat tydens 'n besproeiing heers kan nie vernietig word nie, maar gaan oor vanaf die potensiële en kinetiese energie wat die stroom water by die bopunt van die bedding besit het (Figuur 4.17, Hoofstuk 4), na die potensiële energie en wrywings verliese wat die geïnfiltreerde water tydens die infiltrasie / absorpsie proses oorhou (Figuur 4.19, Hoofstuk 4).

Dus

$$\Delta \text{ Potensiële Energie} + \Delta \text{ Kinetiese Energie} + \text{Wrywing} = 0$$



Figuur 5.2: Voorstelling van totale vloei-energie by vloedbesproeiing

In Figuur 5.3 kan gesien word dat die water tydens die besproeiing van posisie 1 na posisie 2 beweeg. In Suid-Afrika vind hierdie beweging normaal binne die verloop van die kontaktyd plaas. (Figuur 4.25, Hoofstuk 4). Dus is die gemiddelde spoed waarteen die ideale vorderingsfront moet beweeg naastenby bekend:

$$V_{gem} = \frac{L}{T_k}$$

Om die leiwater as 'n vorderingsfront te laat beweeg, is daar potensiële energie of drukstand in die stelsel nodig. Daar is, soos in enige hidrouliese stelsel, drukstand komponente wat die stelsel-energie verhoog en komponente wat die energie absorbeer of verlaag.

5.3 HIDROULIESE BEGINSELS

Om energie komponente te kan ontleed, moet die stelsel in detail beskou word.

5.3.1 Die besproeiingsfases

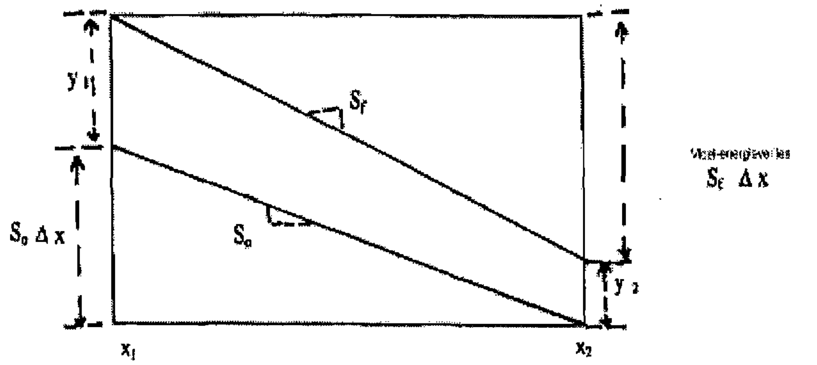
In Hoofstuk 2, paragraaf 2.6.3, word die meetbare fases tydens 'n vloedbesproeiingsepisode aangedui. Figuur 2.3 (Hoofstuk 2) dui die vorderingsfase aan.

5.3.2 Die vorderingsfase

Die vorderingsfase word skematies in Figuur 4.17 (paragraaf 4.6, in Hoofstuk 4) uitgebeeld. 'n Bepaalde stroomgrootte word aan die bopunt van die bedding ingekeer en vloei dan teen die helling af na die eindpunt van die bedding. Tydens die vloei vind daar infiltrasie plaas, soos aangedui deur die vertikaal afwaartse pyltjies. Om die toestand te ontleed moet die Saint Venant vergelykings van Hoofstuk 2 (paragraaf 2.6.1) opgelos word.

5.3.3 Wiskundige beskrywing van die hidroulika tydens die vorderingsfase

Strelkoff en Katapodes (1977) dui aan hoe die hidrouliese benadering vereenvoudig kan word as die terme vir die verandering van versnelling, as weglaatbaar klein beskou word. Hierdie sogenaamde momentumlose ("zero inertia") benadering is geldig vir vloedbesproeiing aangesien daar bestendige vloei voorkom. Figuur 5.3 dui die hidrouliese gradiënte aan soos wat dit op 'n segment van die bedding sou voorkom.



Figuur 5.3: Hidrouliese gradiënte soos van toepassing vir die Zero-inertia-benadering in 'n tweedimensionele vlak

Vanuit Figuur 5.2 is dit duidelik dat die "netto vloei-energie verlies" verteenwoordig word deur die produk van die sogenaamde "friction slope" of waterhelling en die lengte van die beddingsegment. Die term vloei-energie (geldig vir goeie besproeiing met korrekte stroomgrootte en afsnytyd) is dus sinoniem met die drukstandverlies (relatief tot datum vlak) oor 'n gegewe beddinglengte.

Die Saint Venant vergelyking vereenvoudig dus na:

$Q_0 + Q_{wegdreineer} + I_q = 0$ ....**Massabehoud**

$\frac{dy}{dx} = S_0 - S_f$ ....**Energiebehoud**

'n Datastel wat met die SIRMOD program gesimuleer is, kan dus nou vir vloei-energie ontleed word. Twee metodes kan gebruik word. Die Hidrograaf profieldata van die SIRMOD uitdruk kan gebruik word om vloeidiepte en dus drukstand te bereken. Anders kan daar vanaf basiese beginsels drukstand bereken word met die Manning formule vir stroomgrootte. Die navorser het laasgenoemde metode gebruik om die waardes in Tabel 5.1 te bereken nadat die SIRMOD program die die besproeiingsepisode gesimuleer het. Twee datastelle is

bereken. Datastel 1 is vir 'n helling van S_0=0.0125m/m en datastel 2 is vir S_0=0.001m/m.

Datastel 1, soos vertoon in Tabel 5.1, toon die volgende aan:

- Met 'n stroomgrootte van 10 ((l/s)/m) is 'n bedding van 63.1 m lank besproei op 'n 8.0 IF grond. Die helling was S_0=0.0125 en 'n kaal grond met weerstand van Manning n= 0.04 het 'n toediening van 25 mm opgelewer toe die stroom na 155 sekondes afgesny is. Die toedieningsdoeltereffendheid was 87%, en aanvullingsdoeltreffendheid was 98%.

- Die vloeidiepte van die water het gewissel vanaf 34 mm by die waterinlaatpunt bo aan die bedding tot naby 10 mm aan die eindpunt van die bedding.

- Die gemiddelde vloeispoed van die water, soos bereken met die Manning verband, het gewissel van 0.294 m/s aan die bopunt van die bedding, tot 0.129m/s net voor die eindpunt.

- Die spoed van die vorderingsfront het afgeneem vanaf 0.555 m/s aan die bopunt van die bedding tot 0.244 m/s naby die eindpunt van die bedding.

- Die drukstand (relatief tot onderpunt van die bedding), het vanaf 0.823 m tot 0.01m afgeneem.

- Die netto drukstand afname in die sisteem was dus 0.813 m.

Die gemiddelde waterhelling (S_f) was 0.01306 met grondhelling S_0 = 0.0125. S_f was dus 4.5% meer as S_0.

Datastel 2 is soortgelyke aan datastel 1 met die volgende verskille: Indien dieselfde bedding nou teen 'n platter helling van S_0=0.001 besproei sou word, verander die resultaat as volg:

- Met 'n stroomgrootte van 10 ((l/s)/m) is 'n bedding van 40.4 m lank besproei op 'n 8.0 IF grond. Die helling was S_0=0.001 en 'n kaal grond met weerstand van Manning n= 0.04 het 'n toediening van 25 mm opgelewer toe die stroom na 155 sekondes afgesny is. Die toedieningsdoeltreffendheid was 56%, en aanvullingsdoeltreffendheid was 98%.

- Die vloeidiepte van die water het gewissel vanaf 73 mm by die waterinlaatpunt bo aan die bedding tot naby 49 mm aan die eindpunt van die bedding.

- Die gemiddelde vloeispoed van die water, soos bereken met die Manning verband, het gewissel van 0.138 m/s aan die bopunt van die bedding, tot 0.106m/s net voor die eindpunt.

- Die spoed van die vorderingsfront het afgeneem vanaf 0.295 m/s aan die bopunt van die bedding tot 0.227 m/s naby die eindpunt van die bedding.

- Die drukstand (relatief tot onderpunt van die bedding), het vanaf 0.113 m tot 0.049 m afgeneem.

- Die netto drukstand afname in die sisteem was dus 0.064 m.

- Die gemiddelde waterhelling (S_f) was 0.002798 met grondhelling S_0 = 0.001. S_f was dus 180% meer as S_0.

Tabel 5.1: Drukstand (as vloeidiepte, relatief tot S_0=0.0125) as indikator van vloei- energie, bepaal uit gesimuleerde data (8.0 IF DRUKSTAND vir SIRMOD simulasie)

Node	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		8.60	7.91	7.40	6.94	6.49	6.05	5.61	5.17	4.72	4.26	
Tyd (sek)	0	16	31	47	62	78	93	109	124	140		
Lengte	0.0	8.6	16.5	23.9	30.9	37.3	43.4	49.0	54.2	58.9	63.1	
Drukstand	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01		
Vloeispoed	0.29	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15		
		Volume vloei										Vloei/tyd
310.0	2 x Tk											
294.5											0.008	0.0084
279.0										0.009	0.009	0.0179
263.5									0.010	0.010	0.009	0.0285
248.0								0.011	0.010	0.010	0.009	0.0404
232.5							0.012	0.011	0.011	0.010	0.009	0.0535
217.0						0.013	0.012	0.012	0.011	0.010	0.010	0.0680
201.5					0.014	0.013	0.013	0.012	0.011	0.011	0.010	0.0841
186.0				0.016	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.011	0.1032
170.5			0.016	0.016	0.014	0.014	0.013	0.013	0.013	0.012	0.013	0.1240
155.0	Kontaktyd	0.017	0.016	0.016	0.015	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.018	0.1516
139.5		0.017	0.016	0.017	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.020		0.1457
124.0		0.018	0.017	0.018	0.016	0.016	0.016	0.017	0.021			0.1384
108.5		0.018	0.018	0.018	0.017	0.017	0.018	0.023				0.1297
93.0		0.019	0.018	0.019	0.018	0.019	0.025					0.1195
77.5		0.020	0.019	0.021	0.021	0.027						0.1077
62.0		0.021	0.021	0.023	0.029							0.0942
46.5		0.023	0.023	0.031								0.0769
31.0		0.026	0.033									0.0583
15.5		0.036										0.0356
0.0	Nulpunt	0.000										
	Tot. volume											1.5856
	Volume	0.215	0.197	0.195	0.173	0.162	0.151	0.140	0.129	0.118	0.106	
	Z (m)	0.025	0.025	0.026	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	

Dit is duidelik uit die resultaat dat die besproeiing teen 'n steil helling van S_0=0.0125, met 'n netto drukstandafname van 0.813m en toedieningsdoeltreffendheid van 87%, baie beter verloop het as die besproeiing teen die platter helling van S_0=0.001, waar die laer drukstandafname van 0.064m in die sisteem, eenvoudig nie die water vorentoe kon laat vloei nie. Te veel infiltrasie het dus by die bopunt van die bedding voorgekom en die toedieningsdoeltreffendheid is dus slegs 56%. Die plat helling van S_0=0.001 is

dus duidelik minder geskik vir die infiltrasiewaardes van die 8.0 IF, as wat die steil helling van S_0=0.0125 is.

Wanneer datastel 1 en 2 vergelyk word, kom die volgende tendense na vore:

- Drukstand (en by implikasievloei-energie) ontledings kan gebruik word om die meer geskikte hellings uit te wys, of minder geskikte hellings te elimineer. Die verhouding van S_f tot S_0 kan 'n belangrike indikator in die verband wees.
- Netto vloei-energie, vir 'n bepaalde geval, het 'n invloed op toedienings doeltreffendheid. Die vraag is wat die verhouding van beskikbare netto vloei-energie vir 'n bepaalde geval behoort te wees? Wanneer is daar genoeg vloei-energie in die stelsel?

5.4 METODES ONTWIKKEL OM VLOEI-ENERGIE DATA TE BEREKEN EN VOOR TE STEL

Die term 'vloei-energie' kom as sulks nie in die woordeskat van die ontwerper voor nie. Dus moet die effek van vloei-energie op vloedbesproeiing, omskryf word in bekende terme soos 'beddinglengte', 'stroomgrootte', 'afsnytyd', 'toediening', 'helling', 'vloeiweerstand' en doeltreffendheid. In hierdie paragraaf word metodes wat hiervoor ontwikkel is, dus uiteengesit. Die volgende word bespreek:

- 'n Nuut ontwikkelde dinamiese volumebalans metode, genoem Metode 1, waarmee die absolute maksimum teoretiese beddinglengte as 'n verwysingslengte bepaal kan word.
- Kompensasie vir helling en vloeiweerstand by Metode 1 deur die verwysingslengte vir toedieningsdoeltreffendheid aan te pas.
- Berekening van Vloei-energie Ekwivalente as 'n maatstaf om die vraag na vloei-energie in 'n stelsel voor te stel.

- Berekening van werklike teenoor effektiewe stroomgrootte ten einde die transformering van data tussen die konstante tyd benadering en die konstante afstand benadering moontlik te maak.

5.4.1 Dinamiese volumebalans volgens Metode 1

Tydens simulasie van data vir die studie, is 'n konstante tyd / volume metode gebruik, wat analoog aan die benadering van Figuur 3.5 in Hoofstuk 3 is. Daar is telkens 'n maksimum lengte (ℓ) gesimuleer deur 'n gegewe volume water te gebruik. Hierdie maksimum lengte (ℓ) is verkry wanneer die vorderingsfront naby staking was. Die lengte waarby 'n 98%+ aanvullings doeltreffendheid realiseer, is as maksimum lengte (ℓ) geneem vir beddings sonder uitvloei. Hierdie gesimuleerde maksimum lengte (ℓ) is met die verlangde toediening (Z_{req}) vermenigvuldig en 'n netto toegediende volume is sodoende bereken by E_s=98%+.

Die netto toegediende volume (ℓ x Z_{req}) is vergelyk met die werklike volume water wat op die bedding toegedien is (werklike volume = Q_u x T_{co}).

Dus is die

Toedieningsdoeltreffendheid (E_a) = Netto Volume toegedien / werklike volume water

$$E_a = \frac{\ell \times Z_{req}}{Q_u \times T_{co}} \qquad \text{By } E_s = +98\%.$$

Die oogmerk vir ideale besproeiing (Hoofstuk 2, paragraaf 2.5) is om die water aan die eindpunt van die bedding te kry binne om en by die verloop van die kontaktyd (Hoofstuk 3, paragraaf 3.3.2 en Hoofstuk 4, paragraaf 4.7.2, Kruger 1998d). *Gestel die onbekende lengte (ℓ) verteenwoordig die lengte waaroor die volle stroom water (Q_u) binne die kontaktyd (T_k) sal versprei en ten volle sal infiltreer.*

Dan heers die voorwaardes van dinamiese volumebalans genoem **Metode 1**

Dus is:

$I_{gem} = Q_u$ op daardie tydtip

En

Algemene lengte $\ell = \dfrac{Q_u \times T_{co} \times E_a}{Z_{req}}$

As E_a =100% (wat nooit in die praktyk kan gebeur nie is) en $T_{co} = T_k$, sal die absolute maksimum lengte wat teoreties benader kan word:

$L = Q_u \times \dfrac{T_k}{Z_{req}}$ waar L die maks teoretiese lengte is...**(Metode 1)**

Bogenoemde vergelyking, genoem Metode 1, bied dus 'n teoretiese manier om die maksimum haalbare beddinglengte, of verwysingslengte, vir 'n bepaalde infiltrasietempo, by 'n gegewe toediening (Z_{req}) voor te stel. In die praktyk sal die beddinglengte egter beperk word deur die waarde van die toedieningsdoeltreffendheid (E_a). Let op dat hierdie vergelyking (genoem Metode 1), geen melding maak van die grondhelling of die vloeiweerstand nie. Metode 1 weerspieël dus nie die energiebalans in die sisteem nie, maar wel 'n dinamiese verband vir volumebalans. As sulks, verteenwoordig dit dus die randwaarde vir maksimum beddinglengte ongeag die energiebalans. Aangesien dinamiese toedieningsverliese nie in ag geneem is nie, kan aanvaar word dat die werklike beddinglengte altyd korter sal wees as wat Metode 1 voorspel. (Figuur 5.5 wat later bespreek word, toon die verwysingslengte soos bereken met Metode 1, asook die effens korter werklike beddinglengte, soos gesimuleer, mooi aan).

5.4.2 Kompensasie vir helling en vloeiweerstand by metode 1

Gestel die besproeiing sou op 'n ideale vlak plaasvind, wat sou gebeur as die helling van die vlak verander? Wat sou gebeur as die vloeiweerstand verander? Eenvoudig gestel: wat is die ordegrootte van die verandering in vloei-energie

wanneer die infiltrasietempo verander ten opsigte van veranderinge in helling of vloeiweerstand?

Uit die Manning verband is:

$$Q = f\frac{S^{0.5}}{n}\text{n)}$$

Dus die vloei-energie (*VE*) $VE = f\ (drukstand) = f\left(\frac{S^{0.5}}{n}\right)$

Maar stroomgrootte by punt i, $Q_i = f(Q_u - Iq)$

Dus is $VE = f\left(Q_u; Iq; \frac{S^{0.5}}{n}\right)$

Let wel dat die vloei-energie hoofsaaklik die vorderingsfront tydens besproeiing beïnvloed. Soos in Hoofstuk 4 verduidelik, word die verloop en posisie van die afdrogingsfront nie werklik deur stroomgrootte (Q_u) bepaal nie. Die verloop van die afdrogingsfront, relatief tot die vorderingsfront, bepaal (E_a) en dus die uitkoms vir 'n meer of minder geskikte ontwerp.

Uit bogenoemde beredenering volg dat dit moontlik is om die kompensasie vir helling en vloeiweerstand by die resultaat van Metode 1 te kan voeg, deur die waarde van toedieningsdoeltreffendheid (E_a) te verreken as 'n funksie van die vloei-energie (*VE)* in die stelsel.

Metode 1 by E_a=100% is:

$$L = Q_u \times \frac{T_{co}}{Z_{req}}$$

waar L die verwysingslengte is.

Nou word die werklike lengte (ℓ) bereken deur die toedieningsdoeltreffendheid (E_a) in ag te neem:

$$\ell = \frac{Q_u \times T_{co} \times E_a}{Z_{req}}$$

Waar die toedieningsdoeltreffendheid $E_a = f(VE) = f(Q_u; Iq; S_0; n)$

In Hoofstuk 5 van die studie is die waarde van E_a bepaal deur die gebruik van die SIRMOD hidrodinamiese model. Figuur 5.4 toon die gesimuleerde waardes vir toedieningsdoeltreffendheid E_a aan en stel die verwysingslengte en werklike lengtes voor. In hierdie studie is nog 'n tegniek, genoem Metode 2 (in Hoofstuk 6), ontwikkel om die waarde van E_a te voorspel.

5.4.3 Vloei-energie ekwivalente.

In voorafgaande bespreking is vloei-energie as 'n resultaat gesien. Indien die redenasie omgedraai word kan gevra word:

- Watter vloei-energie honger/vraag bestaan daar op 'n bepaalde bedding?
- Teen welke helling sal die optimale vloei-energiebalans verkry word?
- Hoe behoort die vloeiweerstand manipuleer te word, indien wel nodig?
- Met watter stroomgrootte kan kunsmatige drukstand geskep word ten einde die vloei-energie vraag te versadig?

Die term vloei-energie-ekwivalente is gedefinieër om 'n aanduiding te kry van die vraag na vloei-energie wat in 'n spesifieke stelsel voorkom. In die voorstelling van figure 5.7 en 5.8 is die vloei-energie-ekwivalente (Q_{uve}) bereken vir verskillende inname families (8.0IF, 4.0IF, 1.0IF en 0.1IF), by hellings van S_0=0.0125 en S_0=0.001 respektiewelik, vir data uit die OPTIVLOED 2.2 program soos in tabelle 4.3, 4.6, 4.9 en 4.12 weergee.

Vloei-energie-ekwivalente word uitgedruk in stroomgrootte (Q_{ve} (l/s)/m). Dit verwys dus na volume per tyd. Dit kan dit gebruik word vir dinamiese volumebalans en ook omgeskakel word na drukstand (Kinetiese Energie en Potensiële Energie).

5.4.4 Werklike teenoor Effektiewe stroomgrootte.

Die aanwending van Metode 1 tesame met gesimuleerde data het gelei tot 'n interessante benadering in die berekening van toedieningsdoeltreffendheid (E_a).

Vir 'n gesimuleerde bedding is die maksimum lengte (ℓ) korter as die verwysingslengte (L), soos met metode 1 bereken. Die lengteverskil is as gevolg van water wat weens oorbesproeiing aan die bopunt van die bedding verlore gaan. As die verlangde toediening (Z_{req}) in beide gevalle dieselfde bly, volg dat:

$$E_a = \frac{\ell}{L}$$

As die afsnytyd (T_{co}) ook dus dieselfde bly sal die volume dieselfde wees. Nou word 'n effektiewe stroomgrootte (Q_e) definieer waar :

$$Z_{req} = \frac{Q_e \times T_{co}}{\ell} \quad \text{en} \quad Z_{req} = \frac{Q_u \times T_{co}}{L}$$

Dus $$Q_e = \frac{Q_u \times \ell}{L} = Q_u \times E_a$$

In die geval hierbo word effektiewe stroomgrootte (Q_e) dus bereken deur werklike stroomgrootte (Q_u) met die verhouding tussen werklike lengte(ℓ) en verwysingslengte (L) te vermenigvuldig. Effektiewe stroomgrootte en werklike lengte is dus veranderlikes wat resulteer uit gemete of gesimuleerde besproeiingsepisodes. Wanneer toediening (Z_{req}) as onafhanklike veranderlike gebruik word en teenoor werklike stroomgrootte (Q_u= 20 (l/s)/m) en werklike beddinglengte (ℓ) (met E_a en verwysingslengte by E_a=100% aangedui) op 'n grafiek gestip word, soos voorgestel in Figuur 5.5, kan hierdie verband gebruik word.

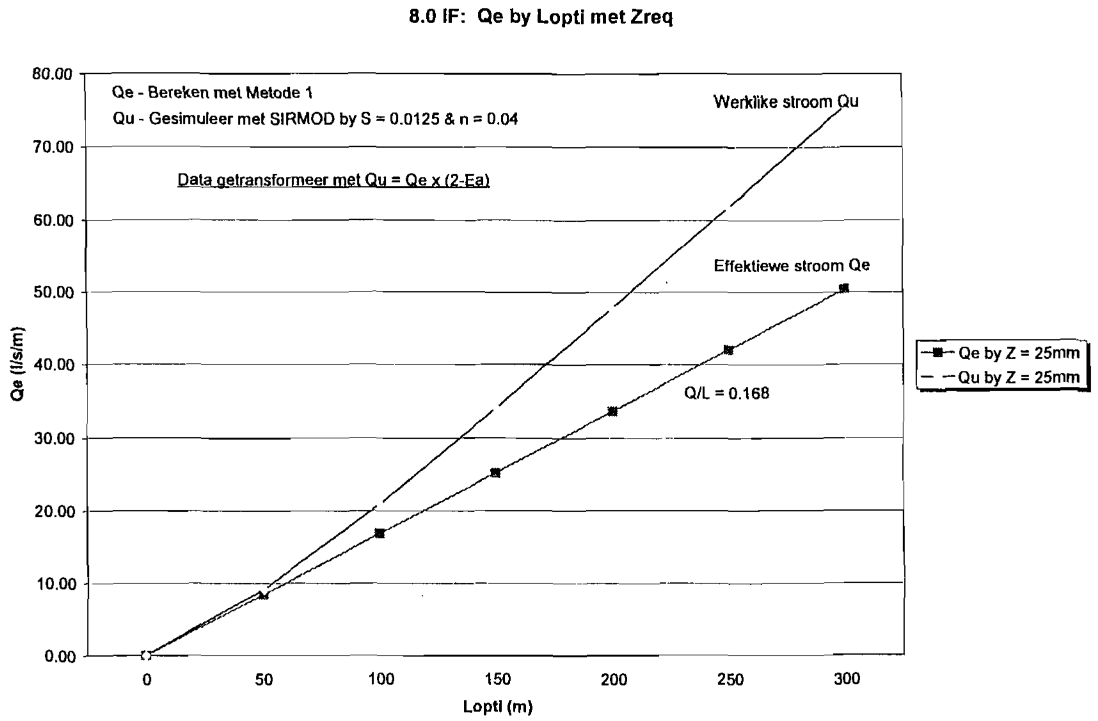
Soms is dit nodig om die werklike lengte as onafhanklike voor te stel, soos wanneer data met die OPTIVLOED-2.2 program se data vergelyk word. In die geval, soos voorgestel in Figuur 5.4, is $L_{opti} = \ell$, die onafhanklike. Q_e en ℓ word met metode 1 bepaal, terwyl die waarde van Q_u met 'n getransformeerde verband

bepaal moet word. Die getransformeerde verband omskryf Q_u as 'n funksie van Q_e (bepaal met metode 1), en E_a (bepaal met meting of simulasie):

$$Q_u = Q_e + Q_e(1 - E_a) = Q_e(2 - E_a)$$

Hierdie verband kan gebruik word om werklike lengte teen werklike stroom en effektiewe stroom te stip, vir verskillende waardes van toediening. Nou kan die toedieningsdoeltreffendheid (E_a) visueel as die verskil (vanaf 'n $Q = 0$ verwysingslyn) tussen die twee lyne gesien word.

'n Bonus is dat die ou bekende $\frac{Q}{L}$ verband (Schockley *et al.*, 1964 en SCS, 1974) nou skielik na vore tree as $\frac{Q_e}{\ell}$. Dus kan empiriese metodes se randwaardes met resultate van hierdie studie vergelyk word. Die idee van 'n effektiewe stroom strook met die benadering van die Agriculture Handbook no 82 soos aangehaal deur Schockley (Schockley *et al.*, 1964) waar q gedefinieer is as die eenheidstroom wat 'n bedding van 1 voet wyd en 100 voet lank effektief met 1 duim water sal benat. $2q$ sal dus 'n lengte van 200 voet met 'n 1 duim toediening benat. Volgens die benadering is $\frac{q}{L}$ 'n konstante vir 'n gegewe grond en toediening. Schockley se $\frac{Q_u}{L}$ is egter nie 'n reglynige verband nie, aangesien daar per definisie reeds vir doeltreffendheid in sy aannames gekompenseer was.



Figuur 5.4 Voorstelling van Effektiewe stroom (Q_e) en werklike stroom(Q_u)

In Figuur 5.4 word Q_e en Q_u vergelyk vir verskillende beddinglengtes met Z_{req}= 25mm. Die reguit lyn van Qe verteenwoordig die effektiewe teoretiese aanwending van stroom vir besproeiing by E_a = 100%. Die werklike stroom Q_u verteenwoordig gesimuleerde resultate by S_o = 0.0125 en n = 0.04, teen laer waardes van E_a. Soos die bedding lengtes verleng na 300m, word die haalbare doeltreffendheid al laer. Die area tussen die lyne verteenwoordig die verlies aan stroomgrootte weens oorbesproeiing aan die bopunt van die bedding

Die effek van helling, vloeiweerstand, infiltrasietempo en verskillende toedienings op vloei-energie, kan nou met behulp van die tegniek bestudeer en voorgestel word.

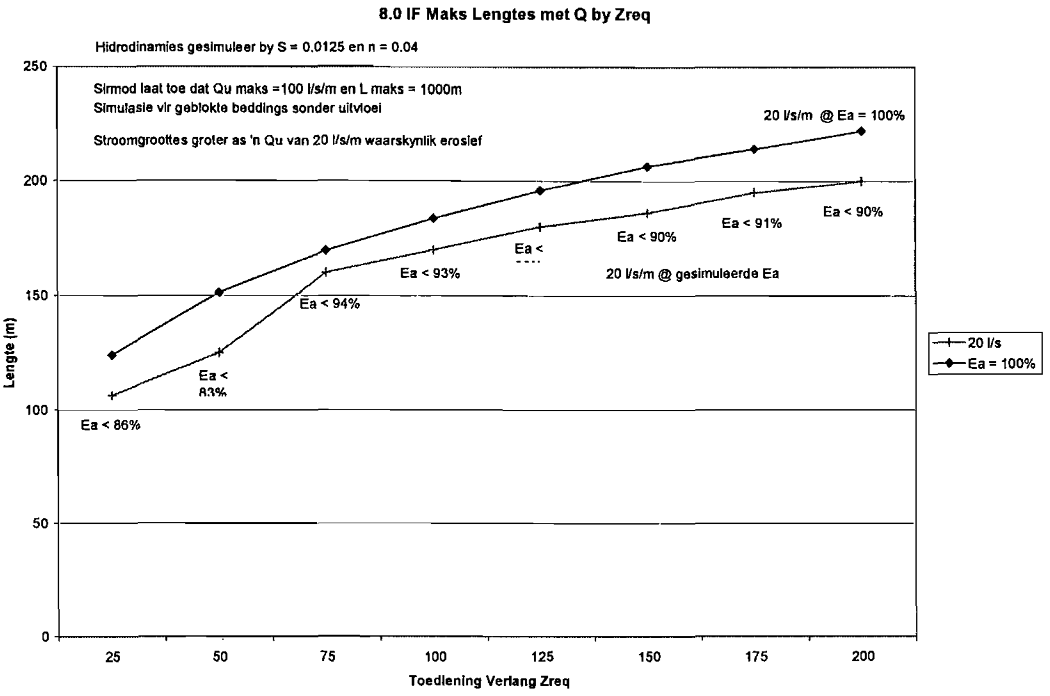
5.5 FAKTORE WAT 'n INVLOED OP VLOEI-ENERGIE HET

As vloei-energie deur die drukstandverlies tydens vloedbesproeiing bepaal word, is dit duidelik dat alle faktore wat die drukstandverlies beïnvloed, 'n invloed op vloei-energie sal uitoefen. Figuur 5.6 toon die berekende drukstandverliese tydens 'n spektrum van

besproeiingsepisodes by verskillende toedienings en stroomgroottes aan. Vir die ontwerper sê die inligting niks nie. Dit is eers as die inligting in verband met die toedieningsdoeltreffendheid gebring word, wat dit betekenis verkry.

