

# Die invloed van sekere grondfisiese veranderlikes op infiltrasievermoë in die Ntuze-opvanggebied (Zoeloelandse kusstrook)

GJ Mulder<sup>1\*</sup> en HJ von M Harmse<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universiteit van Zoeloeland, Privaatsak X1001, KwaDlangezwa 3886, Suid-Afrika.

<sup>2</sup>Potchefstroomse Universiteit vir CHO, Potchefstroom 2720, Suid-Afrika.

## Abstract

The influence of selected physical variables of soils in the Ntuze catchment on the infiltration capacity (Zululand coastal zone)

The possible use of various physical parameters was investigated as manifested in the different soil series (South African Binomial system) and hydrological soil groups (Soil Conservation Services runoff model), for the prediction of the stabilised infiltration capacity ( $f_c$ ) after prolonged accumulation of soil moisture.

The results obtained indicated poor to moderate correlations (99% significance level) with the logarithmic transformations of  $f_c$  and soil physical parameters representing water content at various depths, texture, organic matter and porosity. The best independent variables for predicting  $f_c$  were in order of importance: the percentage pores of < 0,03 mm diameter in the A horizons; organic matter of the A horizons; and clay content of B-horizons.

No significant correlations (95% level) were found between the experimentally determined minimum infiltration capacities and soil series as well as the hydrological soil groups (as predicted by the SCS-model) of the Zululand catchments. Better results for this region could possibly have been obtained if texture and degree of compaction of A horizons, giving an indirect indication of the micropore content, had been considered through further differentiation of the soil series into phases.

## Inleiding

Horton (1933) beskryf die term infiltrasie as die proses waar water die grondoppervlak binnedring of daardeur geabsorbeer word. Die infiltrasiekenmerke kan beskryf word deur middel van 'n kurwe wat die maksimum infiltrasietempo ("infiltration rate") per gegewe oomblik, naamlik die infiltrasievermoë ("infiltration capacity") teen tyd toon. Die infiltrasievermoë ( $f$ ) neem met tyd af om uiteindelik 'n min of meer konstante tempo, naamlik die gestabiliseerde infiltrasievermoë ( $f_c$ ) te handhaaf wat vir alle praktiese doeleindes aan die versadigde hidrouliese geleivermoë gelyk gestel kan word.

Verskeie fisiese, chemiese en pedologiese faktore beïnvloed die hidrouliese geleivermoë van 'n poreuse medium. Hierdie faktore beïnvloed die grootte van die makro- en mikroporieë sowel as hul vorm en verspreiding.

Volgens die wet van Poiseuille is die vloeiempo deur 'n kapillêre buis direk eweredig aan die vierdemag van die buis se radius (Hillel, 1973). 'n Klein verandering in radius het dus 'n groot verandering in fluks tot gevolg. Die normale wisseling in poriegrootte, verspreiding en grootte van wortelkanale, wurmgange en krake aan die oppervlak kan dus 'n aansienlike invloed op die hidrouliese geleivermoë hê. Volgens Turner en Sumner (1978) is dit ook die oorsaak vir die aansienlike wisseling in infiltreerbaarheid oor kort afstande op 'n grondserie met 'n oënskynlike homogene morfologie.

Alhoewel tekstuur en struktuur van die belangrikste faktore is wat die poriegrootte en hul verspreiding beïnvloed, speel die brutodigtheid of