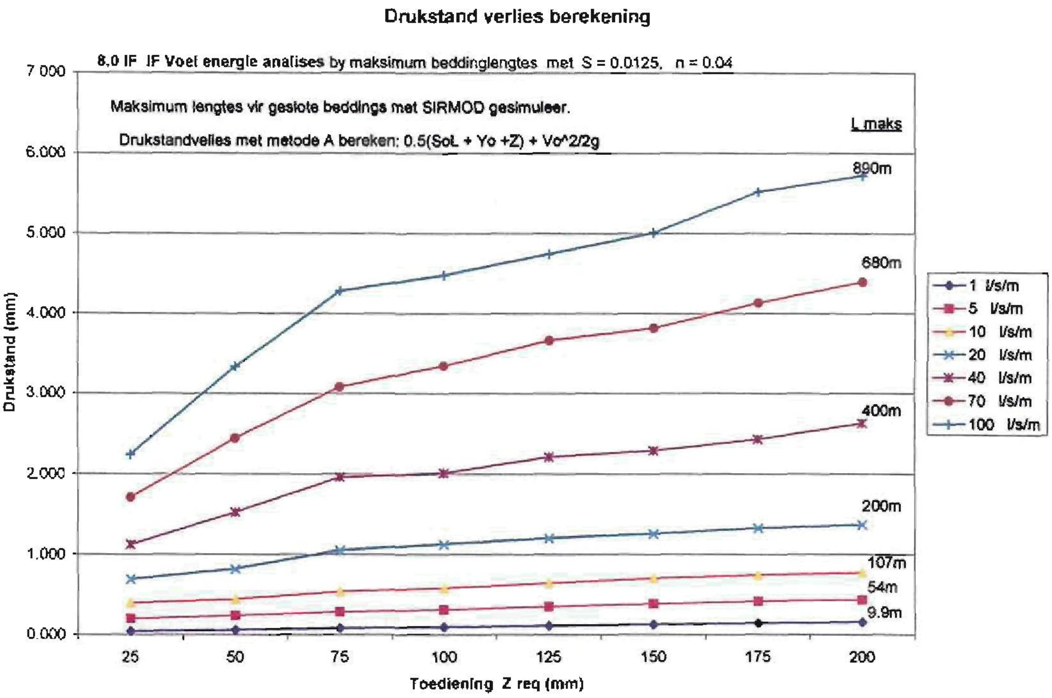
In Figuur 5.4 word 'n verlangde toediening (Z_{req}) van 25 mm voorgestel by verskillende stroomgroottes (Q_u = 0 tot 76 (l/s)/m), terwyl die effektiewe stroomgrootte Q_e wissel van 0 tot 50 (l/s)/m vir dieselfde data. Die toedieningsdoeltreffendheid ($E_a = 2 - \frac{Q_u}{Q_e}$) is 97% by 'n kort beddinglengte van 50m daal eksponensiële namate die beddinglengte vergroot. By 'n beddinglengte van 300 m is die toedieningsdoeltreffendheid slegs 48% ($E_a = 2 - \frac{76}{50} = 48\%$).

In Figuur 5.5 word 'n spektrum van verlangde toedienings (Z_{req} = 25mm tot 200mm) getoon teenoor beddinglengte, by 'n werklike stroomgrootte Q_u = 20 (l/s)/m. Die gesimuleerde data vir die verwysingslengte asook die werklike beddinglengte waarby die vorderingsfront beweging sal staak (met ander woorde die vloei-energie word bykans nul by die punt), word vir die 8.0 IF innamefamilie aangetoon. Die waarde van die toedieningsdoeltreffendhede is telkens deur die SIRMOD model bereken en word aangetoon. Uit Figuur 5.5 kan gesien word dat die maksimum teoretiese beddinglengte, of verwysingslengte, by 'n stroomgrootte van Q_u = 20 (l/s)/m, toeneem vanaf ongeveer 150m by Z_{req} = 25 mm tot ongeveer 223m by Z_{req} = 200mm. Die werklike beddinglengte (ℓ) is deurgaans effe korter as die verwysingslengte, as gevolg van feit dat die besproeiing nie volkome doeltreffend kan verloop nie. Toedieningsdoeltreffendhede (E_a) soos gesimuleer by maksimum werklike beddinglengte, word aangedui.



Figuur 5.5 **Gesimuleerde beddinglengtes waarby die vloei-energie bykans nul word en die vorderingsfront dus staak, aangetoon teenoor die verwysingslengte bereken met Metode 1**

Die waardes vir toedieningsdoeltreffendheid wissel van 83% tot 94%. Deur die benutting van die konstante tyd benadering uit paragraaf 3.2.3.2 kon die gesimuleerde resultate teenoor 'n tendenslyn of verwysingslengte, bereken met Metode 1 vir toedieningsdoeltreffendheid (E_a) van 100% gestip word. Die gesimuleerde resultate, asook variasie in resultate (die lyn behoort 'n egalige kromming te vertoon) as gevolg van operateursfoute, kan dus teenoor 'n teoretiese norm beoordeel word.



Figuur 5.6 Drukstandverlies soos bereken vir gesimuleerde data by stakingslengte

In Figuur 5.6 word die drukstandverlies wat tydens elke besproeiingsepisode (onder andere die in Figuur 5.3) plaasgevind het, aangetoon. Daar kan gesien word dat die drukstandverlies toeneem met 'n toename in toediening (Z_{req})(en dus groter kontaktyd), asook met die toename van stroomgrootte (Q_u), aangesien langer lengtes (ℓ) met groter strome besproei kan word en stroomgrootte die vloeidiepte (y_o) laat toeneem. Die drukstandverlies is bereken deur die Bernoulli stelling op die posisie verplasing van die besproeiingwater toe te pas. Die water het vanaf die inlaatposisie aan die bopunt van die bedding, af beweeg en oor die bedding infiltreer om na besproeiing, teen die waarde van die gemiddelde toediening, oor die lengte van die bedding tot rus te kom. Die swaartepunt het dus na 'n posisie halfpad teen die bedding af verskuif:

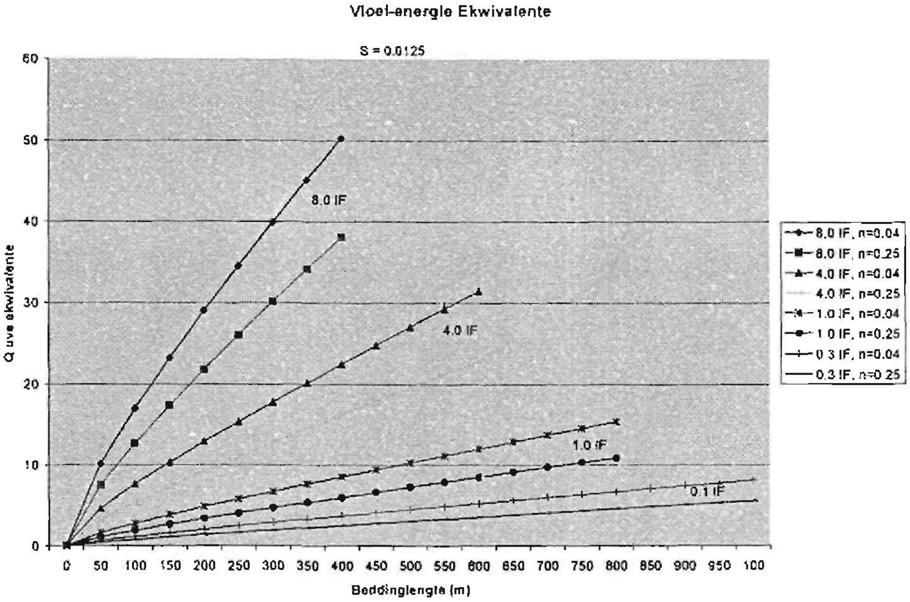
$$\text{Drukstandverlies} = 0.5(S_0 \ell_0 + y_0 + Z) + \frac{V_0^2}{2g}$$

Soos in Figuur 5.3 aangetoon staan drukstandverlies in direkte verband met die waterhelling of wrywingshelling "friction slope". Dit verteenwoordig die energie wat tydens die besproeiing verbruik word en dui op die geskiktheid van helling en vloeiweerstand vir 'n bepaalde besproeiing, soos reeds in paragraaf 5.3 aangedui.

In die voorafgaande paragrawe is die begrip vloei-energie omskryf, die metodes om dit te bereken is gedemonstreer en wyses om die resultate voor te stel is aangedui. Die bekende faktore betrokke by vloedbesproeiing (infiltrasietempo, lengte, helling en so meer) kan nou individueel ten opsigte van hul invloed op vloei-energie bespreek word:

5.5.1 Infiltrasietempo

Infiltrasie verteenwoordig 'n energie absorberende komponent. Hoe groter die infiltrasietempo van die grond, hoe meer energie-honger raak die stelsel ten einde 'n netto positiewe waarde vir vloei-energie beskikbaar te hê, waarmee die vorderingsfront kan vorder.



Figuur 5.7 Vloei-energie ekwivalente vir verskillende beddinglengtes en inname families soos uit OPTIVLOED 2.2 data bereken vir 'n steil helling van $S_0 = 0.0125$.

Soos in Figuur 5.7 aangetoon het infiltrasietempo 'n groot invloed op vloei-energie ekwivalente. Twee tendenslyne is vir elke inname familie (IF) aangetoon, naamlik by 'n vloeiweerstandswaarde van n=0.04 (kaalgrond) en n=0.25 (digte lusern), by 'n helling van S_0 = 0.0125. So sal 'n 8.0 IF 'n vloei-energie ekwivalente waarde van Q_{uve} = 38 to 50 (l/s)/m hê, terwyl 'n 1.0 IF 'n vloei-energie ekwivalente waarde van Q_{uve} = 6 to 9 (l/s)/m sal hê.

Dit is duidelik dat infiltrasie 'n veel groter invloed op vloei-energie het as wat die verandering in vloeiweerstand het. Vir die 8.0IF, by 'n beddinglengte van 400m, verander die waarde van vloei-energie ekwivalente (Q_{uve}), van 50 na 38 (l/s)/m soos wat vloeiweerstand van n=0.04 na n=0.25 verander. Volgens paragraaf 5.5.4 sou verwag word dat Q_{uve} behoort toe te neem met 'n toename van vloeiweerstand. Aangesien verhoogde vloeiweerstand egter tot groter toediening lei, verlaag die gemiddelde filtrasietempo en dit domineer die verlaging in Q_{uve}. Soortgelyk domineer die verandering in infiltrasietempo die verandering in helling se invloed ten opsigte van Q_{uve}, as daar tussen figure 5.7 en 5.8 vergelyk word.

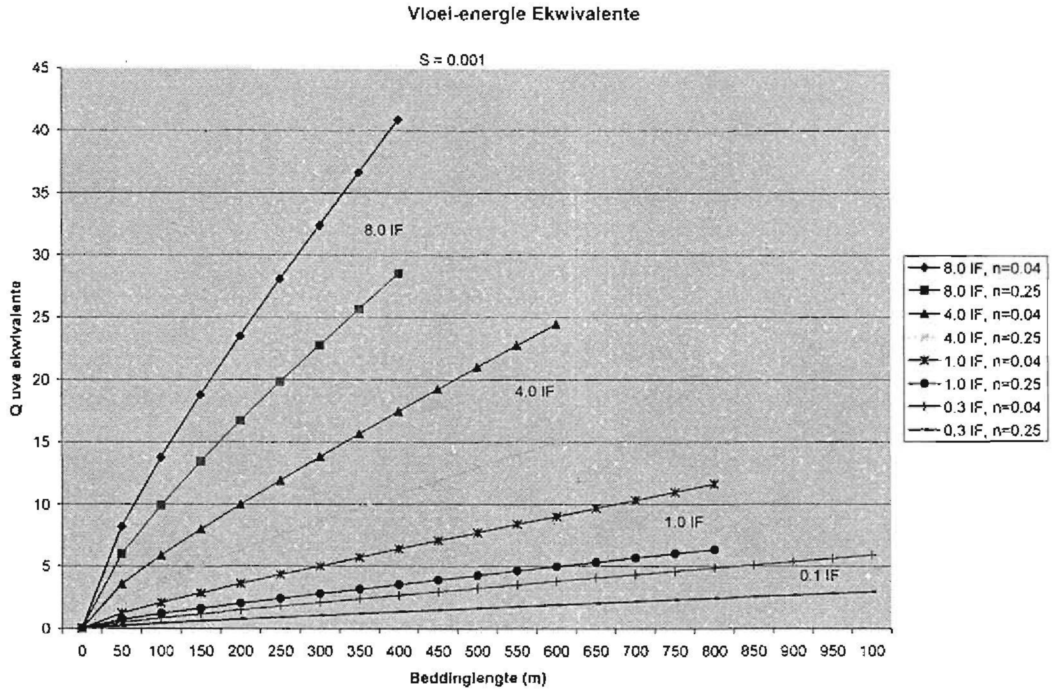
5.5.2 Beddinglengte

Beddinglengte verteenwoordig 'n energie absorberende komponent. Hoe langer die bedding, hoe groter die oppervlak waaroor infiltrasie kan plaasvind en dus 'n groter totale honger vir (vraag na) energie in die stelsel. Figuur 5.8 toon dat vloei-energie ekwivalente (Q_{uve}) toeneem met beddinglengte.

5.5.3 Helling

Helling verteenwoordig 'n energie gewende komponent. Hoe groter die helling, hoe meer energie sal daar in die stelsel vir die vloei van water beskikbaar wees. Let op dat die infiltrasietempo hierdie effek soos in paragraaf 5.5.1 mag domineer en dan 'n teenoorgestelde effek lewer. As Figure 5.7 en 5.8 vergelyk word, kan gesien word dat Q_{uve} by S=0.0125 tussen 38 en 50 (l/s)/m is, vir n=0.25 en n=0.04 respektiewelik. Dit verlaag na Q_{uve} van tussen 28 en 41 (l/s)/m volgens die OPTIVLOED 2.2 berekeninge, aangesien die toediening (Z) uit tabel 4.3, by die

optimale lengte(L_{opti} = 400m) toegeneem het vanaf 62mm vir die steil helling (S=0.0125) na 130mm vir die platter helling (S=0.001). Die gemiddelde infiltrasietempo het dus verlaag omdat die kontaktyd verleng het. Gevolglik word die effek van helling deur die effek van infiltrasie oorskadu en daal die waarde van die vloei-energie ekwivalente teen die verwagting in.



Figuur 5.8 Vloei-energie ekwivalente vir verskillende beddinglengtes en inname families soos uit OPTIVLOED 2.2 data bereken vir 'n plat helling van S_0 = 0.001.

5.5.4 Gewas & Vloeiweerstand

Gewas en vloeiweerstand verteenwoordig 'n energie absorberende komponent. 'n Groter weerstand sal die water effe opdam, 'n groter vloeidiepte veroorsaak en dus die netto energie beskikbaar vir vloei verminder. Let op dat die infiltrasietempo hierdie effek soos in paragraaf 5.5.1 mag domineer en dan 'n teenoorgestelde effek lewer.

5.5.5 Stroomgrootte

Stroomgrootte verteenwoordig 'n energie gewende komponent. 'n Groter stroom sal tot 'n groter vloeidiepte lei en dus 'n groot bydrae tot die wrywingshelling of waterhelling maak.

5.5.6 Afsnytyd

Aangesien die meeste gronde se infiltrasietempo skerp afneem met verloop van tyd, sal 'n vergroting van die afsnytyd bydra om die netto vloei-energie in die stelsel te verhoog.

5.5.7 Toediening

Toediening is afhanklik van tyd. Soos in die geval van afsnytyd, sal 'n groter toediening by 'n laer gemiddelde infiltrasietempo plaasvind. Gevolglik sal 'n groter toediening bydrae om die netto vloei-energie te verlaag.

5.5.8 Toedieningsdoeltreffendheid

Toedieningsdoeltreffendheid sal die gevolg van netto vloei-energie in 'n bepaalde stelsel weergee. Gestel die netto vloei-energie is korrek aangepas om die tempo van die vorderingsfront aan te pas by die natuurlike tempo van afdroging, dan sal 'n hoë doeltreffendheid vir die besproeiing realiseer. As die netto vloei-energie in die stelsel egter te laag is, sal die vorderingsfront te stadig beweeg en sal die besproeiing "afknyp". Die gevolg is dat te veel water aan die bopunt van die bedding sal infiltreer (relatief tot die onderpunt) en dat 'n lae toedieningsdoeltreffendheid dus sal realiseer.

5.6 DIE INVLOED VAN VLOEI-ENERGIE OP BESPROEIINGS ONTWERP

In Hoofstuk 2, paragraaf 2.6, Figuur 2.2, word 'n ewewigskaal gebruik om aan te dui watter meganismes die ontwerper en besproeiingsoperateur tot hul beskikking het om 'n besproeiing kan beheer ten einde die gewenste resultaat te verkry. Die numeriese waarde vir vloei-energie of waarde van drukstand (byvoorbeeld die numeriese waardes in Figuur

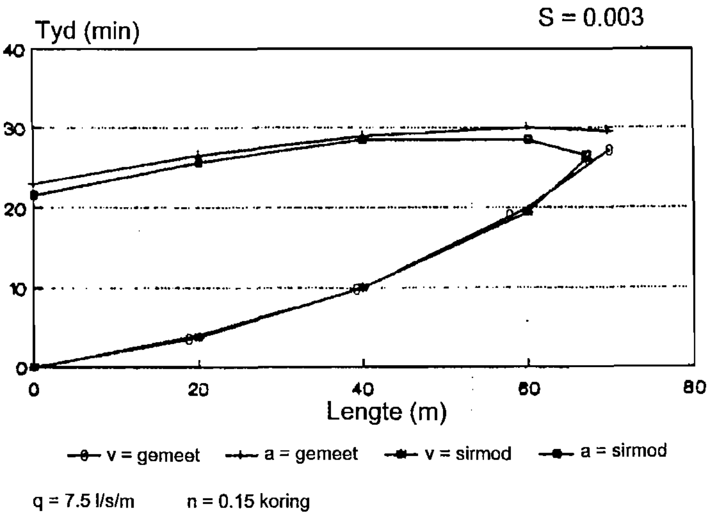
5.6) is nie noodwendig van groot belang in die bestuur van 'n vloedbesproeiingstelsel nie. As die totale waarde van positiewe en absorberende energie komponente in mandjies op die skaal balanseer, dan is slegs die netto positiewe vloei-energie van belang om die skaal in een of ander rigting te kantel. Met 'n klein waarde vir die netto positiewe vloei-energie (in die stelsel), sal die bedding "stadig lei" en 'n swaar besproeiing sal plaasvind. Met 'n groot netto positiewe vloei-energie sal die vorderingsfront vinnig vorder en afgesny word. Die bedding lei dus "vinnig" en 'n klein toediening realiseer. In die praktyk vind Du Rand en medewerkers (1985), byvoorbeeld dat die besproeiing op perseel 6A4 te Vaalharts, baie effektief verloop het en dat toedienings relatief min gewissel het (40 tot 55 mm) terwyl die stroomgrootte van 80 tot 200 m^3/h op 'n 6 m wye bedding gewissel het. Die operateur het in hierdie geval telkens die afsnytyd by die omstandighede aangepas en so voorsiening gemaak vir variasie in infiltrasietempo wat van een besproeiing na die volgende voorkom. Dit maak so ook voorsiening vir die wisseling in stroomgrootte. Die stelsel is in ewewig of binne 'n goeie ontwerpgebied. Die werklike maksimum beddinglengte wat op perseel 6A4 besproei kan word, is bykans dubbel die lengte van 80m wat gebruik word.

In teenstelling hiermee is die numeriese waarde van vloei-energie of waarde van drukstand van groot belang by die stel van randwaardes vir byvoorbeeld maksimum beddinglengtes, maksimum stroomgrootte, toedieningsdoeltreffendheid en minimum hellings.

Hierdie onderskeid tussen die waarde van vloei-energie by maksimum beddinglengtes en die waarde van vloei-energie by bepaalde ontwerp of bestuurspraktyke word verder in paragrawe 5.6 en 5.7, onderskeidelik, toegelig.

5.6.1 Maksimum beddinglengtes en vloei-energie

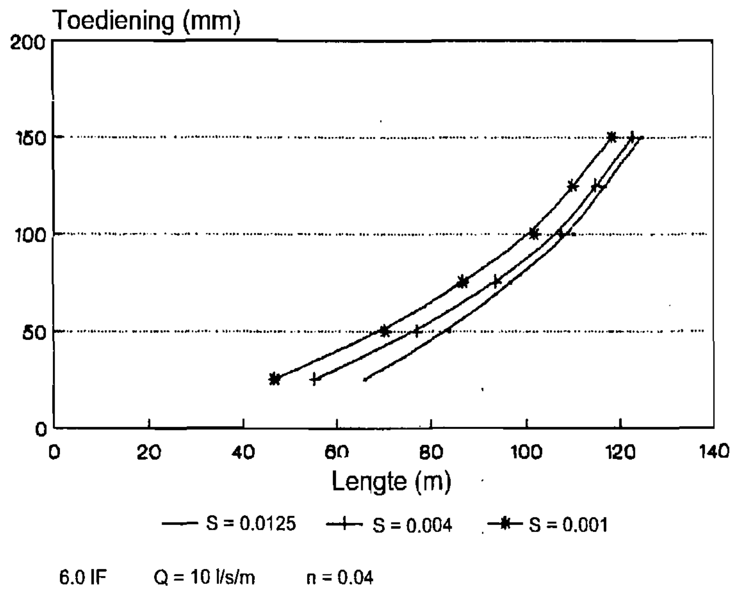
Namate die beddings se lengtes toeneem, neem die doeltreffendheid van besproeiing normaalweg af (Figuur 5.4 dui so 'n voorbeeld aan) Dit gebeur as gevolg van die teenoorgestelde kromming van die vorderings- en afdrogingskrommes (Figuur 5.9).



Figuur 5.9 Teenoorgestelde krommings van die (*v*) vorderings- en (*a*) afdrogingsfronte waardeur beddinglengte beperk word.

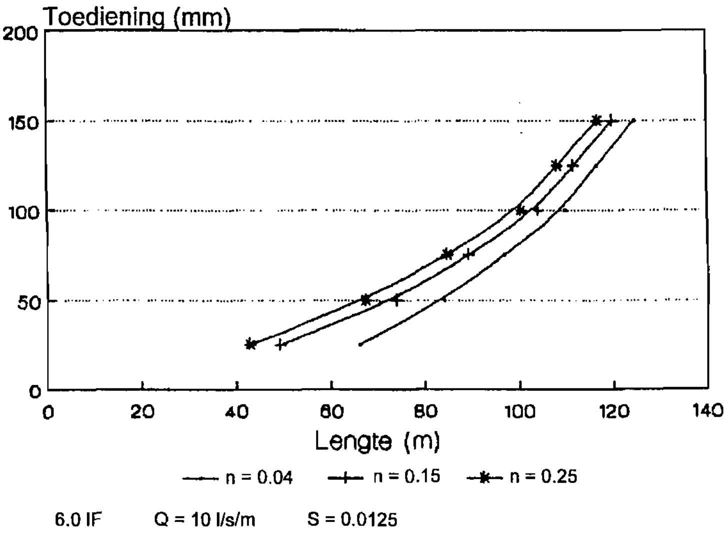
In Figuur 5.10 word die invloed van netto vloei-energie op 'n grond met 'n 6.0 IF inname familie, as maksimum vorderingsfrontafstande, getoon. 'n Stroomgrootte van 10 (l/s)/m is deurgaans in die simulasies gebruik. Die vereiste kontaktyd om 'n bepaalde toediening teen 'n 70% doeltreffendheid te verseker, is telkens gebruik om die afsnytyd te bepaal. Figuur 5.10 toon die maksimale vorderingsafstande wat met 'n 10 (l/s)/m stroomgrootte teen die berekende afsnytyd (vir bepaalde toedienings) vir hellings van S_0=0,0125, S_0=0,004 en S_0=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=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=0,0125 tot S_0=0,001).



Figuur 5.10 Die invloed van die netto vloei-energie op maksimum vorderingsfrontafstande by verskillende hellings, soos bepaal op gronde met 'n 6.0 IF infiltrasietempo.

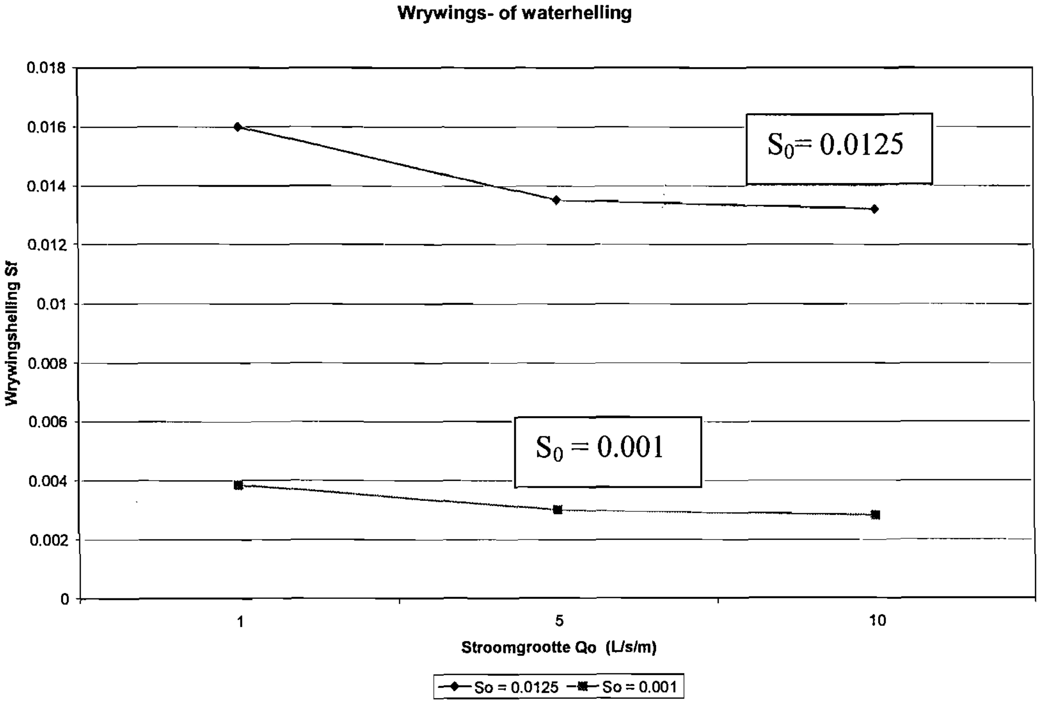
Netso kan die invloed van vloeiweerstand op die netto vloei-energie deur maksimum vorderingsfrontafstande aangetoon word. (Figuur 5.11). Hier word die invloed van die vloeiweerstand op die netto vloei-energie vir gronde met 'n ultrahoë infiltrasietempo by 'n helling van S_0=0,0125 aangedui. Die afname 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 5.11 **Die invloed van netto vloei-energie soos aangetoon deur maksimum vorderingsfrontafstande vir 'n stroomgrootte van 10 (l/s)/m by verskillende vloeiweerstande.**

5.6.2 Minimum bedding hellings en vloei-energie

Uit die gesimuleerde data, voorgestel in Figure 5.4 tot 5.6, is die wrywings- of waterhellings (S_f) ook bepaal. In Figuur 5.12 word die onderskeie wrywingshellings vir gesimuleerde besproeiing op verskillende grond hellings aangedui. Die waterhelling (S_f) kan dus telkens met die grondhelling (S_f) vergelyk word.



Figuur 5.12: Vergelyking van wrywings- of waterhelling (S_f) met die grondhelling (S_0).

By die steil grondhelling $S_0 = 0.0125$, word 'n waterhelling van $S_f = 0.0016$ by $Q_u = 1$ (l/s)/m gevind, $S_f = 0.0135$ by $Q_u = 5$ (l/s)/m en $S_f = 0.0132$ by $Q_u = 10$ (l/s)/m. By die kort beddinglengte is $S_f / S_0 = 1.28$ en daal dan geleidelik na 1.05 soos die beddinglengte toeneem.

In die geval van die plat grondhelling van $S_0 = 0.001$ word 'n waterhelling van $S_f = 0.00349$ gevind by $Q_u = 1$ (l/s)/m, $S_f = 0.003$ by $Q_u = 5$ (l/s)/m en $S_f = 0.0282$ by $Q_u = 10$ (l/s)/m. By die kort beddinglengte is $S_f / S_0 = 3.94$ en daal soos die beddinglengte toeneem na $S_f / S_0 = 2.82$.

Die toedieningsdoeltreffendhede(E_a) en waardes van S_0 en S_f word in tabel 5.2 aangedui. Vir 'n helling van $S_0 = 0.0125$ word die verwagte afname van toedieningsdoeltreffendheid vanaf 95/6% na 87% met toename in lengte van 6.2m na 63.1m, gesien. Dit verteenwoordig die normale teengestelde krommings van die vordering en afdrogingsfronte. In geval van die platter helling van $S_0 = 0.001$,

neem die toedieningsdoeltreffendheid skerp af vanaf 85 % by 6.1 m lengte, na 56% by 40.4 meter lengte. Die tempo waarteen die vordering en afdrogingsfronte beweeg is dus nie dieselfde nie en die krommings vertoon dus nie parallel nie. Die vorderingsfront vorder te stadig. Daar is eenvoudig nie genoeg vloei-energie in die stelsel nie. Om te kompenseer vir die gebrek aan helling, neem die vloeidiepte van die water by die inlaatpunt toe. Vandaar die hoë waarde van S_f/ S_0. Dit is egter nie genoeg nie. Die stelsel produseer 'n swak besproeiing met 'n ongewenste resultaat.

Tabel 5.2: Die invloed van vloei-energie op die relatiewe verhouding van die waterhelling (S_f/S_0) en besproeiingsdoeltereffendheid (E_a)

	Grondhelling S_0 = 0.0125			**Grondhelling S_0 = 0.001**		
Q_u (l/s)/m	**1**	**5**	**10**	**1**	**5**	**10**
Z_{req} mm	25	25	25	25	25	25
L gesimuleer	6.2	34.6	63.1	6.1	23.9	40.4
n	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
S_f	0.016	0.0135	0.0132	0.00394	0.003	0.00282
S_f / S_0	1.28	1.08	1.05	3.94	3.0	2.82
E_a %	95	96	87	85	66	56

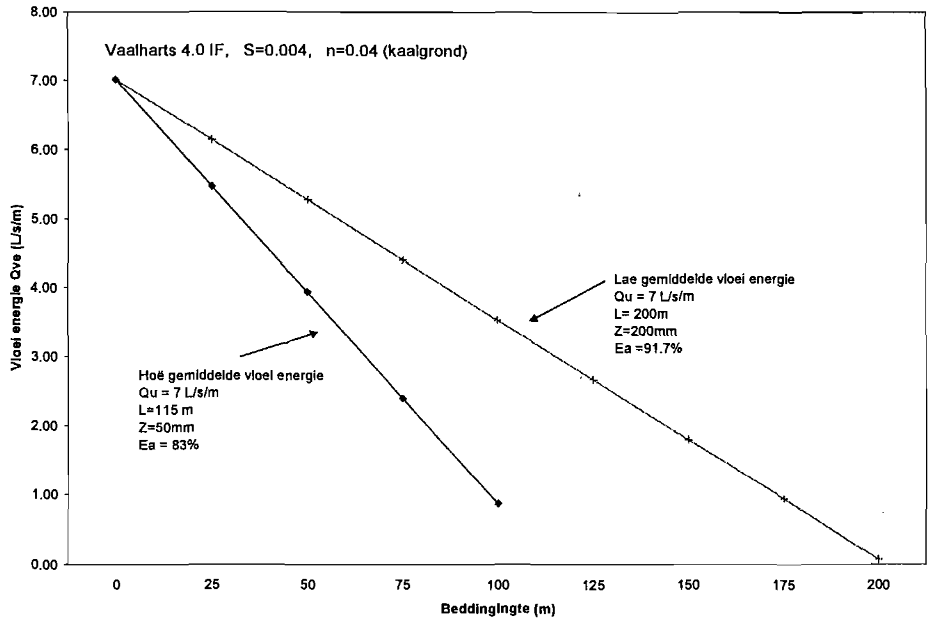
Die sleutel tot herkenning die van die swak prestasie en dus die stel van randwaardes, lê in die analise van die invloed van vloei-energie op die stelsel, soos deur die verhouding van $\frac{S_f}{S_0}$ weergee word. Die randwaarde vir minimum helling (S_0 minimum) wat geskik is vir 'n bepaalde grondtipe (IF inname familie), kan dus gestel word deur die verhouding van S_f tot S_0 te beperk en hoë toedieningsdoeltreffendhede (E_a) te handhaaf.

5.7 DIE BESTUUR VAN AFSNYTYD -----BESTUURSFAKTOR α_3

In paragraaf 5.6 is gefokus op die vloei-energie in 'n stelsel as geheel, en hoe variasie daarvan die uitkoms van 'n besproeiingsepisode beïnvloed. In hierdie paragraaf word die

fokus verdiep na die verskil in netto vloei-energie op verskillende punte binne 'n bedding of stelsel.

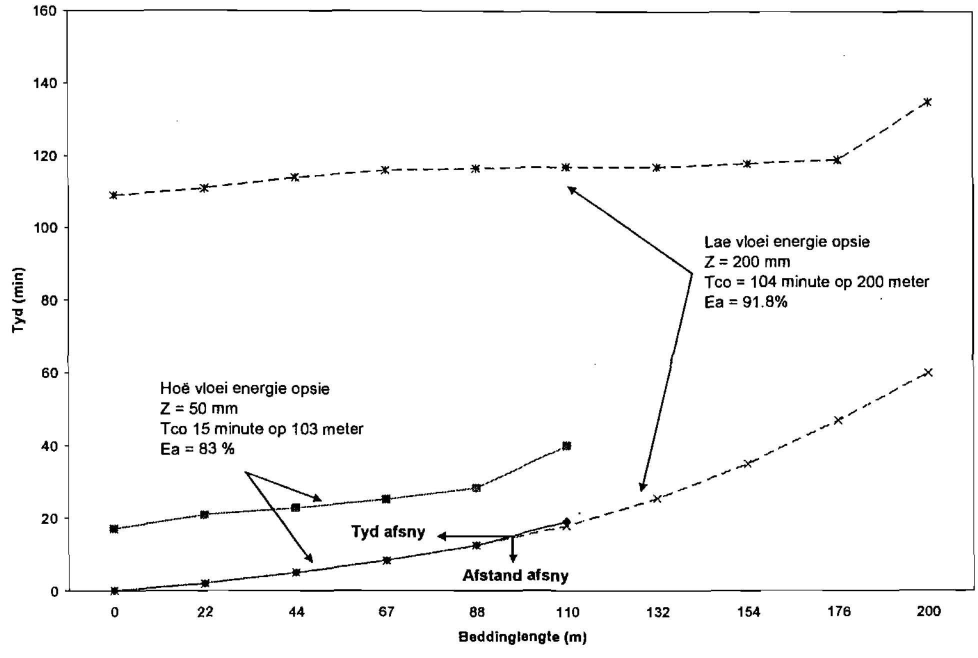
Figuur 5.13 toon 'n eenvoudige grafiese voorstelling van gemiddelde vloei-energie, soos uitgedruk in Vloei-energie-ekwivalente (Q_{ve}) teenoor beddinglengte aan. 'n Bedding met hoë vloei-energie en een met lae vloei-energie word aangetoon. Infiltrasie, helling en vloeiweerstand is geldig vir tipiese besproeiing van mielies te Vaalharts. Die hoë vloei-energie bedding, verteenwoordig tipiese praktyk te Vaalharts met toedienings van 50 mm per besproeiing. Die lae vloei-energie bedding stel 'n ontwerpalternatief voor. Hoewel die 200mm toediening op die sandgronde te Vaalharts, onprakties groot is, kan die afsnytyd bestuurs beginsels gedemonstreer word.



Figuur 5.13 Vloei-energie teenoor beddinglengte vir twee alternatiewe ontwerpe

Die hoë vloei-energie bedding het 'n $\frac{Q_e}{L}$ = 0.05 mm/s waarde, terwyl die lae vloei-energie bedding 'n $\frac{Q_e}{L}$ = 0.032 mm/s waarde het. Beide word besproei met 'n

stroomgrootte van $Q_u = 7$ (l/s)/m. Die vordering- en afdrogingsfronte is met SIRMOD gesimuleer en word in Figuur 5.14 aangetoon.



Figuur 5.14 Vordering en afdrogingsfronte vir die data in Figuur 5.13 waarby die afsnytyd en afsny afstande aangedui is

Figuur 5.14 dui aan dat vorderingsfronte vir beide die ontwerpopsies, presies eenders verloop totdat die watertoevoer by die hoë vloei-energie opsie afgesny word.

- By die korter bedding met hoë vloei-energie, word die water op 'n afstand van 103 meter afgesny, en bereik die vorderingsfront die eindpunt van die bedding (110m) binne 17 minute, waar die surplus water dan opdam. Afdroging begin op 17 minute en verloop relatief parallel aan vordering.

- In geval van die lae vloei-energie bedding, word die vorderingsfront voortgesit om die beddinglengte van 200m in 60 minute te bereik Die vloei-energie is so laag dat die bedding (met geslote /geblokte end) vir 'n verdere 44 minute natgelei word ten einde die toediening van 200 mm te bereik. Na 'n totaal van 104 minute

word die watertoevoer dan afgesny. Op 108 minute begin afdroging aan die bopunt van die bedding, verloop relatief parallel aan die afdroging van die hoë vloei-energie bedding se afdrogingsfront en voltooi op 135 minute. Hoewel die vordering en afdroging op die lae vloei-energie bedding nie parallel verloop het nie, realiseer 'n hoë toedieningsdoeltreffendheid van $E_a = 91.8$ %, weens die groot toediening (afgelei uit $Z= aT^b$) wat gegee is.

Die hoë vloei-energie bedding verteenwoordig tipiese Suid-Afrikaanse besproeiings praktyk waar daar van 'n afstand- afsny metode gebruik gemaak word. Die lae vloei-energie bedding verteenwoordig die tipiese VSA ontwerp, waar 'n tydbeheerde afsny stelsel gevolg word. Elkeen van die twee opsies het 'n toepassingsvlak. Vir 'n spesifieke vloedbesproeiingstelsel sal die netto vloei-energie afneem met 'n toename in beddinglengte. Die spoed van die vorderingsfront sal dus afneem soos daar verder in die bedding afbeweeg word. Kruger (1998) definieer 'n bestuursfaktor (α_3), wat in die OPTIVLOED 2.2 program gebruik word om 'n onderskeid te maak tussen die twee wyses waarop die afsnytydsein (afstands- of tydbeheerd) in die ontwerp verreken word. Die agtergrond en ontwikkeling van die bestuursfaktor word vervolgens kortliks bespreek.

5.7.1 Afsnytyd bestuur in Suid-Afrika

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, deur die navorser, het egter aan die lig gebring dat daar nie 'n groot sensitiwiteit ten opsigte van die afsnytyd op lang beddings onder sekere toestande wat 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 leistroom afsny, beïnvloed nie. In die praktyk word die water afgesny wanneer die vorderingsfront tot byna aan die einde van die bedding gevorder het. Die 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.

5.7.2 Ontleding van faktore wat Afsnytyd en dus die bestuursfaktor α_3 beïnvloed.

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

- Waarom is bestuur by sekere besproeiingstelsel meer kritiek as by ander?
- Watter invloed het bestuur op die ontwerp en op die doeltreffendheid van so 'n besproeiingstelsel?

Beskou weer die lae vloei-energie bedding in Figuur 5.14. Die vorderingsfront het die eindpunt van die bedding binne 60 minute bereik. Gestel die watertoevoer is op daardie stadium afgesny. Daar sou dan 'n 30 tot 40 minute korter kontaktyd wees, wat sou beteken dat die toediening daal vanaf 200 mm na slegs 150 mm. Die doeltreffendheid sou na verwagting effe daal. Die implikasie van die lae vloei-energie bedding is dat so 'n ontwerpopsie voorsiening maak vir 'n groter spektrum van toedieningsopsies, as wat met die hoë vloei-energie ontwerpopsie bereik sou kon word. Dit is ook duidelik uit Figuur 5.14 dat die gemiddelde hellings van die vordering en afdrogingsfront krommes in die geval van die hoë vloei-energie parallel verloop en in geval van die lae vloei-energie met vergroting in beddinglengte, nader aan mekaar neig. Hierdie gemiddelde hellings word, soos

in Hoofstuk 4 paragraaf 4.72 beskryf, en in Figure 4.25 tot 4.27 voorgestel, gebruik om die bestuursfaktor α_3 te omskryf as:

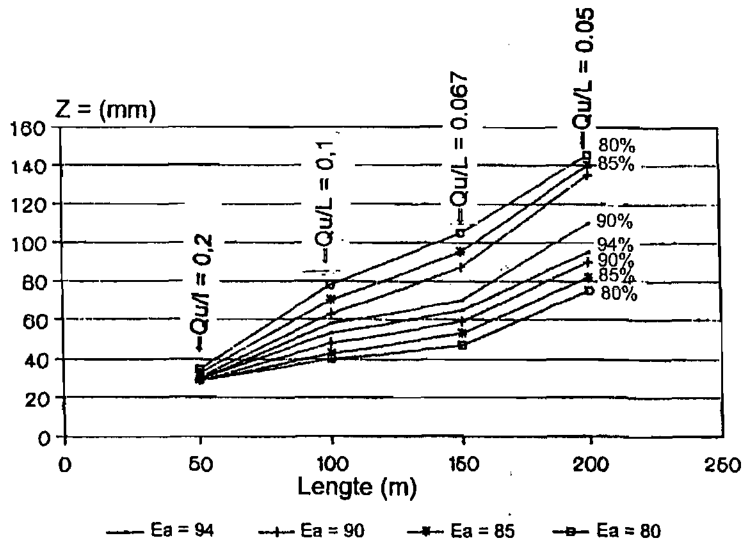
$$\frac{d\ell}{dt}\bigg|_{gemiddeld} = -\frac{L}{\alpha_3 T} \quad \text{waar } \alpha_3 < 1$$ -----------afgelei uit vergelyking 4.17

Opsommend sou daar na die bestuursfaktor (α_3) van Kruger (1998) verwys kon word as die ontwerpkeuse tussen stelsels met hoë en lae vloei-energie. Die voordeel van hoë vloei-energie stelsels (waarde van bestuursfaktor $\alpha_3 = 1$) lê in die vermoë om afsny-afstande te kan bestuur. Die voordeel van lae vloei-energiestelsels (waarde van $\alpha_3 < 1$) lê in die vermoë om skeduleerbare toedienings te kan gee.

Ten einde die toepassing van die bestuursfaktor te kan beskryf, moet die implikasies van afsnytyd en die praktiese uitvoerbaarheid daarvan op vloedbesproeiingstelsels, beter ondersoek word. Aspekte soos die invloed van operateursfoute tydens afsny sal bepaal hoe die doeltreffendheid van die stelsel beïnvloed word. Die sensitiwiteit van die stelsel vir afsnytyd foute, sal dus in die ontwerp verreken moet word.

5.7.2.1 Verband tussen beddinglengte, toediening en toedieningsdoeltreffendheid.

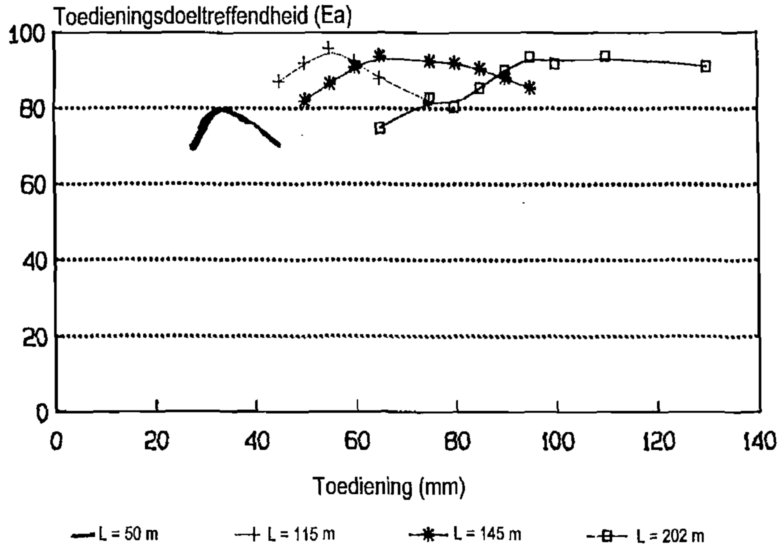
'n Hidrodinamiese simuleringmodel is gebruik om die sensitiwiteit vir afsnytyd en toedieningsdoelteffendheid te ondersoek. Genoeg data is genereer om die optimale doeltreffendheid van 'n spesifieke stelsel te kon voorspel. In die proses het die volgende tendense na vore gekom.



Figuur 5.15 Toedienings teenoor beddinglengte met gepaardgaande toedieningsdoeltreffendhede

Figuur 5.15 toon dat 'n spektrum van toedienings met relatiewe hoë doeltreffendhede behaal kan word wanneer 'n konstante stroomgrootte met wisselende afsnytyd 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 $\frac{Q_u}{L}$ verhouding ($\frac{Q_u}{L} = 0.2$) 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 5.16 Sensitiwiteit van toedieningsdoeltreffendheid vir verskillende beddinglengte, Q_u/L-waardes en toedienings-tempo's

Die langer bedding met 'n lae $\frac{Q_u}{L}$-verhouding ($\frac{Q_u}{L} = 0.5$) kan uitstekend werk om 'n skeduleerbare besproeiingstelsel te verkry. Sonder dat Q_u verstel word kan, deur slegs afsnytyd te beheer, verskillende toedienings teen 'n hoë doeltreffendheid verkry word (sien Figuur 5.16). 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.

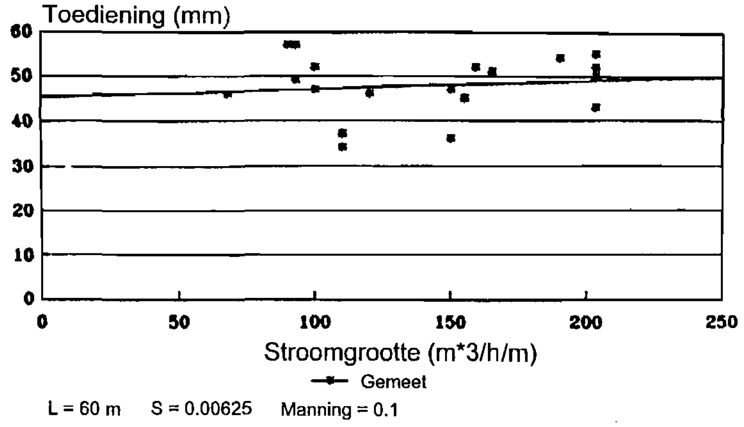
5.7.2.2 Sensitiwiteit vir stroomgroottes

Die optimale besproeiingsontwerp behoort 'n optimale netto vloei-energie in die sisteem te weerspieël sodat die stelsel by die bestuursnorme aangepas is. Bestuursensitiwiteit word aan vloei-energie en dus hoofsaaklik, vir 'n bepaalde bedding, 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 in die praktyk nie sensitief vir variasies in die stroomgrootte nie.

Stroomgroottevariasies tussen 68 $(m^3/h)/m$ en 203 $(m^3/h)/m$ 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 5.17 getoon.



Figuur 5.17 Gemete data vir stroomgrootte teenoor toediening. (Perseel 6A4, Vaalharts; koring)

In hierdie geval word die energiebalans in die totale besproeiingsisteem waarskynlik nie veel deur die verhoogde stroomgrootte (met verkorte afsnytyd en dus in die praktyk min variasie in volume toegedien), beïnvloed nie. Verhoogde energie-insette (byvoorbeeld stroomgrootte) word waarskynlik deur verhoogde energieverliese (toenames in vloeiweerstand en dinamiese infiltrasie) geneutraliseer. Gevolglik is die netto vloei-energie in die sisteem, nie sensitief vir die ordegrootte van die variasie in stroomgrootte en -volume toegedien nie.

5.7.2.3 Sensitiwiteit vir wateraanvoerbestuur (die sein vir afsnytyd)

Soos reeds genoem, blyk dit uit waarnemings in die praktyk dat die boere by Vaalharts eerder korter beddings gebruik (derhalwe groot $\frac{Q}{L}$ verhoudings, dus hoë vloei-energie).. Ten spyte daarvan is daar gevind dat die beddingbesproeiing te Vaalharts oor die algemeen baie effektief is. Die rede hiervoor is dat die stelsel

sigbaar sensitief is vir foutiewe afsny van watertoevoer. Dit is gevolglik vir die operateur moontlik om dadelik te sien dat die besproeiing verkeerd verloop het. 'n Korreksie kan onmiddellik gemaak word deur surplus water na 'n volgende bedding te laat oorvloei, of van 'n volgende bedding te verkry. Daar word ook opgetree om die stroom in die volgende bedding op 'n meer korrekte afstand af te sny.

5.7.3 Wiskundige ontleding van die bestuur van afsnytyd

Sensitiwiteitskriteria kan op twee wyses ontleed word

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

5.7.3.1 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 bepalings te doen vir 'n reeks "korrekte" en "foutiewe" bestuurspraktyke, kan die invloed van foutiewe bestuur gekwantifiseer word.

5.7.3.2 Die voorafgekose 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

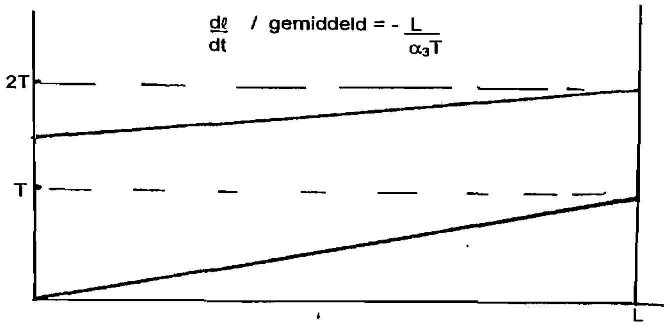
afdrogingsfront en vorderingsfront te kies, word die bestuursensitiwiteit binne 'n bepaalde limiet gestel.

'n Ander benadering sou wees om te aanvaar dat die maksimum lengte van 'n bedding altyd by lae vloei-energie sal voorkom. Soortgelyk sal hoë vloei-energie altyd by 'n fraksie (ongeveer 50%) van die maksimum lengte voorkom.

5.7.4 Berekening van die bestuursfaktor in ontwerp

Uit voorafgaande bespreking is dit duidelik dat daar 'n aantal bestuursensitiewe 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 4.7 voorgestel), deur die grafiese verband tussen vordering en afdroging te ontleed word (voorgestel in Figuur 5.18).



Figuur 5.18 Grafiese voorstelling van die verband tussen vordering en afdroging

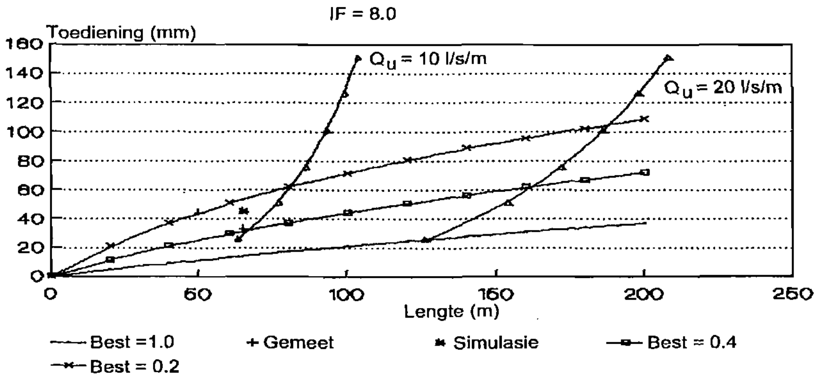
Die α_3-waarde in Figuur 5.18 is die bestuursfaktor.

- In praktiese ontwerpberekeninge word die waarde van α_3 benut om die beddinglengte as 'n breuk na die maksimum moontlike lengte (Randwaarde bereken uit Metodes 1 & 2), of as faktor van die geoptimeerde lengte (uit OPTIVLOED) te bereken

- In die OPTIVLOED 2.2 program is daar ook voorsiening gemaak vir die benutting van die toerusting waarmee die afsny van watertoevoer gedoen word. Dus word die waarde van α_3 aangepas met 'n faktor wat voorsiening maak vir die sensitiwiteit vir afsny bestuur, wat gekoppel is aan die moeite wat die operateur het om met bepaalde toerusting, die water te beheer.

5.8 RESULTATE VAN RANDWAARDES GESTEL MET VLOEI-ENERGIE EN BESTUURSENSITIWITEIT

Die optimering wat in Hoofstuk 4 bespreek is, word uitgevoer sonder dat praktiese beperkinge in ag geneem word. In Figuur 5.19 word die optimale verband tussen lengte en toediening (IF=8.0) voorgestel. Praktiese randwaardes vir maksimum beddinglengte met bepaalde stroomgroottes (Q_u = 10 en 20 (l/s)/m) word aangedui.



Figuur 5.19 Optimale verband tussen lengte en toediening op 'n grond met 'n ultrahoë infiltrasietempo. Maksimum beddinglengtes vir bepaalde stroomgroottes word aangedui by verskillende waardes van die bestuursfaktor

Figuur 5.19 toon dat die randwaarde vir maksimum beddinglengte, by 'n stroomgrootte van Q_u = 10 (l/s)/m en 'n toediening van 25 mm sowat 63 m is. Die bestuursfaktor in die geval, het 'n waarde van $\alpha_3 < 1$, wat beteken dat vordering en afdrogingskrommes nie parallel sal verloop nie.

5.9 OPSOMMING VAN VLOEI-ENERGIE GEKOPPELDE RANDWAARDE RESULTATE

In Hoofstuk 5 is die begrip vloei-energie beskryf. Die invloed van vloei-energie op die ontwerp van stelsels is aangetoon en wyses om data voor te stel in bekende besproeiingsterme is bespreek. Belangrike resultate is as volg:

- Drukstand by vloedbesproeiingstelsels kan ook soos in pypnetwerke bereken word. Drukstandwaardes stel die ontwerper in staat om die wrywingshelling of waterhelling S_f te bepaal.

- Die verhouding tussen S_f en die grondhelling S_0 is 'n belangrike indikator van die geskiktheid van die grondhelling vir 'n bepaalde ontwerp. Die kritieke waarde van S_f/S_0 is waarskynlik kleiner as 1.5, maar sal in verdere navorsing beter vasgestel moet word.

- Vloei-energie in die vorm van stroomgrootte, bepaal die tempo van die vorderingsfront vir 'n bepaalde bedding. Infiltrasietempo speel 'n oorheersende rol in die totale vraag na vloei-energie op 'n bedding en domineer die invloed van beide grondhelling en vloeiweerstand by hoë infiltrasie tempo gronde.

- Metode 1, 'n dinamiese volumebalans verband, is ontwikkel om die maksimum teoretiese lengte van 'n bedding te bereken. Die lengte dien dus as 'n verwysingslengte tydens die ontwerpproses. Die handhawing van 'n hoë toedieningsdoeltreffendheid is van kardinale belang. Dit is moontlik om die effek van vloei-energie op die doeltreffende aanwending van besproeiingswater, soos beïnvloed deur helling en vloeiweerstand, as 'n breuk of fraksie van die verwysingslengte voor te stel.

- Die verband tussen effektiewe stroom (Q_e) en werklike beddinglengte lengte is reglynig en kan as verwysingslyn wat die gemiddelde infiltrasietempo voorstel aangewend word. Werklike stroomgrootte (Q_u)

kan hiermee vergelyk word ten einde die effek van toedieningsdoeltreffendheid voor te stel.

- Die bestuursfaktor α_3 kan bereken word uit die analise van vloei-energie deur 'n slegs gedeelte of breuk van die maksimum werklike lengte van die besproeiingsbedding te gebruik in 'n ontwerp. Sodoende kan 'n lengte naby aan die maksimum lengte benut word vir 'n ontwerp met lae vloei-energie. So 'n stelsel sal skeduleerbare toedienings lewer en moet met 'n tydbeheerde afsnybestuurstelsel bedryf word. Die stelsel sal dus geskik wees vir outomatisering. Deur 'n veel korter bedding (sê helfte van maksimum lengte) in 'n ontwerp te gebruik sal 'n stelsel verkry word wat hoë vloei-energie besit, sensitief is vir afsny afstand, en ook dus maklik deur 'n operateur by hoë doeltreffendheid bestuur sal kan word.

HOOFSTUK 6

BEPALING VAN TERSIêRE TENDENSLYNE: RANDWAARDES EN BEGRENSING VAN DIE ONTWERPGEBIED VIR VLOEDBESPROEIING

6.1 INLEIDING

Die resultate van Hoofstukke 4 en 5 word hier in Hoofstuk 6 gebruik om eerste generasie randwaardes daar te stel vir optimale ontwerp van vloedbesproeiing. Hierdie hoofstuk behandel die problematiek wat randwaardes meebring en verduidelik dan ook waarom spesifieke metodes gevolg is om randwaardes daar te stel. Randwaardes word in drie kategorieë verdeel, naamlik randwaardes vir die uitskakeling van (1) onpraktiese-, (2) ongewenste- en (3) ongeldige ontwerpoplossings. Daar word uitgebrei op tegnieke waarmee randwaardes gestel kan word. Enkele voorbeelde van die resultate word grafies vertoon en bespreek.

Die leser moet ingedagte hou dat die stel van randwaardes met die oog op ontwerpprogramme in 'n multidimensionele kuber wêreld gestel word en dat hierdie poging 'n eerste van sy soort is. 'n Randwaarde verteenwoordig soms die beperking van 'n tendens van 'n tendens. Om die randwaardes dus grafies en matematies te kan voorstel, vereis dit soms dat data getransformeer moet word om aan te sluit by ander meer bekende data. In die voorafgaande Hoofstuk 5 is daar metodes ontwikkel en beskryf waarmee data voorgestel en getransformeer kan word. Die ontwikkeling van 'Metode 1' is uniek gekoppel aan die aanvaarding dat parallelle vordering en afdroging vir ideale besproeiing heers, soos dit in Hoofstuk 4 beskryf is. Die begrippe 'werklike' en 'effektiewe' stroomgrootte is vir hierdie studie gedefinieër ten einde data te kan transformeer om grafies en matematiese refleksie van toedieningsdoeltreffendheid te kon gee. Hier in Hoofstuk 6 word 'n 'Metode 2' ontwikkel en beskryf as 'n manier waarop toedieningsdoeltreffendheid voorspel kan word.

6.2 PROBLEMATIEK MET DIE STEL VAN RANDWAARDES

6.2.1 Randwaardes moet nie goeie ontwerp beperk nie

Om randwaardes vir 'n ontwerpprosedure te kan stel is soos 'n tweesnydende swaard. Aan die een kant bied dit 'n aanduiding of benaderde waarde van 'n grens wat bereik word, en aan die ontwerper die geleentheid om nie 'n swak ontwerp te doen nie. Aan die ander kant lei dit tot onnodige inperking van ontwerpmoontlikhede en kan dus lei tot die uitsluiting van goeie ontwerptegnologie. Op Vaalharts het 'n boer byvoorbeeld nie kans gesien om sy grond se helling te verander deur terrasse te bou, soos wat destyds vir 'n bepaalde lengte bedding en gewas voorgeskryf was nie. Die boer het toe eenvoudig die lengte van die bedding aangepas ten einde 'n langer kontaktyd vir sy gewas te verseker. Mettertyd is sy voorbeeld gevolg. Baie boere het die terrasse wat voorheen teen hoë koste gemaak is nou weer verwyder. Die stelsel is verfyn, en boere wissel nou selfs die plantrigting van hul gewasse ten einde die weerstand teen vloei te verander om aan te pas by die toediening wat hul wil realiseer. Dit is dus belangrik om nie onnodige beperkings op 'n ontwerpprosedure te plaas nie.

6.2.2 Randwaarde tegnieke moet beginsels uitlig

Enige randwaardebeperking wat gestel word, moet op fundamentele beginsels gegrond wees. Die berekening van vloeispoed waarby erosie kan begin plaasvind, word beklemtoon as een manier waarop stroomgrootte beperk kan word Die bepaling van vloeidiepte is 'n ander manier om stroomgrootte te beperk. In die VSA word die twee metodes om stroomgrootte te beperk byvoorbeeld in 'n enkele formule vir maksimum stroomgrootte vervat ($Q_{maks} = 0.63\ S^{-0.75}$, Jensen ,1980). Dit skep verwarring by ontwerpers, aangesien dit nie logies is dat 'n kleiner vloeispoed by plat hellings beperkend kan wees nie. In hierdie studie word dus gefokus op die **beginsels en tegnieke** waarmee randwaardes gestel kan word.

6.3 RANDWAARDES VIR VLOEDBESPROEIING

6.3.1 Begrip en doel van Randwaardes

Die doel van randwaardebegrensing is om die voorkoms van onpraktiese, ongewensde en ongeldige ontwerpoplossings uit te skakel. Die begrip randwaarde verwys dus na die oorgang van een sone na 'n ander. In die geval van vloedbesproeiing is daar nie noodwendig 'n punt van geen omdraai nie. Daar is eerder 'n geleidelike oorgang van goeie praktyk na minder goeie praktyk na swak praktyk.

6.3.2 Tipiese gebruik van randwaardes by vloedbesproeiing

Empiriese ontwerpnorme het ontstaan uit die waarneming van beter en swakker vloedbesproeiingspraktyke. Schockley (SCS, 1974) dokumenteer verskeie empiriese norme vir die ontwerp van vloedbesproeiingstelsels in die VSA. Die skrywer dui byvoorbeeld die Randwaardes vir Maksimum Helling vir Beddingbesproeiing aan (SCS, 1974). Walker *et al.* (2006) dateer onlangs die randwaardes vir inname families vir voortjiebesproeiing in die VSA op.

6.3.3 Kategorieë vir gebruik van randwaardes

Daar word drie kategorieë onderskei waarvoor randwaardes gestel moet word, naamlik

- Onpraktiese ontwerpoplossings
- Ongewensde ontwerpoplossings
- Ongeldige ontwerpoplossings

Ten einde herhaling te voorkom, word elk van die drie kategorieë afsonderlik bespreek ten opsigte agtergrond metodes gevolg, en resultate. Hierdie studie fokus op die toepassing van hidrodinamiese modelle om kenmerkende randwaardes af te lei. Uit die drie kategorieë wat hierbo genoem word, kan afgelei word dat sommige van die randwaardes gestel moet word vanuit praktiese oorwegings sowel as eenvoudige hidrouliese berekenings. Dit val dus streng

gesproke buite die fokus van hierdie studie en word gevolglik slegs vermeld en nie in detail bespreek nie.

6.4 RANDWAARDES VIR ONPRAKTIESE ONTWERPOPLOSSINGS

Dit is nie prakties om die afsny-en kontaktye minder as sê 5 minute te maak nie. Behalwe in gevalle waar sluise en outomatiese kleppe gebruik word, of waar die operateur vir 'n kort rukkie (byvoorbeeld 'n uur) moet konsentreer om die water korrek te beheer. Dit sou onprakties wees om te verwag dat 'n operateur 'n 12 uur leibeurt sal kan volhou as die water elke 5 minute met moeite na 'n volgende bedding verskuif moet word. Die taak wat in die ontwerp voorsien word, moet prakties uitvoerbaar en ekonomies volhoubaar wees. Dit geld vir die taak van die besproeiingsoperateur sowel as vir die meganisasie van produksie. Die woord "onprakties" is dus relatief tot wat 'n uitvoerbare praktyk verteenwoordig.

6.4.1 Metode gevolg om onpraktiese ontwerpoplossings uit te skakel

Aangesien daar bykans geen verwysings gevind kon word nie, is norme uit eie ervaring en praktiese aanvoeling daar gestel om onpraktiese besproeiings te identifiseer. Toegepas op vloedbesproeiingsontwerp, beteken dit dat ontwerp berekeninge wat onuitvoerbare gevolge mag hê, uitskakel moet word. Daar is twee redes waarom 'n ontwerp onprakties kan raak:

- Die fisiese afmetings van die geleiers kan beperkend wees weens grondtoestande of ander produksiepraktyke. Dus word stroomgrootte en vloeidiepte beperk. Beperking van vloeidiepte word reeds teoreties toegepas in meeste ontwerphandleidings en simulasie programme. Ongelukkig vind daar nie altyd 'n koppeling aan praktiese grondtoestande of meganisasiepraktyke plaas nie. Dit is 'n groot probleem in Suid-Afrika aangesien sommige sandgronde en swart kleigronde nie stabiele walletjies of voortjies handhaaf tydens besproeiing nie.

- Afsnytyd kan so kort en die proses so moeitevol raak, dat 'n operateur nie in staat is om die water vir die volle leiskof te beheer nie. 'n Tegniek om hierdie probleem uit te wys, is deur praktiese afsnytyd direk aan kontaktyd gelyk te stel. Met 'n bekende kontaktyd kan die ontwerper dan 'n keuse uit te oefen oor die randwaarde vir te kort afsnytye. Gestel 'n waarde van 3 minute en minder word deur die ontwerper as onprakties beskou. Dan kan die beddinglengtes, hellings en vloeiweerstand waarby die afsnytyd as onprakties beskou word, deur 'n kleurkode aangedui word. Hierdie randwaardes kan maklik in 'n ontwerpprogram soos OPTIVLOED geprogrammeer word.

Die tegniek om programmeerbare waardes daar te stel, word belangriker geag as die numeriese waarde. 'n Ontwerpprogram sal in alle geval voorsiening maak vir die aanpassing van die numeriese waarde by plaaslike toestande.

6.4.2 Resultate vir onpraktiese ontwerpoplossings

Onpraktiese besproeiings was in twee kategorieë verdeel.

6.4.2.1 Onprakties weens fisiese beperking van die hidrouliese geleiers:

Die hoogte van walletjies tussen beddings en die diepte van voortjies word bepaal deur die grondtipe en meganisasiepraktyke wat gevolg word. In Tabel.6.1 word gekose waardes van vloeidiepte y_o aangedui by die waarde van verskillende hellings en vloeiweerstand. Maksimum en minimum stroomgroottes is bereken. Daar is 'n aanduiding van die minimum vloeidiepte waarby water nog sal versprei. In die geval 10 mm vloeidiepte. Die waarde is egter relatief tot die graad van afwerking van die bodem van die bedding. Die beddingafwerking se toleransie moet kleiner as die minimum vloeidiepte wees, vir die water om egalig te versprei. Die toleransie ter sprake is lokaal en verwys nie na die 'n egalige bodemhelling nie. By voortjies is die maksimum vloeidiepte baie belangrik, veral op vore wat teen 'n dwarshelling uitgelê word. Indien daar nie genoeg veilige vryboord is nie kan die vore breek en so 'n erosie sloot veroorsaak.

Tabel 6.1: Beperking van stroomgrootte weens die fisiese afmetings van geleiers.

Vloeidiepte beperkings op Q $Q = Yo\text{^}5/3 * So\text{^}0.5/n$ *Vloeiweerstand n=0.04*						
Helling S_o (m/m)	Y_{min} (mm)			Y_{maks} (mm)		
	10	50	100	150	200	250
	Q_{min} ((l/s)/m)			Q_{maks} ((l/s)/m)		
0.0125	1.30	18.95	60.17	118.29	191.08	277.18
0.01	1.16	16.95	53.82	105.80	170.91	247.92
0.0083	1.06	15.44	49.03	96.39	155.70	225.86
0.0063	0.92	13.45	42.72	83.98	135.65	196.78
0.004	0.73	10.72	34.04	66.91	108.09	156.80
0.003	0.63	9.28	29.48	57.95	93.61	135.79
0.002	0.52	7.58	24.07	47.32	76.43	110.87
0.0013	0.42	6.11	19.40	38.15	61.62	89.39
0.001	0.37	5.36	17.02	33.46	54.05	78.40

Vloeidiepte beperkings op Q $Q = Yo\text{^}5/3 * So\text{^}0.5/n$ *Vloeiweerstand n = 0.15*						
Helling S_o (m/m)	Y_{min} (mm)			Y_{maks} (mm)		
	10	50	100	150	200	250
	Q_{min} ((l/s)/m)			Q_{maks} ((l/s)/m)		
0.0125	0.35	5.05	16.05	31.54	50.95	73.91
0.01	0.31	4.52	14.35	28.21	45.57	66.11
0.0083	0.28	4.12	13.08	25.70	41.52	60.23
0.0063	0.25	3.59	11.39	22.39	36.17	52.47
0.004	0.20	2.86	9.08	17.84	28.82	41.81
0.003	0.17	2.48	7.86	15.45	24.96	36.21
0.002	0.14	2.02	6.42	12.62	20.38	29.57
0.0013	0.11	1.63	5.17	10.17	16.43	23.84
0.001	0.10	1.43	4.54	8.92	14.41	20.91

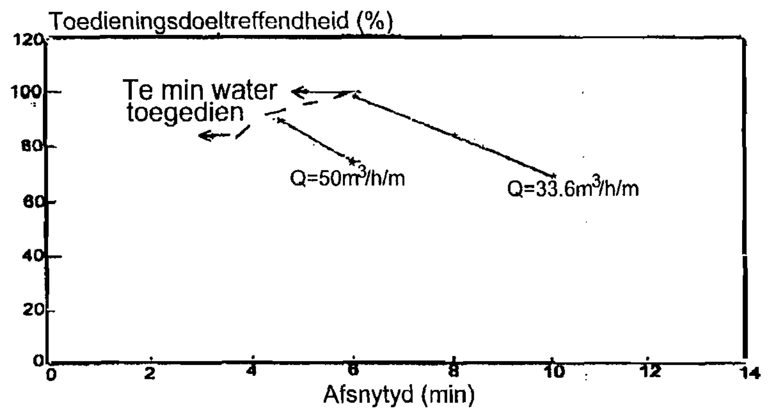
Vloeidiepte beperkings op Q $Q = Yo\text{^}5/3 * So\text{^}0.5/n$ *Vloeiweerstand n = 0.25*						
Helling S_o (m/m)	Y_{min} (mm)			Y_{maks} (mm)		
	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25
	Q_{min} ((l/s)/m)			Q_{maks} ((l/s)/m)		
0.0125	0.21	3.03	9.63	18.93	30.57	44.35
0.01	0.19	2.71	8.61	16.93	27.34	39.67
0.0083	0.17	2.47	7.85	15.42	24.91	36.14
0.0063	0.15	2.15	6.83	13.44	21.70	31.48
0.004	0.12	1.72	5.45	10.71	17.29	25.09
0.003	0.10	1.49	4.72	9.27	14.98	21.73
0.002	0.08	1.21	3.85	7.57	12.23	17.74
0.0013	0.07	0.98	3.10	6.10	9.86	14.30
0.001	0.06	0.86	2.72	5.35	8.65	12.54

Uit Tabel 6.1 kan gesien word dat beide die minimum en maksimum toelaatbare stroomgroottes, met 'n afname in die helling van die bedding, afneem. By S_o = 0.0125 is Q_{maks} = 277.18 (l/s)/m vir 'n vloeidiepte van Y=250mm. By S_o = 0.001 het Q_{maks} by dieselfde vloeidiepte na 78.4 (l/s)/m afgeneem.

Uit Tabel 6.1 is dit ook duidelik dat die maksimum stroomgrootte skerp afneem soos wat die vloeiweerstand toeneem. By n=0.04 (kaal grond) is Q_{maks} = 277.18 (l/s)/m vir 'n vloeidiepte van Y=250mm. By n=0.15 (koring dwars geplant) het Q_{maks} by dieselfde vloeidiepte na 73.91 (l/s)/m afgeneem. By n=0.25 (digte lusern) het Q_{maks} by dieselfde vloeidiepte na 44.35 (l/s)/m afgeneem.

6.4.2.2 Onprakties weens die afsnytydsein en die moeite verbonde aan afsny van water:

Daar is waterlei en "ly". Dit is onmoontlik vir enige operateur om vir 'n 12 uur skof te kan konsentreer om water te beheer indien daar elke paar minute afgesny moet word. As die afsnytydsein boonop op die afstand van die vorderingsfront berus, beteken dit dat die operateur fisies moet stap om die vorderingsfront te begelei, op 'n punt moet terugdraai en die water gaan afsny en in 'n volgende bedding plaas (tensy daar twee persone per leistroom is). Die water vloei voortdurend in die aanvoerstelsel. As daar nie 'n aflos operateur is nie, is die beheer van water onmoontlik. Goeie ontwerp en konstruksie maak egter 'n plesier van waterlei. 'n Goeie operateur werk vinnig om sy water te beheer en volg dan rustig die verloop van sy besproeiing. Intussen het hy tyd vir homself en gee ook aandag aan die plante, beheer onkruid of dien bemesting toe. 'n Goeie vloedbesproeiingstelsel beheer maklik en is tot 'n groot mate selfskedulerend. Operateursfoute kan van besproeiing na besproeiing ondervang word. So word 'verlede keer' se verkeerde afsny 'hierdie keer' herstel deurdat die infiltrasietempo aanpas by die vogbehoefte van die grond.



Figuur 6.1 Bestuursensitiwiteit aan die hand van die volumebalans-beginsel

Figuur 6.1 toon hoe sensitief 'n stelsel vir afsnytyd is. 'n Verskil van 1 minuut in die afsnytyd op Vaalharts, kan of 'n tekort aan water op die bedding skep indien te vroeg afgesny is (afsnytyd van minder as 4.5 min. met Q=50 (m3/h)/m), of indien te laat afgesny is (afsnytyd van meer as 4.5 min. met Q=50 (m3/h)/m), kan die doeltreffendheid van die toediening met 5 tot 10% daal.

Die ontwerper moet poog om die sein vir afsnytyd aan te wend met die doel om die beheer van die stelsel maklik te maak Die taak om water te beheer moet aangepas wees by die toerusting wat daarvoor beskikbaar is. Onpraktiese ontwerpe moet uitgeskakel word en ontwerpspesifikasies moet operateursvriendelike vloedbesproeiing tot gevolg hê.

Tabel 6.2 toon aan hoe onpraktiese ontwerpe uitgeskakel kan word deur die eliminasie van afsnytye korter as 3.5 minute met 'n kleurkode. Elke ontwerp sal sy eie kriteria vir eliminasie hê. Dit is belangrik om 'n subroetine vir die doel in die ontwerpprosedures in te bou.

Tabel 6.2: Eliminasie van onpraktiese afsnytyd

OPTIVLOED 2.2 Resultate

8 IF; Bestuur = 1
Vloeiweerstand n= .04 (kaalgrond)
T_{kreq} *(sek)*

Helling S	Beddinglengte (m)								
	0	50	100	150	200	250	300	350	400
0.0125	0	56	123	191	257	321	381	439	493
0.01	0	60	131	212	281	346	413	473	534
0.0083	0	67	146	220	300	375	443	503	566
0.0063	0	73	162	246	327	413	483	566	629
0.004	0	87	189	291	390	483	573	659	739
0.003	0	94	212	327	433	534	640	728	817
0.002	0	109	246	375	503	629	739	852	956
0.0013	0	131	291	443	597	739	875	1004	1124
0.001	0	146	327	503	673	829	992	1136	1273

Tabel 6.3 toon aan dat die probleem met kort kontaktye hoofsaaklik by klein toedienings op hoë infiltrasie gronde verwag kan word. Daar kan gesien word dat dit onprakties raak om toedienings van minder as 50 mm op 'n 8.0 IF grond toe te dien, aangesien die kontaktyd minder as 10 minute is en die werklike afsnytyd waarskynlik minder as 9 minute sal beloop. Soortgelyk is toedienings van 25mm op 'n 4.0 IF grond (tipies vir Vaalharts), onprakties. Uiteraard word hoë vloei-energie ekwivalente op die gronde benodig. Die kombinasie van kort afsnytyd en groot stroomgroottes noodsaak die gebruik van sluise en ander toerusting tydens die bedryf van die stelsel. Die ontwerper sal ook liewer die algehele benatting van die gronde vermy en van voortjiebesproeiing gebruik maak ten einde sywaartse infiltrasie van water te verkry. Sodoende word relatief groot toedienings tydens die aanvanklike infiltrasieproses op die helfte van die grondoppervlak of minder, toegedien. Tydens die herverspreidingsfase van die infiltrasieproses vind daar afwaartse en sywaartse infiltrasie plaas (tipiese ui vorm soos by drupperlyn in dwarssnit beskou). Tipies word daar dan toedienings van 100 mm of meer op 'n benatte oppervlak van minder as 50% toegedien, waardeur die effektiewe toediening dus relatief klein is, terwyl die afsnytyd

relatief groot is. Voorbeelde van sulke stelsels word gevind in die suikerbedryf in Zimbabwe, Swaziland, Mosambiek en KwaZulu Natal. Die tipe besproeiing is by uitstek geskik vir aanvullende besproeiing van rygewasse.

Tabel 6.3: Kontaktyd teenoor Inname Familie by verskillende toedienings

	Kontaktyd (min)			
Z_{req} (mm)	8.0 IF	6.0 IF	4.0 IF	2.0 IF
25	**2.48**	**4**	**7.83**	11.08
50	**6.04**	**9.95**	15.72	29.02
75	10.15	16.97	27.18	50.95
100	14.68	24.78	40.1	75.97
125	19.54	33.23	54.2	103.56
150	24.69	42.25	69.36	133.42
175	31.4	51.78	85.63	165.27
200	37.2	61.73	102.57	198.95

6.5 RANDWAARDES VIR ONGEWENSDE ONTWERPOPLOSSINGS

Besproeiingspraktyke wat die mens en sy omgewing benadeel, moet as ongewens beskou word. Die gebruik van grond (Die Grondbewaringswet, Wet 43 van 1983) en water (Department of Water Affairs and Forestry, Waterwet van 1998) vir besproeiing, word in Suid-Afrika deur wetgewing gereguleer. Hierdie wette het ten doel om "goeie praktyk" te bevorder. Dit verhoed normaalweg nie die bedryf van matige swak praktyk nie. Dit is dikwels juis matige swak praktyk wat lei tot produksieverliese en niewinsgewende produksie by vloedbesproeiing. Ongewensde besproeiingspraktyke is bekend en swakker ontwerppraktyke is soms gedokumenteer, maar laat te veel onbekende aspekte aan die ontwerper oor. Daar is twee kriteria wat op die stel van randwaardes vir vloedbesproeiing in hierdie studie van toepassing is. Die bestuur en volhoubare benutting van die hulpbronne (grond en water) en die doeltreffendheid van produksie met hulpbronne (gewas, grond, water, energie, en so meer). Die ontwerper het in die ontwerpproses beheer oor die doeltreffendheid van die aanvoer van water, die toedieningsdoeltreffendheid van die besproeiing, asook oor die voorkoming van gronderosie.

6.5.1 Handhawing van hoë toedieningsdoeltreffendheid

6.5.1.1 Inleiding

Die versuiping en verbrakking van grond onder besproeiing is 'n praktyk wat maklik plaasvind. Hoe langer grond onder besproeiing is, hoe groter raak die kans dat soute akkumuleer en dat die soutlading in 'n grond bestuur moet word. Op internasionale vlak word baie navorsing gedoen om die akkumulasie van sout-fosfaat- en stikstofladings by vloedbesproeiing te bestuur. Hidrodinamiese modelle word ook hiervoor aangewend (Hosseinipour, 1993; Zerihun *et al.*, 2003, 2005 en 2006) Die besparing van water en optimale aanwending daarvan word ook nagevors (Gonvalves *et al.*, 2001; Encisco & Martin, 1996; De Rosnay *et al.*, 2003). Die implikasie van bogenoemde bespreking op vloedbesproeiingsontwerp in Suid-Afrika, is eenvoudig dat die stelsels ontwerp en opgradeer moet word om teen hoë doeltreffendheid te presteer. Oorbesproeiing, lae doeltreffendheid, verbrakking en gronderosie is onaanvaarbaar. Voorts moet die benutting van water, soos byvoorbeeld uitgedruk in kg graan per m^3 besproeiingwater (of rand per m^3) uiteraard voortdurend verbeter.

6.5.1.2 Metode:

In Hoofstuk 2, paragraaf 2.5 word die ontwerpoogmerke vir vloedbesproeiing beskryf. Die verskillende doeltreffendheidsmaatstawwe word gedefinieër. Om die doeltreffendheid van 'n vloedbesproeiingstelsel in perspektief te sien, moet daar ook na die doeltreffendheid van ander besproeiingstelsels gekyk word. 'n Aanvaarde norm is dat goeie stelsels oor 'n toedieningsdoeltreffendheid van 80% plus beskik. In Suid-Afrika, waar water skaars is, sou vloedbesproeiingstelsels met 'n toedieningsdoeltreffendheid van minder as 70% nie aanvaarbaar wees nie. Die norm vir sprinkelstelsels is 'n toedieningsdoeltreffendheid van 65-70%, met 'n verspreidingsdoeltreffendheid van 80% (LNR Besproeiingsontwerphandleiding, 2003). Let daarop dat die vermorsing van water by sprinkelstelsels grootliks as verdamping voorkom. By vloedbesproeiing is die vermorsing hoofsaaklik weens oorbesproeiing aan die bopunt van die beddings. Die implikasie is dat die

vermorsde water ondergronds gedeeltelik herwin kan word as sub-besproeiing. Op Vaalharts bedra die sub besproeiing sowat 1 mm per dag. Die gevaar is egter dat die vermorsde water mag bydra tot die opbou van 'n watertafel en so 'n dreineringsprobleem en produksie verlies veroorsaak. Aangesien beide grond en water hulpbronne is, moet daar dus ook na die aard van die waterverliese gekyk word. Die effek van grondkanale en nagdamme mag bydra om die stelsel se doeltreffendheid te verlaag na onaanvaarbare vlakke. Die kwantifisering van verliese, asook die vloeidinamika van die ondergrondse waterverliese is van kardinale belang by vloedbesproeiing.

Doeltreffende besproeiing kan gehandhaaf word deur die waarde van die toedieningsdoeltreffendheid hoog te hou. Dus moet die toediengsdoeltreffendheid (E_a) voorspel kan word. Tans kan dit slegs deur 'n hidrodinamiese simulasie, soos met die SIRMOD program in Hoofstuk 5 gedoen is, bereken word. In Hoofstuk 5 is die waarde van E_a as volg aangedui:

$$E_a = \frac{\ell}{L}$$

waar (ℓ) die werklike beddinglengte is

en (L) die verwysingslengte is

In ontwerpberekeninge is dit dus belangrik om die randwaarde vir beide die werklike maksimum beddinglengte (ℓ) asook die toedieningdoeltreffendheid (E_a) wat by die lengte behaal kan word, te kan voorspel. Met die verwysingslengte (L), wat uit Metode 1 bereken kan word bekend, kan een van die oorblywende twee faktore voorspel word en die ander bereken word. In die studie is 'n sogenaamde Metode 2 ontwikkel om die waarde van die toedieningsdoeltreffendheid te voorspel. Die waarde van die werklike beddinglengte ℓ word dan met die voorspelde waarde van E_a bereken.

Die agtergrond, metode en resultate word vervolgens beskryf:

6.5.1.3 Metode 2: Die voorspelling van toedieningsdoeltreffendheid (E_a)

Een van die belangrikste uitkomste van die studie was die ontwikkeling van 'n metode om toedieningsdoeltreffendheid by vloedbesproeiing te kan voorspel. Hierdie metode kon nie binne die huidige studie volledig afgerond en getoets word nie, maar die blote feit dat 'n verband waarmee toedieningsdoeltreffendheid relatief akkuraat voorspel kan word gevind is, is 'n groot deurbraak. Die ontwikkeling, genoem metode 2, word kortliks beskryf:

Toedieningsdoeltreffendheid (E_a) = (volume effektief besproei / volume toegedien)

By die spesiale geval waar maksimum beddinglengte teen die bes moontlike doeltreffendheid besproei word, geld dat:

E_a = (volume toegedien – onafwendbare verliese) / volume toegedien)

E_a (maks) = **1 – (onafwendbare verliese / volume toegedien)**

Die bepaling van onafwendbare verliese:

Dit is gedoen deur multifaktoriaal regressie, op die gesimuleerde toedieningsdoeltreffendhede in die studie bepaal, toe te pas. 'n Waarskynlike verband tussen die faktore moes eers analities bepaal word, waarna passing van koëffisiënte en / of konstantes, kon plaasvind. Die verband is uit die volgende saamgestel:

- Onafwendbare verliese moet 'n funksie van toediening en infiltrasie wees.

$$Z_{req} = aT^b$$

En $$T_k = \left(\frac{Z}{a}\right)^{\frac{1}{b}}$$

- Onafwendbare verliese moet verband hou met die tydsverloop wat die vorderingsfront neem om die beddinglengte af te lê. Dus moet die stroomgrootte (drukstand), grondhelling en vloeiweertand 'n rol speel. In Hoofstuk 5 is afgelei dat die verwysingslengte van 'n bedding verkort kan word om die effek van grondhelling en vloeiweerstand te omskryf.

$$Q_u = y_0^{\frac{5}{3}} \frac{S^{0.5}}{n}$$

- Onafwendbare verliese moet verband hou met die optimale beddinglengte, soos deur afdrogingsfront eienskappe bepaal word. In Hoofstuk 4 is daar aan hand van die afdrogingseienskappe van vloedbesproeiing 'n model ontwikkel wat die verband tussen beddinglengte (*L*) en toediening optimeer (*Z*).

$$L_{opti} = C_1 Z + C_2 Z^{\frac{1}{b}}$$

- In Hoofstuk 5 is afgelei dat die vloei-energie en dus die verhouding van die wrywingshelling of waterhelling teenoor die grondhelling 'n invloed op toedieningsdoeltreffendheid het.

$$S_f = S_0 + \frac{y_0}{L}$$

En $\quad S_f/S_0 = 1 + Q_u^{\,0.6} / (S_0^{\,0.7}\, n^{\,0.6}\, L)$

Dus volg:

Onafwendbare verliese $= f\left(L_{opti}, Z_{req} \text{ en } \frac{S_f}{S_0}\right)$

$$= f\left(\frac{L_{opt} i, Z_{req} Q_u^{\,0.6}}{S_0^{\,0.7} n^{0.6} L}\right)$$

<u>Toedieningsdoeltreffendheid voorspelling:</u>

Maar

$E_a = 1 -$ **(onafwendbare verliese) volume toegedien)**

En volume toegedien $= Q_u T_{co} = f(Q_u T_k)$

Dus $$E_a = 1 - f\left(\frac{L_{opt} i, Z_{req}, Q_u^{0.6}}{S_0^{0.7} n^{0.6} L}\right) \div f(Q_u T_k)$$

$$= 1 - f\frac{L_{opti} Q_u^{0.6} Z_{req} n}{S_0^{0.7} n^{0.6} L(\frac{Z_{req}}{a})^{1/b} y_0^{5/3} S_0^{0.5}}$$

$$= 1 - f\frac{L_{opti} Q_u^{0.6} n}{S_0^{0.35} n^{0.6} L(\frac{Z_{req}}{a})^{1/b} y_0^{5/3}}$$

$$= 1 - f\frac{L_{opt} i}{L} \times \frac{Q_u^{0.6} n^{0.4}}{S_0^{0.35}} \times \frac{Z_{req}}{\left(\frac{Z_{req}}{a}\right)^{1/b} y_0^{5/3}}$$

Dus bestaan die verliesfaktor uit (onafwendbare verliese / volume toegedien), en is saamgestel uit drie komponente:

- Beddinglengte faktor $(\frac{L_{opti}}{L})$
- Vloei-energie faktor $(\frac{Q_u^{0.6} n^{0.4}}{S_0^{0.35}})$
- Infiltrasie faktor $(\frac{Z_{req}}{\left(\frac{Z_{req}}{a}\right)^{1/b} y_0^{5/3}})$

Ten einde 'n multifaktoriale passing te doen moet daar 'n denksprong gemaak word. Bogenoemde faktore moet aangepas word om die infiltrasietempo van 'n grondtipe beter te weerspieël. So moet die waarde van Stoomgrootte $Q_u^{0.6}$, dus by $Z=aT^b$ aanpas deur byvoorbeeld $Q_u^{0.6}$ met $C_x\ Q_u^{\ Cy(b)}$ te vervang (waar C_x 'n funksie van a is en C_y *(b)* 'n funksie van b is). Die beddinglengte faktor word as 'n relatief konstante verhouding aanvaar by maksimum beddinglengtes, en kan dus

in 'n konstante aangespreek word. Die infiltrasie faktor moet soos in Figuur 5.5 aangedui (uit resultate van gesimuleerde besproeiingsepisodes), die verliese laat verklein met toename in toediening. Die mees geskikte verband daarvoor is $(C_z / Zreq^{C_{zz}(1-b)})$. Waar C_x, C_y, C_z en C_{zz} voorbeelde van konstante is wat in passing gebruik kan word.

Die finale verband vir gebruik om data met multifaktoriale regressie te pas, lyk dus teoreties as volg:

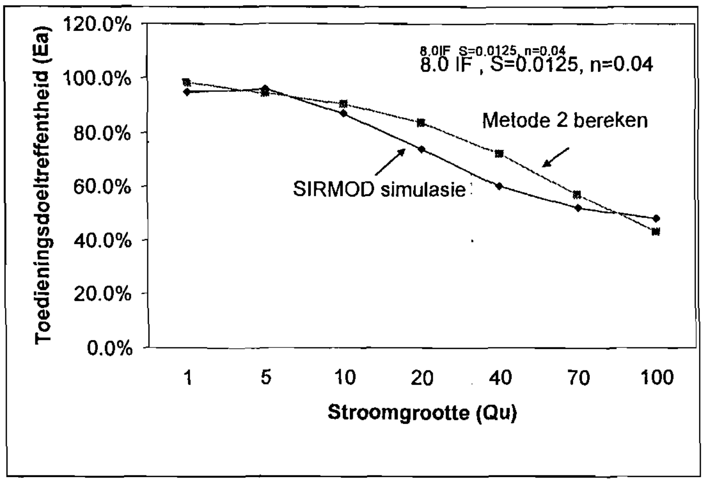
$$E_a = 1 - C_3 \frac{Q^{C_4(b)} n^{C_5(0.4)}}{Z_{req}{}^{C_6(1.b)} S^{C_7 b/2}} \qquad \text{(genoem } \textbf{Metode 2}\text{)}$$

Waar C_3, C_4, C_5, C_6 en C_7 konstantes is en $Z_{req} = aT^b$

<u>Resultate van passing van gesimuleerde data:</u>

Vir 'n eerste probeerslag is die waardes van C_3, C_4, C_5, C_6 tot C_7 gelyk aan 1.0 gestel. Verdere studies mag aandui dat die waardes van konstantes verstel moet word vir spesifieke toepassings soos byvoorbeeld geslote beddings waar die infiltrasie faktor nie volgens die aanname soos hierbo gegee verloop nie. Dit het egter vir doeleindes van hierdie studie 'n aanvaarbare passing vir toedieningsdoeltreffendheid gebied, soos in Figuur 6.2 aangedui word. Die waardes sal in 'n opvolgstudie, waar individuele komponente van die verband getoets moet word, bevestig of verbeter moet word

Data verkry met Metode 2, is vergelyk met resultate van besproeiings episodes uit Tabel 3.7 (Hoofstuk 3), soos met SIRMOD gesimuleer. Figuur 6.2 toon die resultate van beide SIRMOD en Metode2 aan vir 'n hoë infiltrasie grond (8.0 IF – tipiese effe gestruktureerde Hutton Mangano / Shortland grond met 35-45% klei wat in oostelike deel van Suid-Afrika voorkom). Beddinghelling is S_0= 0.0125 en aanvullende besproeiing word op kontoer in mielies gedoen. Vloeiweerstand vir die kaal grond is na die eerste besproeiing n=0.04.



Figuur 6.2 Vergelyking tussen gesimuleerde en Metode 2 berekende data

Soortgelyke passing is verkry by ander waardes vir helling en vloeiweerstand oor die volle spektrum van inname families (vanaf 8.0IF tot 0.3 IF). Afwyking tussen berekende en gesimuleerde resultate kan hoofsaaklik aan die handeling van die operateur tydens simulasie toegeskryf word.

6.5.1.4 Randwaarde resultate vir toedieningsdoeltreffendheid.

Die data in Tabel 6.4, tipies geldig (byvoorbeeld perseel 6A4) te Vaalharts, demonstreer die samestelling van Metodes 1 en 2 ten einde maksimum beddinglengtes en toedieningsdoeltreffendhede te bereken. Verskillende waardes van helling en vloeiweerstand is gebruik. By 'n toediening van Z_{req}=50 mm is die verwysingslengte L=135.1 m. In die praktyk sal 'n helling van S = 0.004 met kaalgrond (*vloeiweerstand* n = 0.04) egter tot gevolg hê dat die werklike lengte beperk sal word tot 'n waarde van ℓ=119.2 m by 'n toedieningsdoeltreffendheid van E_a = 88.2 %. Soortgelyk volg dat, indien die gewasweerstand verander na n=0.25 (digte lusern) 'n beddinglengte van slegs ℓ=101.9 m besproei sal kan word, teen 'n doeltreffendheid van E_a=75.4%.

Tabel 6.4: Tipiese berekening van lengte en doeltreffendheid vir Vaalharts

4.0 IF	Stroomgrootte Q_u = 7 (l/s)/m Verwysingslengte by E_a = 100% soos bereken met Metode 1 Werklike lengte (ℓ) geld by Ea soos bereken met Metode 2						
	Berekende lengtes en Toedieningsdoeltreffendheid						
	Verwysings Lengte	**S=0.004 n=0.04**		**S=0.004 n=0.25**		**S=0.001 n=0.25**	
Z_{req} mm	**E_a = 100%**	**E_a %**	**ℓ (m)**	**E_a %**	**ℓ (m)**	**E_a %**	**ℓ (m)**
1	34.2	67.4%	23.0	32.1%	11.0	-13.4%	-4.6
25	105.9	85.9%	91.0	70.6%	74.8	50.9%	53.9
50	135.1	88.2%	119.2	75.4%	101.9	59.0%	79.7
75	155.8	89.4%	139.3	77.9%	121.4	63.1%	98.3
100	172.4	90.2%	155.5	79.5%	137.1	65.7%	113.3
125	186.5	90.7%	169.1	80.5%	150.1	67.7%	126.2
150	198.8	91.1%	181.1	81.5%	162.0	69.2%	137.6
175	209.9	91.5%	192.0	82.3%	172.7	70.4%	147.7
200	219.9	91.8%	201.9	82.9%	182.3	71.4%	157.0

Indien die helling platter gemaak sou word na S = 0.001, sou die maksimum beddinglengte verkort na ℓ=79.9 m teen 'n doeltreffendheid van slegs E_a=63%.

Die tabel toon ook aan dat die toedieningsdoeltreffendheid in die algemeen beter is waar groter toedienings voorkom. Vir S = 0.004 met kaalgrond (vloeiweerstand n = 0.04) is die waarde van E_a=85,9% by 'n klein toediening van Z_{req}=25mm, en styg na E_a=91.8% vir 'n groot toediening van Z_{req}=200mm.

Let op dat die resultate geld vir randwaardes by 'n stroomgrootte van Q_u = 7 (l/s)/m. In die praktyk te Vaalharts op perseel 6A4 word 'n stroomgrootte van 7 (l/s)/m gebruik om 'n beddinglengte van 80m vir koring en lusern te besproei, en ook om 'n beddinglengte van 120 m by mielies (kaal grond) te besproei. Volgens Tabel 6.1 is die randwaarde beddinglengte oor die algemeen langer as die beddinglengtes wat op Vaalharts gebruik word, en sal die doeltreffendheid soos in

die tabel aangedui nie noodwendig geld vir beddinglengtes wat korter as die randwaarde (ℓ) is nie.

Die resultate van Metode 2 dek ook 'n veel wyer spektrum (soos in paragraaf 6.5 bespreek) as wat met die SIRMOD en OPTIVLOED programme gesimuleer kan word. Uiteraard kon die resultate van Metode 2 dus nie ten volle getoets word nie. Hoewel Metode 2 op die oog af goeie resultate lewer, is die numeriese waardes wat deur Metode 2 voorspel word, in hierdie studie van minder belang. Die tegniek om randwaardes te kan stel is van meer belang.

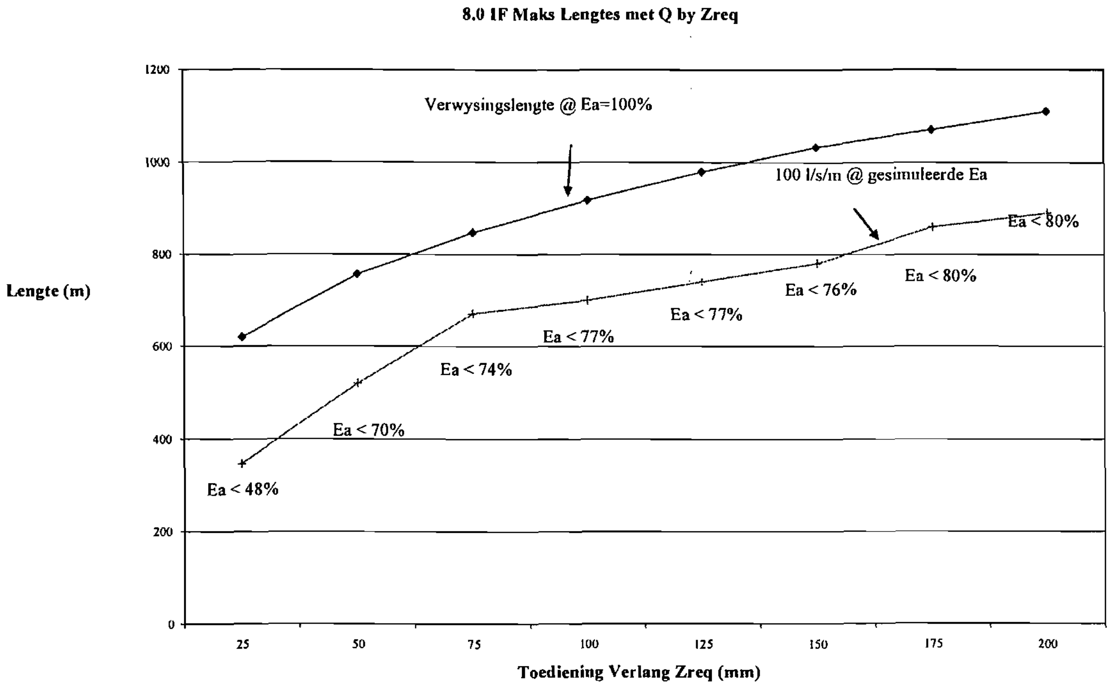
6.5.1.5 Randwaarde resultate vir beperking van beddinglengtes.

Soos in paragraaf 6.5.1.2 bespreek word die werklike beddinglengte beperk deur die toedieningsdoeltreffendheid wat behaal kan word. As die verwysingslengte (L) (bereken met Metode 1), bekend is en die toedieningsdoeltreffendheid (E_a) (voorspel met Metode 2) is bekend, dan kan die werklike lengte (ℓ) bereken word uit:

$$\ell = E_a L$$

Figuur 6.3 toon die doeltreffendheid (E_a) en beddinglengte (ℓ) van gesimuleerde besproeiings, met 'n stroomgrootte van Q = 100 (l/s)/m (maksimum stroomgrootte wat SIRMOD program toelaat), vir verskillende toedienings aan. Die verwysingslengte (L) by 'n doeltreffendheid van E_a=100%, word ook aangetoon.

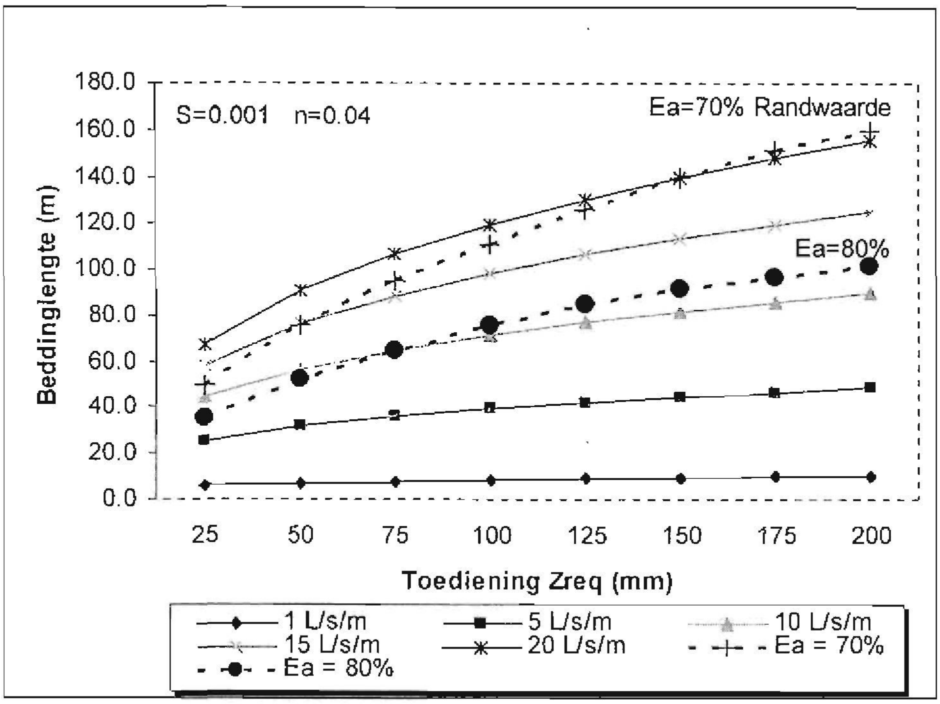
Figuur 6.3 toon ook die verband tussen stroomgrootte (Q_u) en toedieningsdoeltreffendheid (E_a) by verskillende toedienings (Z_{req}) en beddinglengtes (ℓ) aan. Daar kan gesien word dat die toedieningsdoeltreffendhede by klein toedienings (Z=25mm), slegs 48% is, terwyl dit styg na 80% vir groot toedienings (Z=175-200mm). Die klein toedienings is duidelik nie geskik vir die besproeiing by die beddinglengte van 400m met 'n stroom van 100 (l/s)/m nie Lang beddings van 1000 m kan wel teen 'n toedieningsdoeltreffendheid van 80% besproei word met 'n stroom van !00 (l/s)/m.



Figuur 6.3 'n Voorstelling van lae doeltreffendheid by klein toediennings met die verkeerde stroomgrootte en beddinglengte

In Tabel 3.7, (Hoofstuk 3) waar die resultate van die spesifieke simulasies opgesom is, kan duidelik gesien word dat klein toedienings wel by hoë doeltreffendhede gegee kan word, as daar van korter beddinglengtes en kleiner stroomgroottes gebruik gemaak word. So kan 'n toedieningsdoeltreffendheid van E_a=96% behaal word by 'n beddinglengte van ℓ= 34.6m met 'n stroomgrootte van Q_u= 5 (l/s)/m.

Met hierdie verbande tussen die faktore betrokke in gedagte, kan die randwaarde vir beddinglengte beter ondersoek word. Gestel dat die randwaarde vir toedieningdoeltreffendheid op E_a= 70% gestel word. Dan sal slegs besproeiings met 'n toedieningsdoeltreffendheid van E_a > 70% uit 'n ontwerpoogpunt aanvaarbaar wees. Deur die beddinglengte (ℓ) te bereken waarby E_a > 70% is, kan die randwaarde vir beddinglengte dus teenoor ander veranderlikes gestip word.

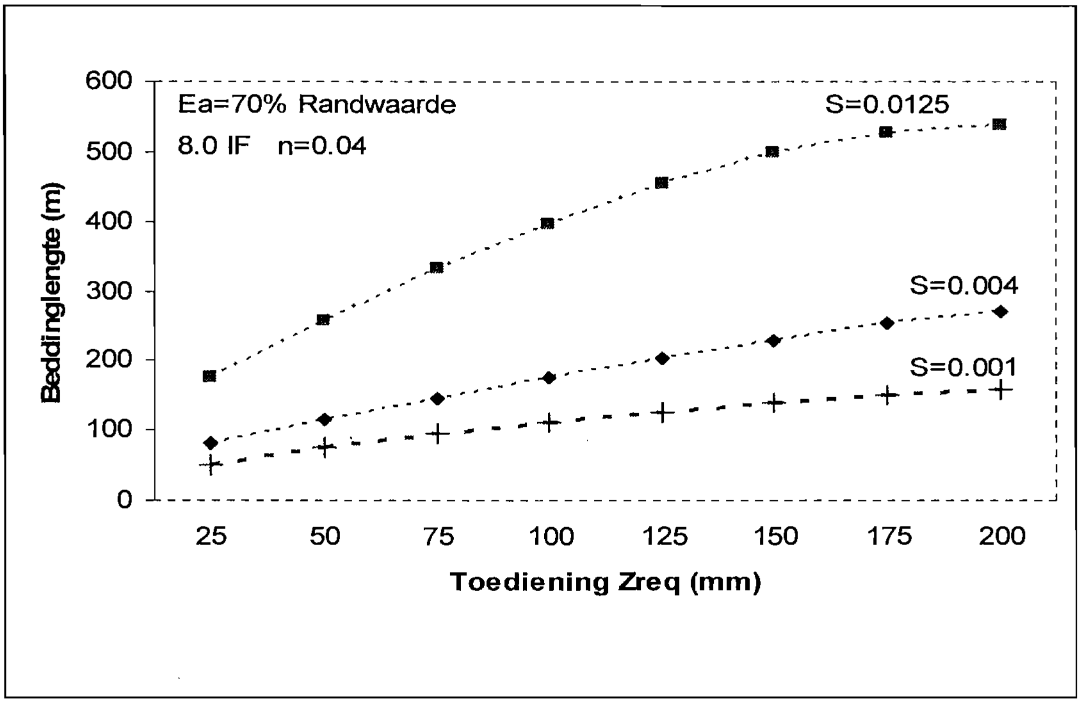


Figuur 6.4 Samestelling van resultate vir randwaardes by stroomgrootte en toedieningsdoeltreffendhede soos bereken met Metode 2

Figuur 6.4 toon 'n voorbeeld van die resultate wat met Metode 2 bereken is, vir die 8.0 IF aan. Vir die voorbeeld is 'n helling van S=0.001 en vloeiweerstand van n=0.04 gebruik. By stroomgroottes van 1, 5,10 en 20 (l/s)/m is die maksimum werklike lengte wat 'n bedding lank kan wees bereken deur die toedieningsdoeltreffendheid in ag te neem. Die figuur vertoon dus die randwaardes vir beddinglengte by verskillende stroomgroottes en toedienings aan.. Die tweede stel randwaardes wat vertoon word, is die maksimum lengte waarby 'n bepaalde toedieningsdoeltreffendheid sal voorkom. Die waarde van E_a=70% word as die laagste aanvaarbare waarde vir beddingbesproeiing in hierdie studie gesien. Naby 'n beddinglengte van nul sal die besproeiing E_a=100% wees en dit sal progressief afneem soos die bedding langer word. By 'n toediening van Z_{req} = 100 mm, sal 'n beddinglengte van L = 70 m, met stroomgrootte van Q_u = 11 (l/s)/m, nog teen 'n toedieningsdoeltreffendheid van E_a = 80%, besproei kan word.

Soortgelyk sal 'n beddinglengte van L = 110 m met stroom van ongeveer 25 (l/s)/m teen E_a = 70 % besproei kan word.

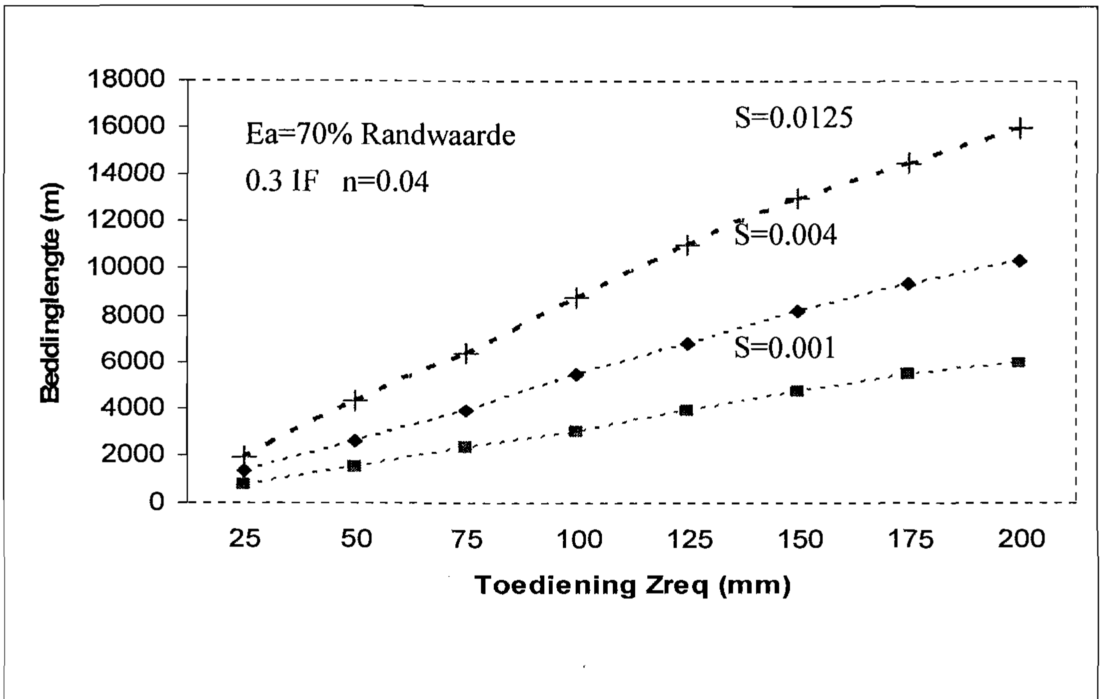
Die toepassing van randwaardes vir beddinglengtes op verskillende hellings (S_0) word aangedui in Figuur 6.5. Die figuur toon (by die 8.0 IF) die berekende randwaarde vir beddinglengte, by E_a =70%, vir verskillende hellings aan. Die steil helling S = 0.0125, waar relatief baie vloei-energie beskikbaar is, toon dat vir Z_{req} = 100 mm, 'n beddinglengte van ℓ = 400 m besproei sal kan word, teen die randwaarde van E_a=70%. Indien 'n plat helling van S = 0.001 gebruik sou word, verlaag die vloei-energie in die stelsel en verkort die beddinglengte na slegs ℓ = 100 m.



Figuur 6.5 Randwaarde resultate waar die effek van helling op beddinglengte aangetoon word vir die 8.0 IF op 'n kaal grond

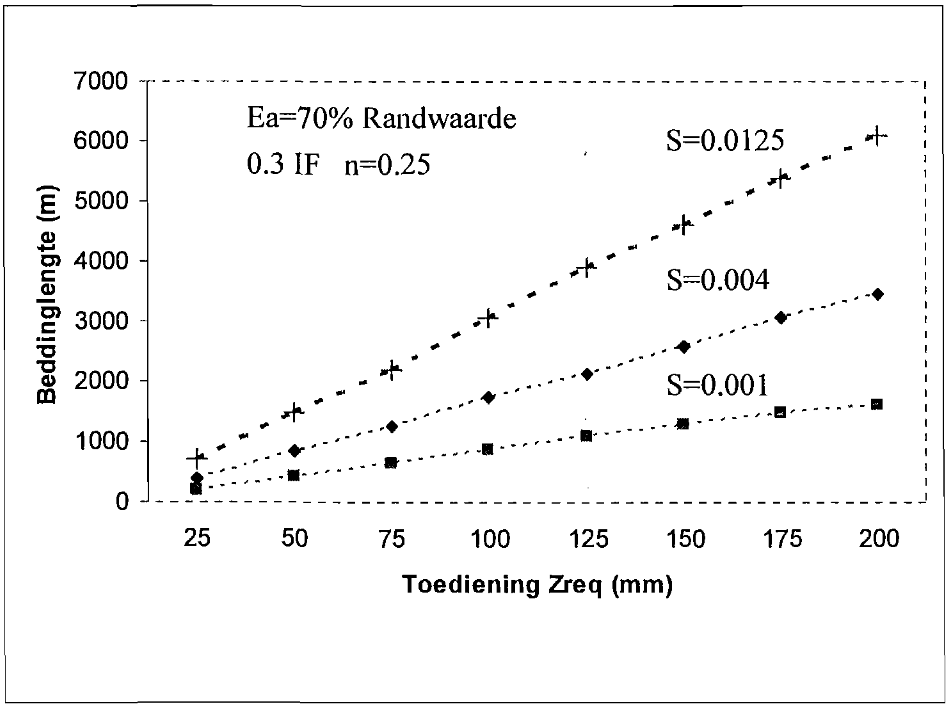
Die toepassing van Metode 2 om die invloed van verskillende inname families op beddinglengte en toedieningsdoeltreffendheid te bepaal kan gesien word deur

Figure 6.5 en 6.6 te vergelyk. Die toediening van Z_{req} = 100 mm word weer as voorbeeld geneem. Uit Figuur 6.5 is daar reeds bespreek dat, vir die hoë filtrasietempo van die 8.0IF (kontaktyd van ongeveer 15 minute),'n beddinglengte van ℓ = 400 m besproei sal kan word teen die randwaarde van E_a=70% by die steil helling S = 0.0125. Indien die lae infiltrasietempo van die 0.3 IF (kontaktyd van ongeveer 565 minute) in Figuur 6.5 beskou word, kan gesien word daar teen dieselfde steil helling S = 0.0125 'n beddinglengte van bykans ℓ = 9000 m teen die randwaarde van E_a = 70 %, besproei kan word. Die steil helling en lae infiltrasie, maak die relatiewe vloei-energie dus hoog. Soortgelyk kan gesien word dat 'n beddinglengte van bykans ℓ=3000 m teen die plat helling van S = 0.001 op die lae infiltrasietempo grond besproei sal kan word. Dit is dus duidelik dat die effek van infiltrasietempo 'n veel groter rol speel in die bepaling van maksimum beddinglengte, as wat die effek van die wisseling in helling veroorsaak.



Figuur 6.6 Randwaarde resultate waar die effek van helling op beddinglengte aangetoon word vir die 0.3 IF op 'n kaal grond

Die effek van vloeiweerstand kan gedemonstreer word uit figure 6.6 en 6.7. Die beddinglengtes van ℓ=9000m en ℓ=3000m uit Figuur 6.6, waar 'n kaal grond besproei was (n = 0.04), verkort aansienlik as die vloeiweerstand verhoog soos in die geval van Figuur 6.7. Vir digte lusern (n = 0.25) is die randwaarde vir beddinglengte by die steil helling van S = 0.0125 verkort vanaf ℓ=9000m na ℓ=3100 m. By die plat helling (S = 0.001) verkort die beddinglengte vanaf ℓ=3000m na ℓ=970m.



Figuur 6.7 Randwaarde resultate waar die effek van helling op beddinglengte aangetoon word vir die 0.3 IF op 'n grond wat met digte lusern beplant is

Ter opsomming van die resultate wat verkry is uit die aanwending van metode 2 om randwaardes vir toedieningsdoeltreffendheid en beddinglengte daar te stel, kan die volgende vermeld word:

- Die resultate verklaar die verband tussen toediening en beddinglengte vir

verskeie stroomgroottes. Die resultate dui die doeltreffendheid van toediening aan en kan benut word om die verband tussen filtrasietempo, helling en vloeiweerstand telkens aan te dui.

- Die resultate stel randwaardes vir toedieningsdoeltreffendheid by maksimum beddinglengtes. Die waardes verklaar die gebruik van kort steil beddings by hoë infiltrasie gronde en dui aan waarom beddinglengtes op lae infiltrasie gronde met plat helings en digte gewasse, beperk word tot 1000m (soos ook die geval met die SIRMOD program is). Dit verklaar dan ook waarom 'n boer te Middleton, in die Cradock distrik, soutbosse op 'n lae infiltrasie grond met voorlengtes langer as 3500m kon besproei.

- Die resultate dui aan dat die tradisionele voorkeur vir plat hellings op lae infiltrasiegronde lei tot laer doeltreffendheid, hoewel die doeltreffendheid by lengtes van 1000 meter nog hoog is. Daar is egter geen rede waarom steil hellings nie by lae infiltrasie gronde vir byvoorbeeld voortjiebesproeiing gebruik kan word nie.

6.5.2 Randwaardes vir Beperking van gronderosie

6.5.2.1 Inleiding

Gronderosie is 'n faktor wat 'n beperkende invloed op 'n ontwerp het. Gronderosie kom voor wanneer die vloeisnelheid van die water so hoog is dat grond partikels versteur, verplaas en selfs in suspensie opgeneem word. In literatuur is daar min gevind oor die voorkoms van erosie by vloedbesproeiing. Walker en Skogerboe (1987) haal 'n anonieme Sowjet bron van 1936 aan, wat 'n aanduiding van die aard van vloeispoed gee waarby kohesielose partikels nog stabiel in plek bly. Dit lewer 'n aanduiding van die verband tussen partikelgrootte en maksimum vloeispoed, en word bloot ter wille van die begrip van die meganisme van erosie aangehaal. Tabel 6.5 dui aan dat kleiner partikels soos slik by 'n laer vloeispoed van die besproeiingwater reeds versteur sal word en in suspensie gaan. Fyn gronde met 'n lae klei inhoud, sal dus waarskynlik by 'n laer spoed reeds aan

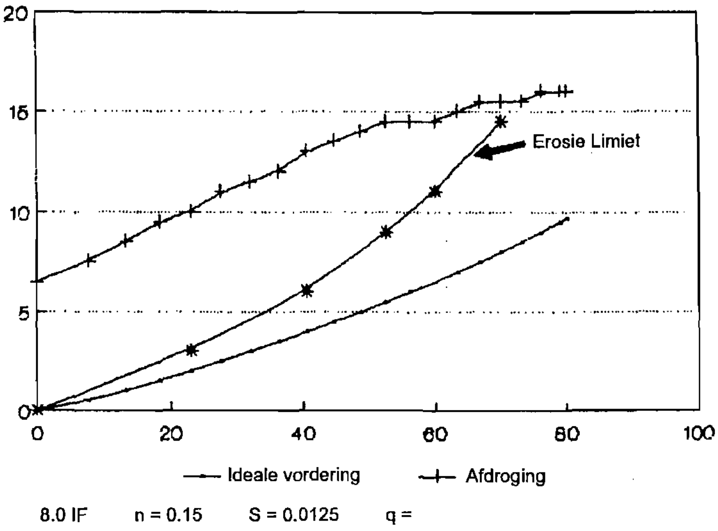
erosie onderhewig wees, as wat gronde met verskillende partikelgroottes en 'n redelike kleiinhoud sal doen.

Tabel 6.5 USSR DATA van toelaatbare vloeispoed en partikelgrootte (Walker & Skoggerboe, 1987).

Materiaal	**Partikel diameter Ø (mm)**	**Toelaatbare vloeispoed V m/s**
Slik	0.005	0.15
Fyn sand	0.05	0.20
Medium sand	0.25	0.30
Growwe sand	1.0	0.55
Fyn gruis	2.5	0.65

Meting wat die navorser gedoen het dui aan dat 'n vloeispoed van V=0.4 m/s op die fyn sandgronde te Vaalharts na die eerste besproeiing veilig is. Op rooi gestruktureerde kleigronde (Hutton Mangano/ Shortlands 35% klei) is veilige vloeispoede van V=0.5 m/s gemeet. Op swart turf te Potchefstroom het die navorser gemeet dat erosie verplasing plaasvind bo V=0.75 m/s en dat deponering plaasvind onder V=0.7 m/s (grond was nie losgemaak nie, dus *in situ.*). Op die turf is 'n waarde van V=0.6 m/s dus waarskynlik veilig. Let wel dat die waardes slegs 'n raming is. As gevolg van die raming word daar nie tans 'n absolute perk op erosiewe vloeisnelhede by vloedbesproeiing geplaas nie.

Tydens ontwerp mag die vorderings- en afdrogingsfronte nie die erosie limiet, geldend vir elke betrokke bedding of voortjie, oorskry nie. Die tempo waarteen afdroging op 'n bedding met 'n steil helling en ultrahoë infiltrasietempo plaasvind, is byvoorbeeld baie hoog. In so 'n geval sal die OPTIVLOED 2.2 model 'n plat afdrogingsfront gradiënt 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. Hierdie stroomgrootte is egter ongewens omdat dit tot 'n vloeisnelheid sal lei wat gronderosie sal veroorsaak (Figuur 6.8).



Figuur 6.8 Illustrasie van 'n ongewensde ontwerp waar vorderingsfront die erosie limiet oorskry ten spyte daarvan dat die vordering- en afdrogingsfronte parallel verloop

6.5.2.2 Metode gevolg om randwaardes vir beperking van gronderosie te stel.

Gronderosie is 'n wesentlike probleem wanneer water oor grond vloei. Onderskeid moet getref word tussen oënskynlike erosie, wat tipies tydens die eerste besproeiing na bewerking plaasvind deurdat die grondpartikels herposisioneer en werklike erosie van stabiele, reeds besproeide grond. Hierdie bespreking verwys na werklike erosie.

Daar is twee gevalle (met uitsluiting van vloedrisikos) waar erosie gevare op besproeiingslande na vore kom.

1 Hoë intensiteit reënval, veral tydens siklone, kom algemeen voor in die ooste van die land. Voldoende voorsiening moet gemaak word om die water veilig af te voer vanaf die besproeiingsperseel. Kruger (Ndumu Design Report, 2001) dui aan dat die ontwerpstroom vir voortjies sal wissel tussen 7 en 14 l/s, terwyl 'n reën intensiteit van 50 mm/h oor 'n paar ure tydens 'n sikloon, kan lei tot 'n afloop van 58 l/s per voortjie. Die beddings of voortjies moet dus net soos die afvoerdreins die vloei van water sonder erosie kan hanteer.

2 Die stroomgrootte vir 'n bedding of voor tydens ontwerp moet beperk word om nie die erosiegrens te oorskry nie. Oorsese navorsers het vir doeleindes van empiriese onwerpprosedures, die waarde van die maksimum vloeispoed met die maksimum vloeidiepte gekombineer in 'n enkele wiskundige verband, naamlik:

$Q_{maks} = 0.63\ S_0^{-0.75}$ (m^3/h is) ....(Jensen, 1980)

Die waardes soos gebruik in die VSA en bereken met bogenoemde wiskundige verband word in Tabel 6.6 aangetoon.

In Suid-Afrika is die waardes in Tabel 6.6 te beperkend. Soos reeds in die inleidende paragraaf genoem, is die gebruik van vloeispoed van V=0.4 tot 0.6 m/s in die praktyk op kaal gronde (dus n=0.04) sonder dat erosie plaasvind, waargeneem.

Tabel 6.6: VSA standaard vir Q_{maks} (Jensen, 1980)

S_o	Q ((l/s)/m)	Y_i (m)	v m/s
0.0125	4.68	0.021	0.41
0.01	5.53	0.025	0.40
0.0083	6.36	0.029	0.39
0.0063	7.83	0.036	0.38
0.004	11.01	0.051	0.36
0.003	13.65	0.062	0.34
0.002	18.50	0.085	0.33
0.0013	25.56	0.117	0.31
0.001	31.12	0.143	0.30

Waar 'n gewas soos kikuyu of lusern gevestig is, kan die vloeispoed uiteraard verhoog word. Die navorser stel voor dat ontwerpers eerder die basiese beginsels moet verstaan, en dan self 'n goeie oordeel vel. Daar behoort intussen ook veldnavorsing onderneem te word ten einde vloeispoed waarby erosie plaasvind vir die verskillende gronde in Suid-Afrika vas te stel.

6.5.2.3 Resultate voorgestel

Tabel 6.7 dui die maksimum stroomgroottes vir die swakste toestand waar die grond onbedek in (n = 0.04). Daar is ook aangetoon hoe minimum en maksimum vloeidieptes die stroomgrootte by elke vloeispoed en helling affekteer. Die waarde van stroomgrootte (Q_u) en vloeidiepte (Y_o) soos dit bereken is by verskeie hellings (S_0) en verskillende vloeispoede (V), word aangetoon. Die gedeelte van die tabel wat 'n groen agtergrond vertoon, toon die waarskynlike veilige stroomgroottes (in terme van erosie) aan. Die pers agtergrond dui op 'n te klein stroom wat 'n vloeidiepte van minder as Y_0=10 mm tot gevolg sal hê, en dus tot swak verspreiding in 'n bedding kan lei.

Die beige, geel, rooi en bruin agtergrond dui op toenemende kans vir die voorkoms van 'n vloeidiepte wat te groot raak, of 'n vloeispoed waarby erosie sal voorkom. Die gebruik van 'n kleurkode dui slegs op 'n tegniek om die voorkoms van moontlike probleme uit te wys. Die numeriese waardes is nog nie gefinaliseer nie.

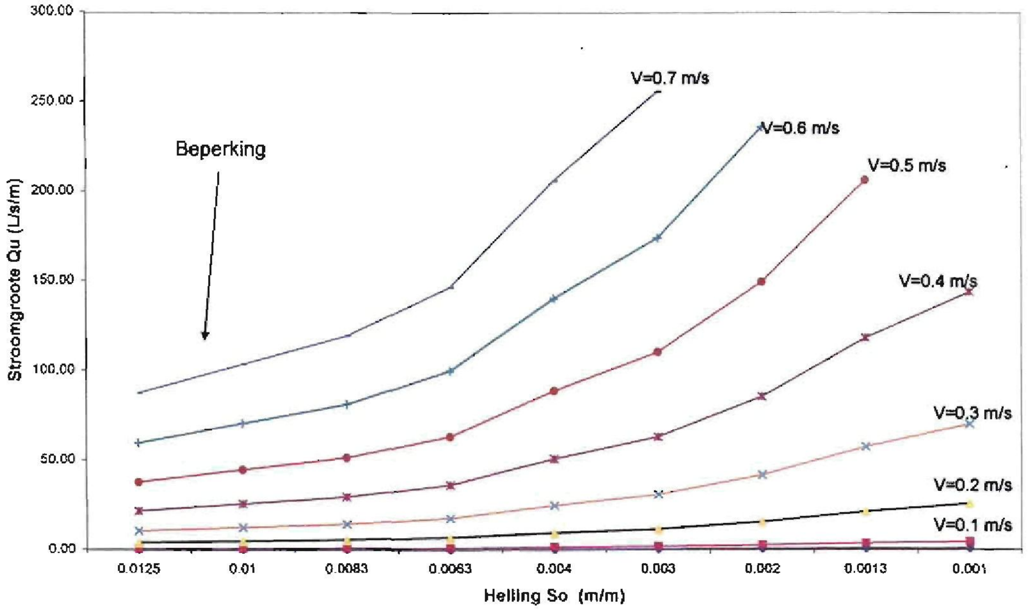
Tabel 6.7: Toelaatbare stroomgroottes en vloeidieptes vir kaal grond (n=0.04)

	Q_u ((l/s)/m) **vir n = 0.04 kaal grond**							
Helling S_o	V_{maks} (m/s)							
	0.05	**0.1**	**0.2**	**0.3**	**0.4**	**0.5**	**0.6**	**0.7**
0.0125	0.1	0.7	3.8	10.5	21.7	37.8	59.7	87.7
0.01	0.1	0.8	4.5	12.5	25.6	44.7	70.5	103.7
0.0083	0.2	0.9	5.2	14.3	29.4	51.4	81.1	119.3
0.0063	0.2	1.1	6.4	17.6	36.2	63.2	99.8	146.7
0.004	0.3	1.6	9.0	24.8	50.9	88.9	140.3	206.2
0.003	0.3	2.0	11.2	30.8	63.2	110.3	174.0	255.9
0.002	0.5	2.7	15.1	41.7	85.6	149.5	235.9	346.8
0.0013	0.7	3.7	20.9	57.6	118.2	206.6	325.8	479.0
0.001	0.8	4.5	25.4	70.1	144.0	251.5	396.7	583.2

	Vloeidiepte Y_0 (mm)							
Helling S_o	V_{maks} (m/s)							
	0.05	**0.1**	**0.2**	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.0125	2.39	6.77	19.14	35.16	54.14	75.66	99.46	125.33
0.01	2.83	8.00	22.63	41.57	64.00	89.44	117.58	148.16

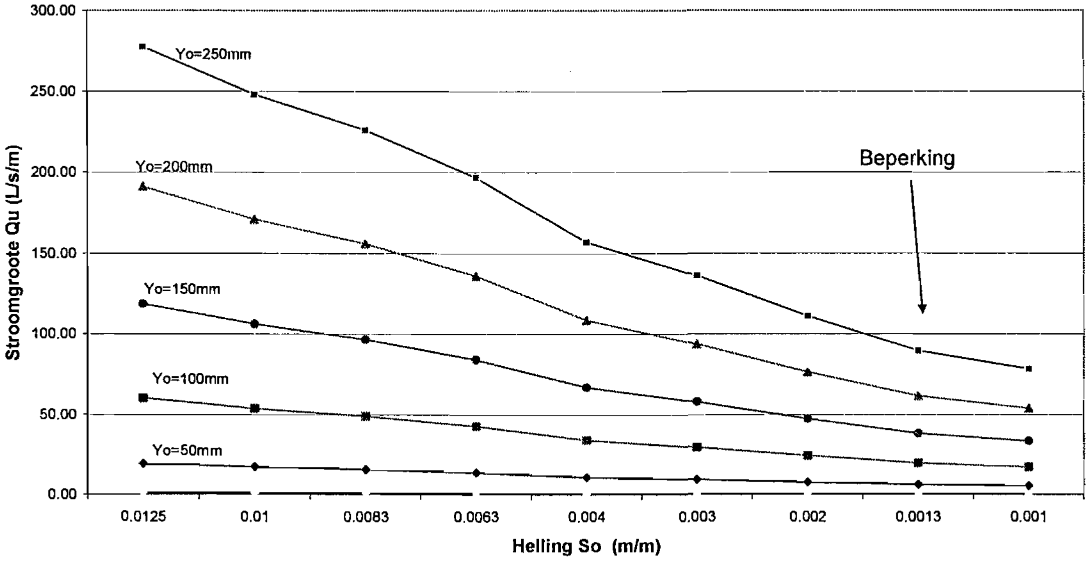
0.0083	3.25	9.20	26.02	47.80	73.60	102.86	135.21	170.38
0.0063	4.00	11.31	32.00	58.78	90.51	126.49	166.27	209.52
0.004	5.62	15.91	44.99	82.65	127.24	177.83	233.76	294.57
0.003	6.98	19.74	55.82	102.55	157.88	220.65	290.05	365.51
0.002	9.46	26.75	75.66	139.00	214.00	299.07	393.14	495.41
0.0013	13.06	36.95	104.51	192.01	295.61	413.13	543.07	684.35
0.001	15.91	44.99	127.24	233.76	359.90	502.97	661.18	833.18

Figuur 6.9 vertoon 'n grafiese voorstelling van die resultate in Tabel 6.7. Let op dat die helling van steil na plat op die x-as aangetoon word in aansluiting by die volgorde van Tabel 6.7. Die grafiek toon stroomgrootte (Q_u) by die verskillende waardes van helling (S_0), vir verskillende vloeispoede(V) aan. By steil hellings (S_0=0.0125) is die waarde van die stroomgrootte (Q_u=21.7 (l/s)/m) laag vir 'n spesifieke vloeispoed (V =0.4 m/s), terwyl die stroomgrootte toeneem na (Q_u =144 (l/s)/m) by die plat helling van (S_0=0.001). By steil beddings word stroomgrootte (Q_u) dus beperk vanweë die maksimum toelaatbare vloeispoed (V_{maks}) waarby erosie sal plaasvind.



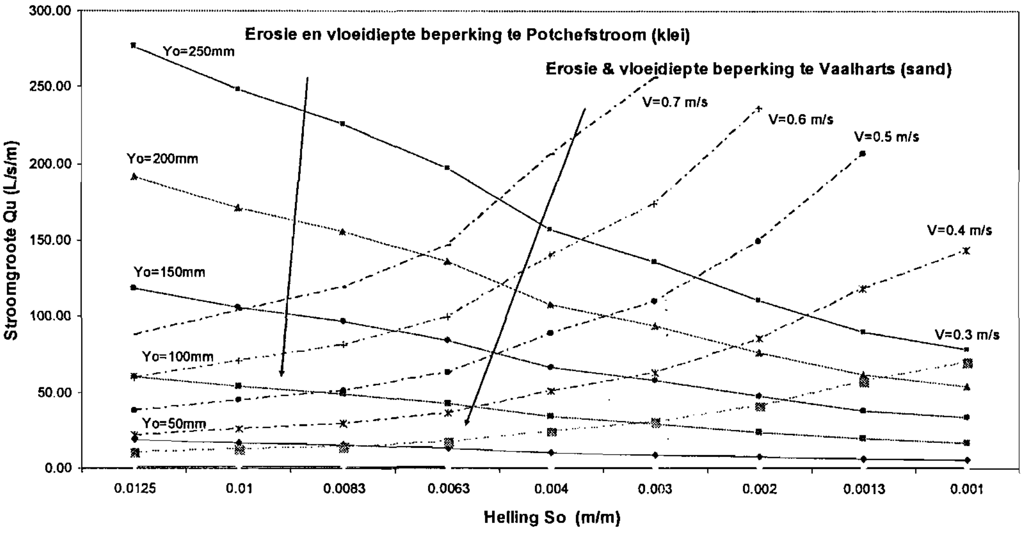
Figuur 6.9 Verband tussen helling, vloeispoed en stroomgrootte (n=0.04)

Figuur 6.10 toon die effek van vloeidiepte (Y_0) vir verskillende waardes van helling (S_0), op die stroomgrootte (Q_u), aan. By steil hellings (S_0=0.0125) is die waarde van die stroomgrootte (Q_u=123 (l/s)/m)) hoog vir 'n spesifieke vloeidiepte (Y_0=150 mm), terwyl die stroomgrootte (Q_u) afneem na (Q_u=51 (l/s)/m) by die plat helling van (S_0=0.001). By plat beddinghellings word stroomgrootte (Q_u) dus beperk vanweë die maksimum toelaatbare vloeidiepte wat die hidrouliese geleiers veilig toelaat.



Figuur 6.10 Verband tussen helling, vloeidiepte en stroomgrootte (n=0.04)

In Figuur 6.11 word die beperking van stroomgrootte, deur beide vloeispoed en vloeidiepte, op een grafiek gestip. Op die wyse kan randwaardes vir maksimum stroomgrootte nou maklik aangedui word. Twee voorbeelde word op die grafiek aangedui, naamlik een vir die sandgronde te Vaalharts, en een vir die swart kleigronde te Potchefstroom.



Figuur 6.11 Erosiesnelheid (V_{maks}) en vloeidiepte(Y_0) beperking op stroomgrootes (Q_u) teen verskillende hellings (S_0)

Met die beperkte veld data wat beskikbaar is vir Suid-Afrikaanse toestande, word die twee voorbeelde kortliks toegelig:

- **Vaalharts**: Natuurlike hellings op 'n relatief plat vlak, wissel ongeveer tussen S_0=0.0063 en S_0=0.003. Gronde het 'n fyn sandfraksie, is diep en verdig maklik. Vloeispoed van V=0.4 m/s is gemeet op quasi voortjiebesproeiing op helling van S_0=0.0063). Algemene stroomgrootte gebruik is Q_u=7 (l/s)/m. Die vloeispoed is dan tussen V=0.18 tot V=0.22 m/s. Die algemene vloeidiepte word deur die sandwalletjies beperk tot Y_0=40 tot 70 mm. Figuur 6.10 dui 'n voorbeeld van die potensiële randwaarde vir stroomgrootte aan.

- **Potchefstroom**: Natuurlike hellings op 'n golwende terrein wissel ongeveer vanaf S_0=0.02 tot S_0=0.001. Gronde het oor die algemeen 'n hoë klei inhoud en is donker van kleur. Die gronde vertoon onverweerde materiaal op relatief vlak dieptes en kan dus nie baie verskuif word nie. Sommige dele is verties en presteer swak as grond diep geploeg of verskuif word. Algemene voghuishouding is swak tot matig swak. Vloeispoed van V=0.6 m/s is op

voortjiebesproeiing op 'n helling van S_0=0.01 gemeet. Algemene stroomgrootte gebruik is Q_u=8 tot 11 (l/s)/m. Die vloeispoed is dan tussen V=0.2 tot V=0.3 m/s. Die algemene vloeidiepte word deur die kleiwalletjies beperk tot Y_0=50 tot 100 mm. Figuur 6.10 dui 'n voorbeeld van die potensiële randwaarde vir stroomgrootte aan.

Randwaardes vir erosiewe stroomgrootte kan alleenlik deur intensiewe veldopnames bevestig en uitgebrei word. Die waardes in Tabel 6.7 en Figuur 6.11 dui slegs tegnieke aan waarop die veldresultate verwerk en aangebied kan word. Dit is duidelik dat die VSA standaard, soos in Tabel 6.6 verstrek, nie in Suid-Afrika toegepas of deur wetgewing afgedwing kan word nie.

6.6 RANDWAARDES VIR ONGELDIGE ONTWERPOPLOSSINGS

6.6.1 Inleiding

Kruger (1998) dui aan hoe foutiewe empiriese norme en later ongeldige ontwerpresultate wat met die Badenhorst-metode bereken is, die vloedbesproeiingsbedryf in Suid-Afrika geskaad het. Op die Loskop besproeiingskema, waar rooi kleigronde met 'n hoë infiltrasietempo voorkom, is daar byvoorbeeld kanale en aanvoerstelsels beplan asof die gronde 'n tipiese lae filtrasietempo het, soos wat elders op kleigronde voorkom. Die Loskop boere het dus vinnig wegbeweeg vanaf die ongeldige / foutief ontwerpte vloedbesproeiing, na sprinkelstelsels. Tydens die Tegnologieoordrag-kursus van die WNK, na afloop van die ontwikkeling van OPTIVLOED 2.2, is die noodsaak om ongeldige berekenings te kan uitwys, met beide die SIRMOD en OPTIVLOED 2.2 programme, deur alle betrokke partye aangedui.

6.6.2 Metode ontwikkel om ongeldige berekenings / oplossings uit te skakel

Daar is van simulasies met die SIRMOD model gebruik gemaak om party van die ongeldige berekenings en oplossings te elimineer deur sommige onoplosbare

besproeiings episodes van naderby te ondersoek. Indien daar na herhaalde probeerslae nie konvergensie tydens simulasie verkry is nie, is die oplossings as moontlik ongeldig gesien. Dan is daar ondersoek ingestel waarom 'n oplossing nie verkry is nie. Met **Metode 1** is daar soms gevind dat die beoogde simulasie se inset data eenvoudig nie die voorwaardes vir massabehoud nakom nie. Daar is ook ondersoek of die voorwaardes vir beweging van vordering en afdrogingsfronte verloop soos byvoorbeeld in die OPTIVLOED 2.2 program aanvaar word. Indien nie, is die redes ondersoek en die waarde deur die OPTIVLOED 2.2 program as ongeldig vir die betrokke bestuurstyl aanvaar. **Metode 2** is later in die studie, uit frustrasie met die passing van data, ontwikkel. Dit ondervang die probleme wat beide die SIRMOD en OPTIVLOED programme vertoon. Ongeldige oplossings kan nou met Metode 2 uitgewys word.

6.6.3 Resultate vir ongeldige berekeninge / oplossings

6.6.3.1 SIRMOD toepassing

Tabel 6.8 toon 'n voorbeeld van resultate aan waar daar nie konvergensie met die SIRMOD model by bepaalde waardes verkry is nie. Die rede vir swak konvergensie lê waarskynlik in die moeilikheidsgraad van die berekeninge. Hoe laer die infiltrasietempo hoe langer die lengtes. Uit vloei-energie beginsels kan afgelei word dat die metode van berekening in hidrodinamiese modelle 'n al groter probleem raak by groot stroomgroottes en plat hellings (S_f, S_0).

Tabel 6.8: Uitwys van ongeldige berekeninge en oplossings met SIRMOD

Simulasie met geslote beddings
S=0.001
n = 0.04

Z_{req} mm	T_{co} = Tk	Q_u ((l/s)/m)						
		1	*5*	*10*	*20*	*40*	*70*	*100*
25	3	6.1	23.9	40.4	67.6			
50	6							
75	11							
100	15	*Die grys gebied toon: Geen konvergensie in SIRMOD model*						
125	20							
150	26							
175	31							
200	37							

Tegnieke soos Metode 2 kan dus 'n baie belangrike rol vervul om die knelpunt op te los. Tabelle 6.9 en 6.10 lewer randwaarde resultate, wat met metodes 1 en 2 bereken is, vir die data van Tabel 6.8 waarvoor SIRMOD nie geredelik oplossings kon simuleer nie. In Tabel 6.9 word die randwaarde vir toedieningsdoeltreffendheid (E_a=70%) aanvaar. Die waarde is in 'n beige kleur aangedui. Die data wat teen die blou agtergrond aangedui word het E_a waardes van laer as 70%, en word dus nie vir gebruik in ontwerp aanbeveel nie. Korresponderende beddinglengtes word in Tabel 6.10 aangetoon.

In Tabel 6.10 kan gesien word dat die beddinglengte by groot stroomgroottes en lae toedieningsdoeltreffendhede effektief verkort. Voorbeeld Die verwysingslengte vir 'n toediening van 25 mm en stroomgrootte van 30 (l/s)/m is L= 178.6 m. Die toedieningsdoeltreffendheid is E_a = 40.4 % en berekende werklike lengte is dus

$$\ell = L \times E_a = 178.6 \times 0.404 = 72.1\text{m}$$

Tabel 6.9: Randwaarde vir toedieningsdoeltreffendhede vir die data soos getoon in Tabel 6.8

8.0 IF Ea = soos bereken met Metode 2								
n = 0.04								
S_o = 0.001								
	Stroomgrootte Q_u ((l/s)/m)							
Z_{req} mm	1	5	10	15	20	30	40	50
25	95.8%	85.3%	74.7%	65.3%	56.5%	40.4%	25.4%	11.2%
50	96.4%	87.3%	78.3%	70.2%	62.7%	48.8%	35.9%	23.7%
75	96.7%	88.4%	80.1%	72.7%	65.9%	53.2%	41.4%	30.3%
100	96.9%	89.1%	81.3%	74.4%	68.0%	56.0%	45.0%	34.5%
125	97.1%	89.7%	82.2%	75.6%	69.5%	58.2%	47.6%	37.7%
150	97.2%	90.1%	82.9%	76.6%	70.7%	59.8%	49.7%	40.1%
175	97.3%	90.4%	83.5%	77.4%	71.7%	61.1%	51.4%	42.1%
200	97.3%	90.7%	84.0%	78.0%	72.5%	62.3%	52.8%	43.8%

Tabel 6.10: Randwaarde vir beddinglengtes vir die data soos getoon in Tabel 6.8

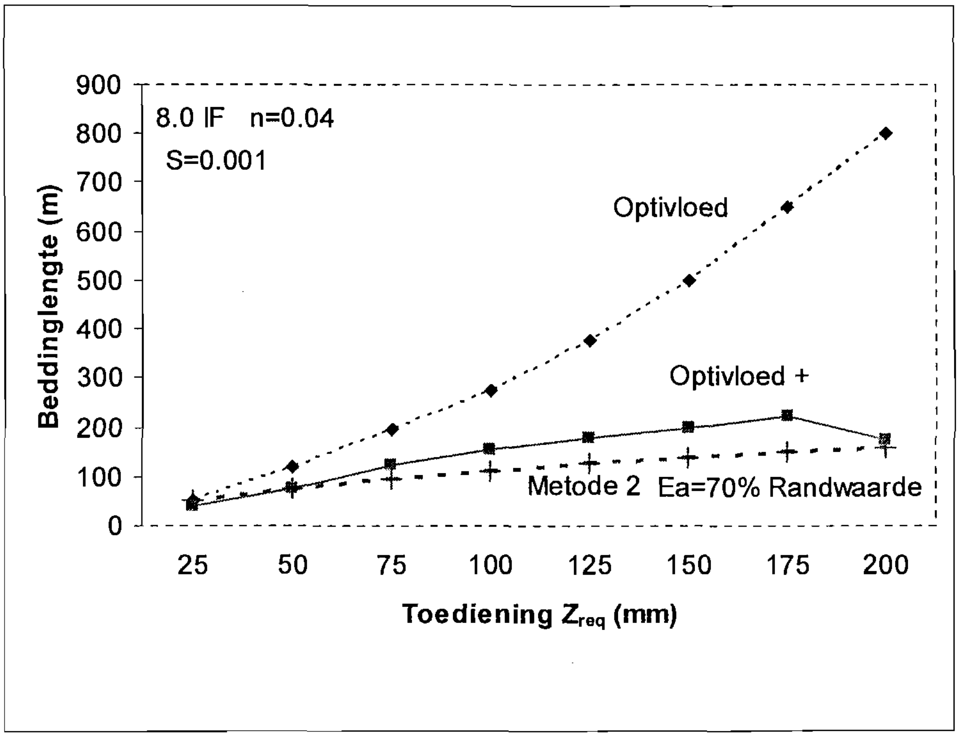
8.0 IF Maks werklike beddinglengte soos bereken met Metodes 1 en 2								
n =0.04								
S_o =0.001								
				Q_u ((l/s)/m)		met geslote beddings		
Z_{req} mm	1	5	10	15	20	30	40	50
25	5.7	25.4	44.5	58.3	67.3	72.1	60.4	33.3
50	7.0	31.7	56.7	76.3	90.9	106.1	104.2	86.1
75	7.9	35.9	65.1	88.6	107.0	129.5	134.5	122.8
100	8.5	39.3	71.6	98.3	119.7	148.1	158.5	152.1
125	9.1	42.0	77.1	106.4	130.4	163.6	178.7	176.7
150	9.6	44.5	81.9	113.5	139.6	177.2	196.3	198.1
175	10.0	46.6	86.1	119.7	147.9	189.2	212.0	217.3
200	10.4	48.6	89.9	125.3	155.3	200.1	226.1	234.5

By 'n stroom van 40 (l/s)/m dui Tabel 6.10 aan dat die lengte ℓ = 60.4 m. Dit is dus korter as by 'n stroom van 30 (l/s)/m. Die verwysingslengte het na L=238.1m vergroot, maar die toedieningsdoeltreffendheid wat metode 2 voorspel het, het na slegs E_a=25.4% gedaal. Vir beide die stroomgroottes was die afsnytyd bykans

dieselfde. Die resultaat is dus onlogies, en dui op 'n randwaarde wat in die voorspelling met metode 2 gestel behoort te word. Dit sal in 'n opvolgstudie aangepak moet word.

6.6.3.2 OPTIVLOED toepassing.

Tydens OPTIVLOED opleiding het verskeie probleme met die voorspelling van te lang beddings op plat hellings by hoë infiltrasie gronde na vore gekom. Aangesien simulasie met die SIRMOD program 'n integrale deel van die ontwerpprosedure was, is die probleem aangespreek deur die bestuursfaktor te verstel totdat die waardes van OPTIVLOED2.2 en SIRMOD ooreenstem. In hierdie studie is die probleem beter ondersoek.



Figuur 6.12 Passing van data uit OPTIVLOED 2.2 met randwaarde data vanaf metode 2

Figuur 6.12 toon 'n vergelyking van data tussen die voorspelde lengte by 'n bepaalde toediening aan. Die lengte voorspel met OPTIVLOED 2.2 is veel langer as die lengte wat Metode 2 voorspel. Die rede hiervoor is te vinde in die waarde van die toedieningsdoeltreffendheid wat nie in OPTIVLOED 2.2 verreken is nie. Die plat helling van S=0.001 toon 'n groot afwyking tussen die twee metodes aan. Indien kompensasie vir toedieningsdoeltreffendheid (E_a) plaasvind, is die afwyking minimaal. Let op dat die waarde vir E_a, in die geval, verskil van die 70% randwaarde en dat die twee lyne dus nie presies kan ooreenstem nie.

Die resultate toon aan dat die berekeninge vir beddinglengte in die OPTIVLOED 2.2 program vir toedieningsdoeltreffendheid (volgens Metode 2) aangepas moet word. Die resultate toon ook dat aanpassing vir die bestuursfaktor $\alpha3$ ook op soortgelyke wyse met behulp van Metode 2 gedoen kan word.

In hierdie hoofstuk is die onderskeie wyses waarop randwaardes vanuit tersiêre tendenslyne daar gestel kan word, aangetoon ten einde die ontwerpgebied vir vloedbesproeiing te begrens. Toepassingsmoontlikhede word ook aangedui. Die volgende hoofstuk gee 'n oorsigtelike samevatting van die studie.

HOOFSTUK 7

SAMEVATTENDE BESPREKING EN AANBEVELING

7.1 INLEIDING

Die doel van hierdie studie was om hidrodinamiese model resultate te gebruik ten einde 'n tegniek te ontwikkel waarmee randwaardes tydens die ontwerpfase van vloedbesproeiingstelsels in Suid-Afrika gestel kan word. Daar is veral gefokus op randwaardes vir maksimum beddinglengtes, die uitwys van ontwerpkombinasies waar lae doeltreffenthede verwag kan word, asook die beperking van stroomgrootte tydens ontwerp. Randwaardes vir ander maklik berekenbare aspekte, soos die toleransie vir beddingafwerking , minimum hellings en so meer, is volledighheidshalwe slegs genoem, aangesien 'n volledige stel randwaardes in 'n nuwe generasie ontwerpprogramme geprogrammeer behoort te word.

Literatuur is bestudeer en verskeie faktore soos die eienskappe van afdrogingsfronte, vloei-energie en die sensitiwiteit van die bestuur van afsnytyd, is in diepte teen die Suid-Afrikaanse agtergrond bestudeer en beskryf.

Tegnieke en analitiese metodes ('Metode 1' in Hoofstuk 5 en 'Metode 2' in Hoofstuk 6) waarmee randwaardes gestel kan word, is ontwikkel en bevestig uit simulasie resultate en verteenwoordig die essensie van hierdie studie. Deur middel van die daarstel van hierdie metodes is bewys gelewer dat die navorsing suksesvol was en dat die doelwit om randwaardes vir vloedbesproeiing in Suid-Afrika met behulp van hidrodinamiese simulasie modelle te kan stel, bereik is.

Hierdie hoofstuk fokus vervolgens op 'n samevattende bespreking ten opsigte van die stel van randwaardes. Moontlikhede vir die praktiese toepassing van die metodes wat tydens hierdie studie ontwikkel is, word uitgewys. Leemtes wat gedurende hierdie studie in beide die SIRMOD- en OPTIVLOED-2.2 programme geidentifiseer is, word as geleenthede vir verdere navorsing gegee.

7.2 ONTWIKKELING VAN TEGNIEKE EN ANALITIESE METODES WAARMEE RANDWAARDES GESTEL KAN WORD

Ten einde randwaardes te stel vir al die interafhanklike faktore wat 'n rol in vloedbesproeiingsontwerp speel, is daar besluit om van tendense gebruik te maak wat teoretiese nodepunte vorm. By elk van die nodepunte is data bepaal deur die besproeiingsepisode met behulp van 'n hidrodinamiese model te kwantifiseer. Tendense wat uit die analise van die data voortspruit, is ondersoek en in hierdie studie gekategoriseer as primêre, sekondêre en tersiêre tendense. Hierdie tendense volg noodwendig en kronologies op mekaar om uiteindelik, tydens die kategorisering van tersiêre tendense, randwaardes te kan stel. Die tegnieke en analitiese metodes wat ontwikkel is om hierdie tendense te beskryf en dus uiteindelik randwaardes te kon stel, word vervolgens samevattend bespreek.

7.2.1 Eienskappe van afdrogingsfronte as 'n primêre tendens

Die tempo van die afdrogingsfront vorm die basis vir die optimering van die verband tussen beddinglengte en toediening. Analitiese metodes om die eienskappe van afdrogingsfronte te benut is in Hoofstuk 4 beskryf. In hierdie studie is die eienskappe van afdrogingsfronte beskryf as 'n primêre tendens en bestaan uit datapunte vir optimale toediening teenoor bedding lengte. Die OPTIVLOED-2.2 program is aangewend vir die berekening van hierdie data punte. Die wiskundige verband (Hoofstuk 4, vergelyking 4.24) wat die optimale verband tussen toediening en bedding lengte weergee, is aangewend om die primêre tendenslyn wat in die ontwikkeling van 'Metode 2' (Hoofstuk 6) gebruik is, te verteenwoordig.

7.2.2 Invloed van vloei-energie op vorderingsfronte as sekondêre tendens

Die konsep 'Vloei-Energie' soos gebruik deur Kruger (1998) in vloedbesproeiing, is in hierdie studie vir die eerste keer in diepte ontwikkel en beskryf. Vloei-energie kan aan hand van die Bernouli Stelling as drukstand bereken word deur potensiële energie, kinetiese energie en wrywingsverliese in ag te neem. Net soos by enige ingewikkelde pypnetwerk met veelvuldige uitlate, lewer die drukstand

analise antwoorde vir die prestasie van die stelsel. Tegnieke om die eienskappe van vloei-energie te benut is in Hoofstuk 5 beskryf. Die "taal" waarin vloei-energie beskryf word is op unieke wyse omskryf na terme wat bekend is vir die ontwerper van vloedbesproeiing. In hierdie studie is die eienskappe van vloei-energie beskryf as 'n sekondêre tendens wat verteenwoordig word deur datapunte vir optimale toediening, met stroomgrootte óf beddinglengte as veranderlike. Die begrip 'Vloei-energie Ekwivalante' is gedefineër om die vraag na vloei-energie in 'n stelsel te voorstel Die begrip 'Dinamiese Volumebalans' is geformuleer (bekend as 'Metode 1') om vloei-energie met volumebalans te versoen, vir toepassing in hierdie studie. Daaruit kon maksimum teoretiese beddinglengtes bereken word by bepaalde stroomgroottes.

$$L_{maks} = \frac{Q_u \times T_k}{Z_{req}} \text{ (by } E_a = 100\%) \text{ ....} \textbf{Metode 1}$$

Vir vergelyking en voorstelling van doeltreffenthede, is effektiewe stroomgrootte teenoor die tradisionele werklike stroomgrootte gestel. Die effek van helling en vloeiweerstand op beddinglengte is as 'n funksie van doeltreffentheid omskryf.

$$E_a = 1 - C_3 \frac{Q^{C_4(b)} n^{C_5(0.4)}}{Z_{req}^{C_6(1.b)} S^{C_7 b/2}} \qquad \text{.................} \textbf{Metode 2}$$

Waar C_3, C_4, C_5, C_6 en C_7 konstantes is en $Z_{req} = aT^b$

'Metode 2','n wiskundige verband, is ontwikkel deur die optimale verband tussen beddinglengte en toediening saam te voeg met die "dinamiese volumebalans" van 'Metode 1'. 'Metode 2' is in hierdie studie aangewend om die waarde van toedieningsdoeltreffendheid (E_a) te voorspel. 'Metode 2' is ook aangewend om die werklike maksimum beddinglengte wat mag voorkom, te voorspel.

7.2.3 Onpraktiese, ongewensde en ongeldige ontwerpoplossings as tersiêre tendense

Met behulp van afdrogingsfront eienskappe en vloei-energie ontledings, soos vervat in 'Metodes 1 en 2', is randwaardes tydens die verrekeningsfase van vloedbesproeiingsontwerp, in drie kategorieë (onpraktiese, ongewensde, ongeldige ontwerp) gestel en word beskryf as tersiêre tendense in Hoofstuk 6. Vervolgens word die tegnieke wat gebruik is om hierdie teoretiese berekeninge van analitiese metodes, 'Metodes 1 en 2' (soos beskryf in Hoofstukke 5 en 6), om te skakel na prakties bruikbare randwaardes, bespreek.

- Kleurkodes is gebruik as 'n tegniek om die randwaardes vir **onpraktiese** ontwerp uit te wys. Die norme wat gebruik is om grense vir onpraktiese ontwerp uit te wys is relatief tot die praktyk en tegnologie van die dag. Die benadering om randwaardes hiervoor te gebruik, is nie bedoel om die berekende onwerpoplossings uit te doof nie, maar om deur middel van 'n kleurkode aan te dui dat die berekende waardes onuitvoerbare gevolge mag hê. Dit is maklik om die randwaardes met 'n kleur, grafies of in tabelle hetsy in 'n publikasie of rekenaar pakket, voor te stel.

- 'n Tegniek is daargestel om randwaardes vir **ongewensde** ontwerpoplossings te kan uitwys. 'n Eerste generasie randwaarde is daargestel deur 'n 70% waarde vir toedieningsdoeltreffendheid en 'n erosiesnelheid van 0.4 tot 0.6 m/s te aanvaar. Die waarde van 70% verteenwoordig egter nie 'n absolute grens nie. Hierdie studie dui dus die bestaan van 'n grens aan en stel die tegniek daar om randwaardes te kan stel.

- 'n Tegniek om randwaardes te stel wat berekende oplossings soos verkry uit ontwerp en simulasie programme as **geldig of ongeldig** uit te wys, is ontwikkel. Die tegniek behels dat die gesimuleerde ontwerpresultate vergelyk word met die resultate soos verkry deur gebruik te maak van die analitiese metode, 'Metode 2'. Die tegniek vervul 'n belangrike rol om die ontwerper toe te laat om die hele potensiële ontwerpgebied te deursoek vir geskikte

oplossings, sonder om onnodige tyd te verkwis op onsinnige ontwerp berekeninge. 'n Eenvoudige voorbeeld om die praktiese gebruik van hierdie tegniek te illustreer is deur die stel van randwaardes vir maksimum beddinglengte. Nie een van die SIRMOD- of OPTIVLOED 2.2 programme dui maksimum beddinglengte aan nie, en die ontwerper moes dus met moeite self sodanige waardes bepaal.

7.3 BESPREKING VAN RANDWAARDE RESULTATE

Die resultate van hierdie studie (die vermoë om randwaardes te stel vir die gebruik in vloedbesproeiingsontwerp), word vervolgens kortliks bespreek aan die hand van die praktiese toepassingswaarde daarvan. Voorbeelde van randwaarde tabelle word verskaf in Aanhangsel 1.

7.3.1 Randwaardes om onpraktiese besproeiingsontwerpe te beperk

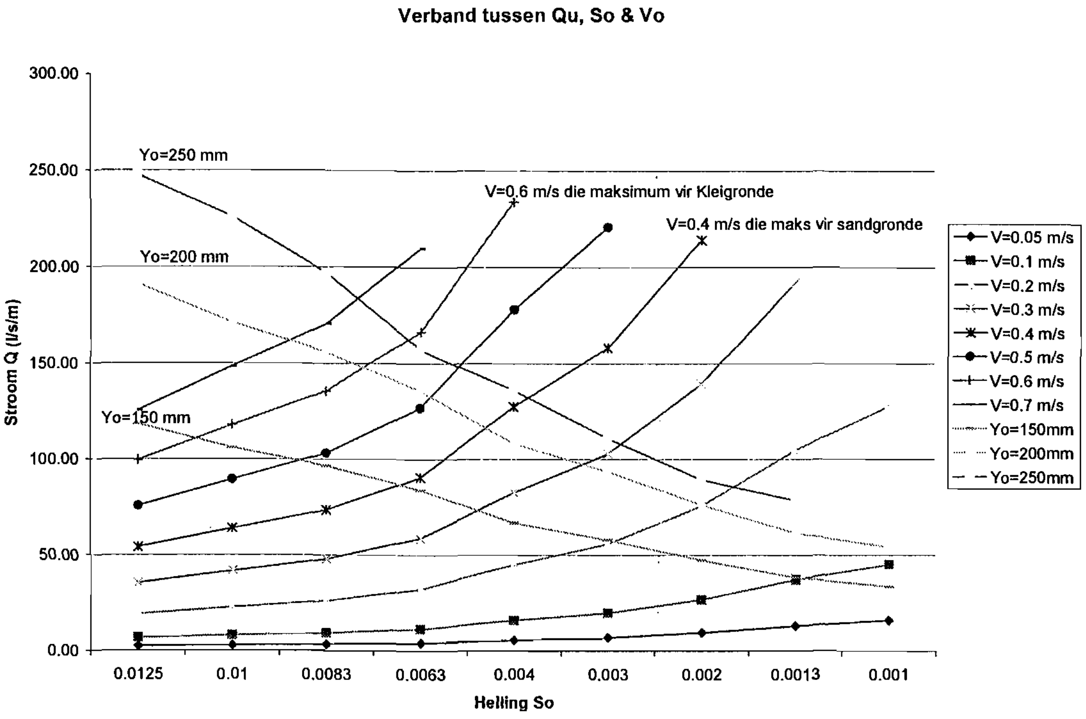
Soos in Hoofstuk 6 aangetoon, kan onpraktiese ontwerpe maklik uitgewys word.

7.3.2 Randwaardes om ongewensde besproeiingspraktyke te beperk

Die doel hiervan is om oorbesproeiing te beperk en grond erosie te voorkom wat ongewensde praktyke in vloedbesproeiing is en wat permanente negatiewe gevolge vir die hulpbronne mag inhou. Die ontwerp insette wat hier van belang is asook die praktiese implikasie word vervolgens kortliks weergegee.

7.3.2.1 Beperking van Stroomgrootte

Figuur 7.1 toon die Randwaarde beperkings vir maksimum stroomgroottes aan by verskillende hellings. Die vloeisnelheid waarby erosie sal plaasvind word aangedui vir fyn sandgronde soos Vaalharts en gestruktureerde kleigronde soos swart turf en Hutton Mangano gronde. Stroomgrootte word ook beperk deur die fisiese hoogte van beddingwalletjies. Dus is vloeidiepte (Y_0) 'n beperkende faktor.



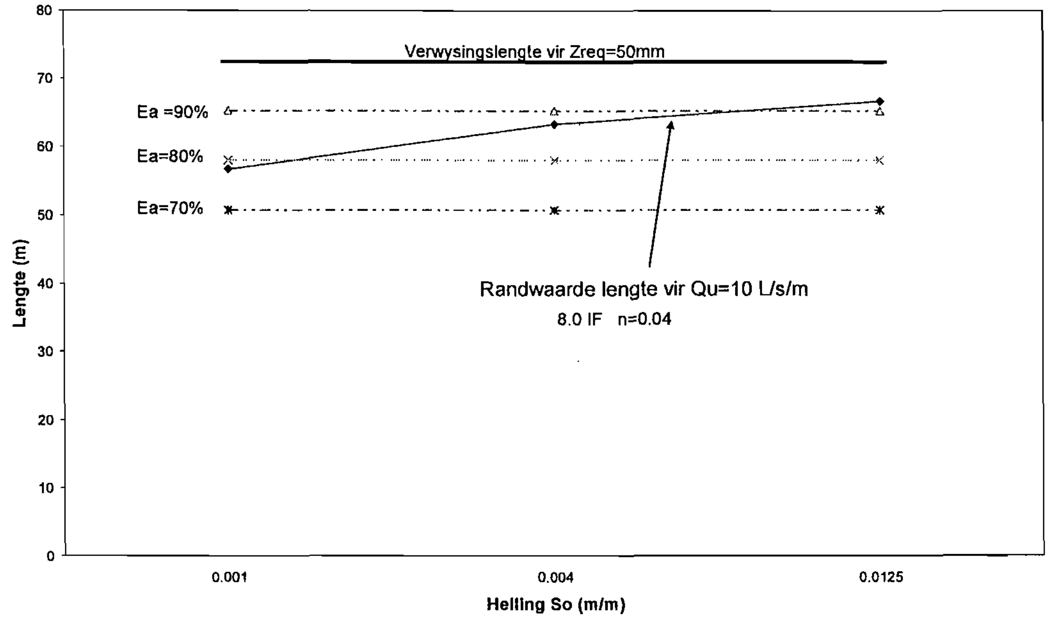
Figuur 7.1 Erosiesnelheid (V_{maks}) en vloeidiepte(Y_0) beperking op stroomgrootes (Q) teen verskillende hellings (S_0)

Die resultaat in Figuur 7.1 moet vergelyk word met die VSA-standaard soos in Tabel 6.6 (Hoofstuk 6) verstrek is. Die VSA-standaard word tans in die ontwerp van vloedbesproeiing in Suid-Afrika toegepas. Indien Figuur 7.1 en Tabel 6.6 se resultate met mekaar vergelyk word, kan daar gesien word dat die maksimum stroomgroottes aansienlik hoër is in Figuur 7.1, relatief tot dié in Tabel 6.6. Vir S_0=0.0125, verhoog die toelaatbare stroom vanaf Q_u = 4.68 (l/s)/m na minstens Q_u= 35 (l/s)/m op stabiele gronde. Die nuwe waardes moet nog met eksperimentele waardes gekorrigeer word, maar toon aan waarom daar reeds in die praktyk in Suid-Afrika suksesvol op hellings van S_0=0.004, met stroomgroottes van 18 (l/s)/m besproei word.

7.3.2.2 Beperking van oorbesproeiing weens lae doeltreffendhede

Die benutting van die konstante tyd benadering (paragraaf 3.2.3.2, Hoofstuk 3) vir die hidrodinamiese simulasie van data vir 'n besproeiingsepisode, het gelei tot die

ontwikkeling van Metode 1 (Hoofstuk 6) in die studie. Metode 1 voorspel die maksimum teoretiese beddinglengte (L_{maks}), genoem die verwysingslengte, vir enige besproeiing teen 'n toedieningsdoeltreffendheid van E_a = 100%. Dit is dus nou moontlik om alle gesimuleerde data grafies voor te stel met die resultaat van 'Metode 1' as verwysing.



Figuur 7.2 Voorbeeld van die gebruik van verwysingslengte (uit Metode 1) en toedieningsdoeltreffendheid (uit Metode 2), vir verband tussen helling en die randwaarde vir beddinglengte

Die afwyking in beddinglengte, of mate waarin die gesimuleerde beddinglengte korter as die verwysingslengte is, stel die waterverlies of ondoeltreffendheid voor. Met die ontwikkeling van Metode 2 is daar nou 'n teoretiese voorspelling van toedieningsdoeltreffendheid (E_a) moontlik. Die E_a-waardes wat so bereken word, stem ooreen met hidrodinamies gesimuleerde waardes. Gevolglik kan voorspelde lengtes bereken word en weereens voorgestel word teenoor die teoretiese maksimum beddinglengte.

Figuur 7.2 toon die detail vir 'n hoë infiltrasietempo (8.0 IF) aan, waar 'n 50 mm toediening teen 'n stroomgrootte van 10 (l/s)/m, op 'n kaal grond (n=0.04) gebruik

word om mee te besproei. Die verwysingslengte is met metode 1 as ℓ= 72.5 m bereken en grafies gestip. Die relatiewe waardes van toedieningsdoeltreffendheid is telkens as 'n breuk van die verwysingslengte (waar E_a=100%) bereken vir E_a=90%, E_a=80% en E_a=70%, en op die grafiek gestip. Op die x-as is die verskillende waardes van die grondhelling (S_0) wat vir die vergelyking gebruik word, aangedui. Met behulp van Metode 2, is die toedieningsdoeltreffendhede voorspel wat tydens besproeiing sal realiseer. Met die waarde van E_a bekend vir elke helling, kon die randwaarde vir die werklike beddinglengte by elke grondhelling bereken word en op die grafiek gestip word. Die grafiek toon nou duidelik die effek van verskillende grondhellings op die toedieningsdoeltreffendheid tydens besproeiing aan. In hierdie geval sou 'n toename in helling vanaf S_0=0.001 na S_0=0.0125 die waarde van E_a vanaf 78.3% na 91.9 % verhoog het.

In lig van hierdie resultaat kan die ontwerper nou sinvolle besluite, oor die voorgeskrewe helling vir 'n bedding, neem. Hierdie resultaat kan beskou word as 'n internasionale deurbraak en 'n unieke konsep wat die voorspelling asook die grafiese voorstelling van ondoeltreffende besproeiing aansienlik gaan vergemaklik.

Die ontwikkeling wat in hierdie studie plaasgevind het, sal lei tot 'n beter begrip van doeltreffende vloedbesproeiingsontwerp, en sal so kan bydra om die standaard van vloedbesproeiingsontwerp te verbeter. Daar word aanbeveel dat hierdie resultate in 'n opgegradeerde weergawe van die OPTIVLOED program vervat sal moet word.

7.3.3 Randwaardes om ongeldige ontwerpberekeninge uit te skakel

Sodra 'n ontwerplengte van om en by die maksimum waarde (ℓ) in die SIRMOD program ingesleutel word, gee die program meeste van die tyd konvergensie probleme tydens die simulasieberekeninge. Die meeste ontwerpers weet nie waarom dit gebeur nie en mors dan onnodig tyd om die berekeninge te verfyn, óf hulle kies 'n heelwat korter lengte, óf hulle verander aan ander insette. Die

randwaardes wat met Metodes 1 en 2 gestel word, soos in die vorige hoofstukke beskryf, sal hierdie probleem ondervang. Die ontwerpers kan nou die oplossing binne die gebied wat deur Metodes 1 en 2 voorspel word soek. Indien daar steeds konvergensie probleme met SIRMOD ervaar word, sal die verstelling aan die numeriese oplossingsparameters binne die SIRMOD program die probleem oplos mits die berekeningsfout (error) tydens simulasie klein gehou kan word.

Die OPTIVLOED-2.2 program neig om beddinglengtes te lank te voorspel omdat daar in OPTIVLOED-2.2 geen beperking op beddinglengtes gestel is nie. Die randwaarde wat nou met behulp van 'Metode 2' gestel kan word en in Hoofstuk 6 beskryf is, sal hierdie probleem ondervang. Daar word dus ook aanbeveel dat die randwaardes, soos bereken met Metode 2, in 'n opgegradeerde weergawe van die OPTIVLOED program vervat sal word

7.4 DIE BYDRAE VAN HIERDIE STUDIE TOT DIE VLOEDBESPROEI-INGSBEDRYF

7.4.1 Nasionaal

Reeds in 1979 het die navorser dit as 'n navorsingsdoelwit gestel dat hidrodinamiese simulasie modelle in die toekoms ook aangewend sal kan word om 'n vloedbesproeiingsepisodes te kwantifiseer en het hy 'n skematiese voorstelling van hierdie navorsingsdoelwitte voorgelê in 'n vorderingsverslag tydens 'n vergadering in die destydse Afdeling Landbou-Ingenieurswese. In daardie voorstelling is stroomgrootte en toedieningsdoeltreffendheid (telkens vir 'n spesifieke grondtipe, gewas en helling) teenoor beddinglengte, gestip. Hierdie voorstelling van toedieningsdoelterfendheid is in hierdie studie verwerklik vanaf 'n "visuele droom" na 'n "praktiese werklikheid". Die feit dat die effek van 'n kombinasie van ontwerpinsette nou visueel en tasbaar beoordeel sal kan word, sal vloedbesproeiing 'n baie meer toeganklike bedryf vir ontwerpers maak.

7.4.2 Internasionaal

Hierdie resultaat wat Metodes 1 en 2 bied, is ook op 'n internasionale vlak uniek en 'n absolute deurbraak aangesien daar geen ander gepubliseerde metode bestaan waarmee toedieningsdoeltreffendheid voorspel kan word anders as deur hidrodinamiese simulasies nie. Met die resultaat van hierdie studie is dit nou moontlik om hidrodinamiese simulasie modelle meer doelgerig aan te wend aangesien toedieningsdoeltreffendheid en maksimum beddinglengtes reeds bekend is. Dit kan meebring dat Empiriese Ontwerpnorme soos vervat in die USDA ontwerphandleiding vir beddingbesproeiing (Soil Conservation Service, 1974), met Hidrodinamiese Simulasie resultate versoen kan word.

7.5 AANBEVELING VIR VERDERE NAVORSING

7.5.1 Leemtes in hierdie studie

Hierdie studie is deeltyds onderneem en deur die navorser self befonds. Dit was gevolglik nie moontlik om addisionele praktiese data in te samel nie. Ten einde sulke addisionele praktiese waardes vir vloeispoed waarby erosie plaasvind in te samel, sal uitgebreide ondersoeke onderneem moet word.

7.5.2 Verdere navorsingsbehoeftes wat uit die studie voortvloei

Verdere navorsing wat uit hierdie studie behoort voort te vloei is:

1 Metode 2 is slegs wiskundig afgelei en noodsaak verdere statistiese passing aan al die faktore daarby betrokke.

2 Die toepassing van die tegnieke, soos in hierdie studie ontwikkel, waarmee randwaardes gestel kan word, moet nou fisies in ontwerphandleidings en rekenaarpakette (soos OPTIVLOED) vervat word.

3 Praktiese data moet ingesamel word vir die faktore wat nie in hierdie studie aangespreek is nie, soos infiltrasietempo en maksimum vloeispoed. Dit is uiteraard noodsaaklik om praktiese data oor infiltrasietempos meer

toeganklik vir ontwerpers te maak, sodat praktiese toepassing van vloedbesproeiingsontwerp in Suid-Afrika bevorder kan word. In die lig van die energie krisis in Suid-Afrika, maar ook wêreldwyd, behoort dit as 'n hoë prioriteit beskou te word.

BRONNELYS

ABBASI, F., SHOOSHTARI, M.M. & FEYEN, J. 2003. Evaluation of various surface irrigation numerical simulation models. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129(3): 208-213.

ADEGOKE, J.O., PIELKE, R.A., MAHMOOD, R., HUBBARD, K.G. & EASTMAN, J. 2003. Impact of irrigation on midsummer surface fluxes and temperature under dry synoptic conditions: A regional atmospheric model study of the U.S. high plains. *Monthly Weather Review*, 131(3): 556-564.

AQUASTAT – FAO information system on water and agriculture. 2006. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/irrigationmap/za last date of access December 2007.

AZEVEDO, C.A.V., MERKLEY, G.P. WALKER, W.R. 1996. The SIRTOM software – a real-time surface irrigation decision support system. (*In* Proceedings of the 6th International Conference on Computers in Agriculture, June 1996, Cancun, Mexico. St. Joseph, MI, USA: American Soc. Agric. Eng. p. 872-884.)

BADENHORST, J.W. 1973. Die afsnykoëffisiënt vir die ontwerp van vloed-besproeiingsbeddings. *Landbou-ingenieurswese in Suid-Afrika,* 7(1): 46-55.

BASSETT, D.L., FRANGMEIER, D.D. & STRELKOFF, T. 1980. Hydraulics of surface irrigation. (*In* JENSEN, M.E. *(Eds.)*., *Design and operation of farm irrigation systems*, Chapter 12. ASAE Monograph 3. St. Joseph, Michigan: ASAE. p. 447-498.)

BRADFORD, S.F. & KATOPODES, N.D. 1998. Nonhydrostatic model for surface irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 124(4): 200-212.

BRUWER, J.J. 1987. Die Staat se betrokkenheid by besproeiing. *S.A. Irrigation.* 9(4).

BURT, C.M. 1986. Controlled volume design for surface irrigation. *ASAE, summer meeting.* California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA, Paper no 86-2085.

CHEN, C.L. 1970. Surface irrigation using kinematic-wave method. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 96(1): 39-46.

CHOW, V. 1959. *Open channel hydraulics*. New York, USA: McGraw-Hill Book Company.

CLEMMENS, A.J. 1979. Verification of the Zero-Inertia Model for Border irrigation. *Trans. ASAE*, 22(6): 1306-1309.

CLEMMENS, A.J. 1988. Method for analyzing field scale surface irrigation uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 114(1): 74-88.

CLEMMENS, A.J., STRELKOFF, T.S. & PLAYAN, E. 2003. Field verification of two-dimensional surface irrigation model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129(6): 402-411.

COLLINS, D.L. & BASSETT, D.L. 1964. Terminal profile of water flowing over a porous bed having constant infiltration. *Trans. ASAE*, 7(4): 475-477.

CROSBY, C.T., DE LANGE, M., STIMIE, C.M., VAN DER STOEP, I. 2001. A review of planning and design procedures applicable to small-scale farmer irrigation projects. Report to the WRC no: 578/2/00. www.wrc.org.za

DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS AND FORESTRY. 1998. Nasionale Waterwet (Wet 36 van 1998). RSA.

DEPARTEMENT VAN LANDBOU. 1983 Wet op die bewaring van landbouhulpbronne. Wet no 43 van 1983, RSA.

DE ROSNAY, P., POLCHER, J., LAVAL, K. & SABRE, M. 2003. Integrated parameterization of irrigation in the land surface model ORCHIDEE. Validation over Indian Peninsula. *Geographical Research Letters*, 30(19): HLS2-1-4.

DE ROSNAY, P., POLCHER, J., LAVAL, K. & SABRE, M. 2003. Integrated parameterization of the land surface model ORCHIDEE. Validation over Indian Peninsula. *Geographical Research Letters*, 30(19): HLS2-1 – HLS2-4.

DU RAND, D.J. & KRUGER, G.H.J. 1991. Surface irrigation in South Africa - The challenge. (*In* Proceedings of the Southern African Irrigation Symposium, 1991, Durban, South Africa.)

DU RAND, D.J. 1992. *Persoonlike mededeling.* Streekingenieur, Departement Landbou, Vrystaatstreek, Glen, Suid-Afrika.

DU RAND, D.J., KRUGER, G.H.J. & VAN RENSBURG, B.D.J. 1985. *Finale verslag projek OVH 77.* Dept van Landbou en Watervoorsiening, Pretoria, Suid-Afrika.

EBNE-JALAL, R. 2004. Weighted average method for land grading design. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 130(3): 239-247.

EDDEBBARH, A. & PADMORE, H.P. 1988. A fully integrated surface-subsurface model for surface irrigation. *ASAE, summer meeting.* Rushmore Plaza Civic centre, Rapid City,SD.

EISENHAUER, D.E., HEERMANN, D.F. & KLUTE, A. 1992. Surface sealing effects on infiltration with surface irrigation. *Transactions of the ASAE*, 35(6): 1799-1807.

ELLIOTT, 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.

ENCISO, J.M. & MARTIN, D.L. 1996. Computer based siulation for surface irrigation with limited water supplies. (*In* Proceedings of the 6th International Conference on Computers in Agriculture, June 1996, Cancun, Mexico. St. Joseph, MI, USA: American Soc. Agric. Eng. p. 994-1001.

FAO Water report No 23. Review of world water resoutces by country. Rome 2003. http://www.fao.org/documents/advanced. Acsessed January 2007.

FOK, T. & BISHOP, A.A. 1965. Analysis of water advance in surface irrigation. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.,* 91(IR1): 99-117.

FRANGMEIER, D.D. & STRELKOFF, T. 1979. Mathematical models and border irrigation design. *Trans. ASAE.,*22(1): 93-99.

GARCIA-NAVARRO, P. & PLAYAN, E. 1997. Radial model of surface flow: Application to level-basin irrigation. (*In* Proceedings of the 27th Congress of the International Association of Hydraulic Research, Part A, 1997, San Francisco, CA, USA. New York, USA: ASCE. p. 268-273.)

GONVALVES, J.M., PEREIRA, L.S., FANG, S.X., FABIAO, M.S., CAMPOS, A., MAO, Z. & PAREDES, P. 2001. A Computer package for simulation and decision-making on surface irrigation improvements for water savings. (*In* Proceedings of the World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources, September 2001, Iguacu Falls, Brazil. St, Joseph, MI: American Soc. Agric. Eng. p. 835-842.)

HAIE, N. 1984. *Hydrodynamic simulation of continuous and surged surface flow.* Department of Agriculture and Irrigation Engineering, Utah State University, Logan, Utah.

HALL, W.A. 1956. Estimating irrigation border flow. *Agric. Eng.,* 37(4): 263-265.

HALL, W.A. 1960. Design of irrigation border checks. *Agric. Eng.,* 41: 419-440.

HART, W.E., BASSETT, D.L. & STRELKOFF, T. 1968. Surface irrigation hydraulics-kinematics. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.,* 94(4): 419-440.

HOLZAPFEL, E.A., MARINO, M.A. & CHAVEZ-MORALES, J. 1986. Surface-irrigation optimazation models. *J. Irrig. Drain. Eng. 112(1):1-19.*

HOLZAPFEL, E.A. & MARINO, M.A. 1987. Surface-irrigation nonlinear optimazation models. *J. Irrig. Drain. Eng. 113(3):379-392.*

HOSSEINIPOUR, E.Z. 1993. Irrigation, agrichemicals and the environmental impact, the role of hydrologic non-point source models. (*In* Proceeding of the Symposium on Engineering Hydrology, July 1993, San Francisco, CA, USA. New Yrok, USA: ASCE. p. 407-412.)

JENSEN, M.E. *(Eds.).* 1980. *Design and operation of farm irrigation systems.* American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, Michigan. USA.

KABIR, J. & KING, L.G. 1983. Design guide for erosion control under furrow irrigation. (*In* Paper- American Society of Agricultural Engineers: Winter meeting of the American Society of Agricultural Engineers, 1983, Chicago, IL, USA. Mich, USA: ASAE. p. 17.

KATAPODES, N.D. 1990. Observability of surface irrigation advance. *ASCE J. Irrig. Drain Eng.,* 116(5): 697-713.

KATAPODES, N.D., TANG, J. & CLEMMENS, J. 1990(a). Estimation of surface irrigation parameters. *ASCE J. Irrig. Drain Eng.,* 116(5): 676-695.

KATYAL, A.K., KING, L.G. & CAMPBELL, G.S. 1988. Simulation of post-irrigation moisture changes for surface irrigation of corn. (*In* Conference: Planning now for irrigation and drainage in the 21st century, July 1988, Lincoln, NE, USA. New York, USA: ASCE. p. 323-330.)

KIEFER, F.W. 1959. *Average depth of absorbed water in surface irrigation.* Civil Engineering Department, Utah State University, Logan, Utah.

KORTBEGRIP VAN LANDBOU STATISTIEK. 1990. Direktoraat Landbou-ekonomiese Tendense, Pretoria, Suid-Afrika.

KRUGER, G.H.J. 1986. Furrow irrigation. (*In* Proceedings of the International Symposium on Agricultural engineering, January 1986, Pretoria, South Africa. 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.

KRUGER, GHJ. 1997. Die opstel van norme en standaarde van vloedbesproeiing vir die besproeiingsverbetering subsidie skema. Verslag Q0027. Verslag aan die instituut vir Landbou-Ingenieurswese, Pretoria. p20.

KRUGER, G.H.J. 1998a. Die ontwikkeling en rekenarisering van 'n geskikte vloedbesproeiingsontwerpprosedure: ***Volume 1:*** *Samevattende verslag.* WNK verslag No 290/1/98, p50.

KRUGER, G.H.J. 1998b. Die ontwikkeling en rekenarisering van 'n geskikte vloedbesproeiingsontwerpprosedure: ***Volume*** *2: Kritiese evaluering van vloedbesproeiing-ontwerpprosedures.* WNK verslag No 290/2/98. p190.

KRUGER, G.H.J. 1998c. Die ontwikkeling en rekenarisering van 'n geskikte vloedbesproeiingsontwerpprosedure: ***Volume 3:*** *Bevestiging van hidrodinamiese modelle en kenmerkende eienskappe geldig vir vloedbesproeiing in Suid-Afrika.* WNK verslag No 290/3/98, p134.

KRUGER, G.H.J. 1998d. Die ontwikkeling en rekenarisering van 'n geskikte vloedbesproeiingsontwerpprosedure: ***Volume 4:*** *Ontwikkeling en rekenarisering van 'n toepaslike ontwerpprosedure vir vloedbesproeiing.* WNK verslag No 290/4/98, p136.

KRUGER, G.H.J. 1998e. Die nuutste tegnologie rakende vloedbesproeiing: OPTIVLOED-2.2 Ontwerpkursus en evalueringsverslag. *Tegnologie-oorgragprojek* WNK verslag No.K8/317, p18.

KRUGER, G.H.J. 2001. NDUMU design report.

LEWIS, M.R. & MILNE, W.E. 1938. Analysis of border irrigation. *Agric. Eng.,* 19: 267-272.

LINDERMAN, C.L. & STEGMAN, E.C. 1971. Seasonal variation of hydraulic parameters and their influence upon surface irrigation application efficiency. *Trans. ASAE.* p. 914-923.

LNR-ILI. 2003. Besproeiingsontwerphandleiding. www.arc.agric.za

MAHESHWARI, B.L., McMAHON, T.A. & TURNER, A.K. 1989. Field application of border irrigation models. (*In* DODD & GRACE (*Eds.*). 1989. Land and water use. Balkema, Rotterdam. p. 653-661.)

MAHESHWARI, B.L. & McMAHON, T.A. 1992. Modeling shallow flow in surface irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 118(2): 201-217.

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

NASIONALE VOEDSELSTRATEGIE. 1990 & 1992. *Potensiële produksieverhoging deur verhoging in bestuurspeil* - 'n Aanhangsel tot 'n ondersoek en verslag aan die werkskomitee belas met die formulering van 'n voedsel- en voedingstrategie vir die RSA. Departement Landbou-ontwikkeling, Pretoria, Suid-Afrika.

PHILIP, J.R. 1957(a). The theory of infiltration: 4. Sorptivity and initial moisture content. *Soil Sci.*, 84: 257-264.

PHILIP, J.R. 1957(b). The theory of infiltration: 5. The influence of the initial moisture content. *Soil Sci.*, 84: 329-337.

RAGHUWANSHI, N.S. & WALLENDER, W.W. 1996. Modeling seasonal furrow irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 122(4): 235-242.

RAGHUWANSHI, N.S. & WALLENDER, W.W. 1997. Economic optimization of furrow irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 123(5): 377-385.

RASOULZADEH, A. & SEPAKHAH, A.R. 2003. Scaled infiltration equations for furrow irrigation. *Biosystems Engineering*, 86(3): 375-383.

RAYEJ, M. & WALLENDER, W.W. 1987. Furrow model with specified space intervals. *ASCE J. Irrig. Drain. Eng.*, 113(4): 536-548.

REDDY, M.J. & CLYMA, W. 1981. Optimal design of furrow irrigation systems. *Trans. ASAE.*, 24(3): 617-623.

RENAULT, D. & WALLENDER, W.W. 1992. ALIVE (Advance Linear Velocity): Surface irrigation rate balance theory. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 118(1): 138-155.

RENAULT, D. & WALLENDER, W.W. 1997. Surface storage in furrow irrigation evaluation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 123(6): 415-422.

RUSSEL, D.A. 1982. *Determination of soil properties related to irrigation and drainage.* Department of Soil Science. University of Fort Hare, Alice.

SHOCKLEY, D.G., WOODWARD, H.J. & PHELAN, J.J. 1964. A quasi-rational method of border-irrigation design. *Trans. ASAE,* 7(4): 420-423, 426.

SCALOPPI, E.J., MERKLEY, G.P. & WILLARDSON, L.S. 1995. Intake parameters from advance and wetting phases of surface irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering,* 121(1): 57-70.

SCS (SOIL CONSERVATION SERVICE). 1974. Border irrigation. (*In* USDA National Engineering Handbook, Chapter 4, Section 15. Bethesda, Maryland: United States Dept. of Agriculture.

SCS (SOIL CONSERVATION SERVICE). 1983. Furrow irrigation. (*In* USDA National Engineering Handbook. Chapter 5, Section 15. Washington. DC: United States Dept. Agric.)

SINGH, P. & CHAUHAN, H.S. 1972. Shape factors in irrigation water advance. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 98(IR3): 443-458.

SKOGERBOE, G.V. & SHAFIQUE, M.S. 1990. Surface irrigation scheduling technology. (*In* Visions of the Future, Proceedings of the Third National Irrigation Symposium held in conjunction with the 11th Annual International Irrigation Exposition, 1990, Phoenix, AZ, USA. Silver Spring, MD, USA: ASAE. p. 612-617.)

SMITH, R.E. 1972. Border irrigation advance and ephemeral flood waves. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 98(IR2): 223-252.

SMOUT, I.K. & GORANTIWAR, S.D. 2005. Multilevel approach for optimizing land and water resources and irrigation deliveries for tertiary units in large irrigation schemes. I: Method. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131(3): 254-263.

STATISTIEK SA. 2001 EN 2006. www.statssa.gov.za/publications. Datum van webwerfbesoek was 14 Oktober 2007.........

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

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

STRELKOFF, T.S. 1993. Flow simulation for surface irrigation design. (*In* Proceedings of Management of Irrigation and Drainage Systems: Integrated Perspectives Conference, July 1993, Park City, UT, USA. New York, USA: ASCE. p. 899-906.)

STRELKOFF, T.S., CLEMMENS, A.J., EL-ANSARY, M. & AWAD, M. 1999. Surface-irrigation evaluation models: Application to level basins in Egypt. *Transactions of the ASAE*, 42(4): 1027-1036.

VALIANTZAS, J.D. 1997. Volume based irrigation advance equation: Variation of surface shape factor. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 123(4): 307-312.

VAN DER RYST, C. 1980. *Beddingbesproeiing.* Afdeling Landbou-Ingenieurswese (*Interne publikasie*), Pretoria, Suid-Afrika.

VAN HEERDEN, P.S. 1987. *Vloedbesproeiingsontwerp: die optimalisering van beddingafmetings.* Departement van Landbou en Watervoorsiening, Pretoria, Suid-Afrika.

VAN ROBBROECK, T.P.C. 1983. *Irrigation water resources, planning for the 90's and beyond.* Unpublished Irrigation workshop. Water Research Commission, Pretoria, Suid-Afrika.

WALKER, W.R. 1989. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems. *FAO irrigation and drainage paper 45.* Food and agriculture organization of the United Nations, Rome.

WALKER, W.R. & LEE, T.S. 1981. Kinematic-wave approximation of surged furrow advance. (*In* ASAE Paper: ASAE Winter meeting, Chicago, Ill. **p. 81-2544.**)

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

WALKER, W.R. & HUMPHERYS, A.S. 1983. Kinematic-wave furrow irrigation model. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.*, 109(IR4): 377-392.

WALKER, W.R. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131(2): 129-136.

WALKER, W.R. & KASILINGAM, B. 2004. Another look at wetting perimeter along irrigation furrows – modeling implications. (*In* SEHLKE, G., HAYES, D.F. & STEVENS, D.K., *eds.* Critical transitions in water and environmental resources

management: World Water and Environmental Resources Congress, 2004, Salt Lake City, Utah, USA. Utah, USA: ASCE. **p.129.**)

WALKER, W.R. & KASILINGAM, B. 2004. Correcting the volume balance equation for shape factors during advance. (*In* Critical transitions in water and environmental resources management – Conference proceeding paper. Utah, USA: ASCE. **p. 1-6.**)

WALKER, W.R., PRESTWICH, C. & SPOFFORD, T. 2006. Development of the revised USDA-NRCS intake families for surface irrigation. *Agricultural Water Management*, 85: 157-164.

WESSELS, W.P.J. 1973. Uitleg van sprinkel- en vloedbesproeiingstelsels. *Besproeiing Simposium.* 4(1): 75-86.

WILKE, O.C. & SMERDON, E.T. 1965. A solution to irrigation advance problem. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.,* 91(IR3): 23-34.

WOOLHISER, D.A. & LIGGETT, J.A. 1967. Unsteady, one dimensional flow over a plane-the rising hydrograph. *Water Resour.*, 3(3): 753-771.

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

YU, F.X. & SINGH, V.P. 1990. Analytical model for furrow irrigation. *ASCE J. Irrig. Drain, Div.,* 116(2): 154-171.

ZERIHUN, D., FURMAN, A., ARRICK, A.W. & SANCHEZ, C.A. 2005. Coupled surface-subsurface solute transport model for irrigation borders and basins. I. Model development. *Journal of Irrigation and Drainage Engin*eering, 131(5): 396-406.

ZERIHUN, D., SANCHEZ, C.A., FARRELL-POE, K.L., ADAMSEN, F.J. & HUNSAKER, D.J. 2003. Performance indices for surface N fertigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering,* 129(3): 173-183.

SIMULASIEMODELLE

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

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

AANHANGSEL 1

1.1 RANDWAARDE RESULTATE

Slegs enkele data word as voorbeeld in hierdie aanhangsel ingesluit. Weens die omvang van die data, is dit nie sinvol om in hierdie dokument al die data in tabelle te vertoon nie. Dit is egter op aanvraag beskikbaar,

Data word in die volgende orde vertoon:

- Verwysingslengte (bereken met Metode 1)
- Voorspelde toedieningsdoeltreffendheid (bereken met Metode 2)
- Randwaarde vir maksimum beddinglengte (by E_a=70%) met uitsluiting van erosie beperking.
- Randwaarde vir maksimum beddinglengte met inagneming van waarskynlike erosie- en vloeidiepte beperkings

As voorbeeld word 'n **4.0 IF** inname familie, soos tipies op **Vaalharts** voorkom, vir demonstrasie van die RANDWAARDES gebruik. Die leser word daarop gewys dat die sandgrond te Vaalharts onstabiele walletjies maak. Dus is vloeidiepte (60 tot 80 mm)'n groter beperking is as die potensiële erosie wat veroorsaak mag word deur stroomgrootte by tipiese hellings van S_0=0.0063 tot S_0=0.004.

Aanhangsel 1 Tabel 1: Verwysingslengte

4.0 IF L maks by E_a = 100% soos bereken met Metode 1 vir met geslote beddings

Z_{req} (mm)	$T_{co} = T_k$ (min)	Q_e (l/s/)m									
		1	5	7	15	20	30	40	50	70	100
		Verwysingslengte (L) (m)									
25	**6.30**	15.1	75.7	105.9	227.0	302.6	454.0	605.3	756.6	1059.2	1513.2
50	**16.09**	19.3	96.5	135.1	289.6	386.1	579.1	772.2	965.2	1351.3	1930.4
75	**27.82**	22.3	111.3	155.8	333.9	445.2	667.8	890.4	1113.0	1558.2	2226.0
100	**41.05**	24.6	123.1	172.4	369.4	492.6	738.8	985.1	1231.4	1723.9	2462.8
125	**55.49**	26.6	133.2	186.5	399.5	532.7	799.1	1065.4	1331.8	1864.5	2663.6
150	**71.00**	28.4	142.0	198.8	426.0	568.0	851.9	1135.9	1419.9	1987.9	2839.8
175	**87.44**	30.0	149.9	209.9	449.7	599.6	899.4	1199.1	1498.9	2098.5	2997.9
200	**104.73**	31.4	157.1	219.9	471.3	628.4	942.6	1256.7	1570.9	2199.3	3141.9

Nota:

- Die verwysingsgslengte is afhanklik van die inname familie. Tabel 1 verteenwoordig dus die maksimum teoretiese beddinglengtes vir die 4.0 IF inname familie, ongeag helling en vloeiweerstand.
- (Q_e) is die effektiewe stroomgrootte waarby elke waarde van die verwysingslengte gedefinieer is.
- Aanpassing vir helling (S_0) en vloeiweerstand (n) word deur middel van die waarde van toedieningsdoeltreffendheid (E_a) gedoen. Die resultaat is die Randwaarde vir beddinglengte by 'n bepaalde eenheid stroomgrootte (Q_u).

Aanhangsel 1 Tabel 2:

Randwaardes vir kaal grond (*n*=0.04) teen 'n steil helling (*S*=0.0125)

Tabel 2.1: Toedieningsdoeltreffendheid

Z_{req} (mm)	Stroomgrootte Q_e (l/s/)m									
	1	5	7	15	20	30	40	50	70	100
	Toedieningsdoeltreffendheid (E_a)									
25	97.8%	92.8%	90.7%	83.7%	79.9%	72.8%	66.3%	60.3%	49.1%	33.7%
50	98.2%	94.0%	92.3%	86.4%	83.2%	77.3%	71.9%	66.9%	57.5%	44.6%
75	98.4%	94.6%	93.0%	87.8%	84.9%	79.6%	74.7%	70.2%	61.7%	50.2%
100	98.5%	95.0%	93.5%	88.6%	85.9%	81.0%	76.5%	72.3%	64.5%	53.8%
125	98.6%	95.2%	93.9%	89.3%	86.7%	82.1%	77.9%	73.9%	66.5%	56.4%
150	98.6%	95.5%	94.2%	89.8%	87.4%	82.9%	78.9%	75.1%	68.0%	58.4%
175	98.7%	95.6%	94.4%	90.2%	87.9%	83.6%	79.7%	76.1%	69.3%	60.0%
200	98.7%	95.8%	94.6%	90.5%	88.3%	84.2%	80.4%	76.9%	70.3%	61.4%

Tabel 2.2: Beperking van beddinglengte as gevolg van doeltreffendheid

Z_{req} mm	Q_e (l/s/)m									
	1	5	7	15	20	30	40	50	70	100
	Randwaarde (@(E_a)=70%) vir maksimum beddinglengte (ℓ) (m)									
25	14.8	70.2	96.1	190.0	241.7	330.5				
50	19.0	90.7	124.7	250.2	321.1	447.6	555.2			
75	21.9	105.3	145.0	293.0	377.8	531.3	665.2	781.0		
100	24.3	116.9	161.3	327.5	423.3	598.7	753.9	890.5		
125	26.3	126.8	175.1	356.7	462.1	656.1	829.5	983.9		
150	28.0	135.6	187.2	382.4	496.1	706.5	896.0	1066.2		
175	29.6	143.4	198.1	405.5	526.7	751.9	955.8	1140.2		
200	31.0	150.5	208.1	426.6	554.6	793.3	1010.4	1207.8	1547.1	

Tabel 2.3: Beperking van beddinglengte as gevolg van erosie en vloeidiepte

Z_{req} mm	Q_u (l/s/m)									
	1	5	7	15	20	30	40	50	70	100
	Randwaarde vir maksimum beddinglengte (ℓ) (m)									
25	14.8	70.2	96.1	190.0	241.7					
50	19.0	90.7	124.7	250.2	321.1					
75	21.9	105.3	145.0	293.0	377.8					
100	24.3	116.9	161.3	327.5	423.3					
125	26.3	126.8	175.1	356.7	462.1					
150	28.0	135.6	187.2	382.4	496.1					
175	29.6	143.4	198.1	405.5	526.7					
200	31.0	150.5	208.1	426.6	554.6					

Sleutel:

Geskik	Randwaarde word benader	Randwaarde	Ongeskik vir ontwerp

Aanhangsel 1 Tabel 3:

Randwaardes vir kaal grond (n=0.04) teen 'n gemiddelde helling (S=0.004)

Tabel 3.1: Toedieningsdoeltreffendheid

	Stroomgrootte Q_e (l/s/)m)									
	1	5	7	15	20	30	40	50	70	100
Z_{req} mm	**Toedieningsdoeltreffendheid (E_a)**									
25	96.7%	89.0%	85.9%	75.2%	69.3%	58.5%	48.7%	39.5%	22.4%	
50	97.2%	90.8%	88.2%	79.3%	74.3%	65.4%	57.2%	49.5%	35.2%	15.6%
75	97.5%	91.7%	89.4%	81.3%	76.9%	68.8%	61.4%	54.5%	41.7%	24.0%
100	97.7%	92.3%	90.2%	82.7%	78.6%	71.1%	64.2%	57.8%	45.9%	29.5%
125	97.8%	92.8%	90.7%	83.7%	79.8%	72.7%	66.2%	60.2%	48.9%	33.5%
150	97.9%	93.1%	91.1%	84.4%	80.7%	74.0%	67.8%	62.0%	51.3%	36.6%
175	98.0%	93.4%	91.5%	85.0%	81.5%	75.0%	69.1%	63.5%	53.2%	39.1%
200	98.1%	93.6%	91.8%	85.5%	82.1%	75.9%	70.1%	64.8%	54.8%	41.1%

Tabel 3.2: Beperking van beddinglengte as gevolg van doeltreffendheid

	Q_e (l/s/)m)									
	1	5	7	15	20	30	40	50	70	100
Z_{req} mm	Randwaarde **(@(E_a)=70%) vir maksimum beddinglengte (ℓ) (m**									
25	14.6	67.3	91.0	170.6						
50	18.8	87.6	119.2	229.5	287.1					
75	21.7	102.1	139.3	271.6	342.4					
100	24.1	113.7	155.4	305.5	387.0	525.2				
125	26.0	123.5	169.1	334.3	425.0	581.0				
150	27.8	132.2	181.2	359.6	458.5	630.2				
175	29.4	139.9	192.0	382.4	488.5	674.5				
200	30.8	147.0	201.8	403.1	516.0	715.0	881.3			

Tabel 3.3: Beperking van beddinglengte as gevolg van erosie en vloeidiepte

	Q_e (l/s/)m)									
	1	5	7	15	20	30	40	50	70	100
Z_{req} mm	Randwaarde vir maksimum beddinglengte (ℓ) (m									
25	14.6	67.3	91.0	170.6						
50	18.8	87.6	119.2	229.5	**287.1**					
75	21.7	102.1	139.3	271.6	**342.4**					
100	24.1	113.7	155.4	305.5	**387.0**					
125	26.0	123.5	169.1	334.3	**425.0**					
150	27.8	132.2	181.2	359.6	**458.5**					
175	29.4	139.9	192.0	382.4	**488.5**					
200	30.8	147.0	201.8	403.1	**516.0**					

Sleutel:

Geskik	Randwaarde word benader	Randwaarde	Ongeskik vir ontwerp

Aanhangsel 1 Tabel 4:

Randwaardes vir kaal grond (n=0.04) teen 'n plat helling (S=0.001)

Tabel 4.1: Toedieningsdoeltreffendheid

	Stroomgrootte Q_e (l/s/)m)									
	1	5	7	15	20	30	40	50	70	100
Z_{req} mm	Toedieningsdoeltreffendheid (E_a)									
25	94.4%	81.6%	76.4%	58.5%	48.7%	30.7%	14.3%			
50	95.3%	84.6%	80.3%	65.4%	57.2%	42.2%	28.4%	15.6%		
75	95.8%	86.2%	82.3%	68.8%	61.4%	48.0%	35.6%	24.0%	2.6%	
100	96.1%	87.2%	83.5%	71.1%	64.2%	51.7%	40.2%	29.5%	9.6%	
125	96.3%	87.9%	84.5%	72.7%	66.2%	54.4%	43.6%	33.5%	14.7%	
150	96.5%	88.5%	85.2%	74.0%	67.8%	56.5%	46.2%	36.6%	18.6%	
175	96.6%	88.9%	85.8%	75.0%	69.1%	58.2%	48.3%	39.1%	21.8%	
200	96.7%	89.3%	86.3%	75.9%	70.1%	59.7%	50.1%	41.1%	24.5%	

Tabel 4.2: Beperking van beddinglengte as gevolg van doeltreffendheid

	Q_e (l/s/)m)									
	1	5	7	15	20	30	40	50	70	100
Z_{req} mm	Randwaarde (@(E_a)=70%) vir maksimum beddinglengte (ℓ) (m									
25	14.3	61.7	80.9							
50	18.4	81.7	108.5							
75	21.3	95.9	128.2							
100	23.7	107.3	144.0	262.6						
125	25.7	117.1	157.5	290.5						
150	27.4	125.6	169.4	315.1						
175	29.0	133.3	180.0	337.3						
200	30.4	140.3	189.7	357.5	440.6					

Tabel 4.3: Beperking van beddinglengte as gevolg van erosie en vloeidiepte

	Q_e (l/s/)m)									
	1	5	7	15	20	30	40	50	70	100
Z_{req} mm	Randwaarde vir maksimum beddinglengte (ℓ) (m									
25	14.3	61.7	80.9							
50	18.4	81.7	108.5							
75	21.3	95.9	128.2							
100	23.7	107.3	144.0	262.6						
125	25.7	117.1	157.5	290.5						
150	27.4	125.6	169.4	315.1						
175	29.0	133.3	180.0	337.3						
200	30.4	140.3	189.7	357.5	440.6					

Sleutel:

Geskik	Randwaarde word benader	Randwaarde	Ongeskik vir ontwerp

Aanhangsel 1 Tabel 5:

Randwaardes vir koring (n=0.15) teen 'n gemiddelde helling (S=0.004)

Tabel 5.1: Toedieningsdoeltreffendheid

	Stroomgrootte Q_e (l/s/)m)									
	1	5	10	15	20	30	40	50	70	100
Z_{req} mm	**Toedieningsdoeltreffendheid (E_a)**									
25	94.3%	81.3%	68.8%	57.9%	47.9%	29.6%	13.0%			
50	95.3%	84.4%	73.9%	64.8%	56.5%	41.2%	27.3%	14.3%		
75	95.7%	86.0%	76.5%	68.3%	60.8%	47.1%	34.6%	22.8%	1.0%	
100	96.0%	87.0%	78.2%	70.6%	63.7%	50.9%	39.3%	28.4%	8.2%	
125	96.3%	87.7%	79.5%	72.3%	65.7%	53.7%	42.7%	32.4%	13.3%	
150	96.4%	88.3%	80.4%	73.6%	67.3%	55.8%	45.4%	35.6%	17.3%	
175	96.6%	88.7%	81.2%	74.6%	68.6%	57.6%	47.5%	38.1%	20.6%	
200	96.7%	89.1%	81.8%	75.5%	69.6%	59.0%	49.3%	40.2%	23.3%	0.1%

Tabel 5.2: Beperking van beddinglengte as gevolg van doeltreffendheid

	Q_e (l/s/)m)									
	1	5	10	15	20	30	40	50	70	100
Z_{req} mm	Randwaarde **(@(E_a)=70%) vir maksimum beddinglengte (ℓ) (m**									
25	14.3	61.5	104.1							
50	18.4	81.5	142.7							
75	21.3	95.7	170.4	178.7						
100	23.7	107.1	192.7	260.9						
125	25.6	116.8	211.7	288.8						
150	27.4	125.3	228.4	313.4						
175	29.0	133.0	243.4	335.5	411.2					
200	30.4	140.0	257.1	355.7	437.2					

Tabel 5.3: Beperking van beddinglengte as gevolg van erosie en vloeidiepte

	Q_e (l/s/)m)									
	1	5	10	15	20	30	40	50	70	100
Z_{req} mm	Randwaarde **(@(E_a)=70%) vir maksimum beddinglengte (ℓ) (m**									
25	14.3	61.5	104.1							
50	18.4	81.5	142.7							
75	21.3	95.7	170.4	178.7						
100	23.7	107.1	192.7	260.9						
125	25.6	116.8	211.7	288.8						
150	27.4	125.3	228.4	313.4						
175	29.0	133.0	243.4	335.5	411.2					
200	30.4	140.0	257.1	355.7	437.2					

Sleutel:

Geskik	Randwaarde word benader	Randwaarde	Ongeskik vir ontwerp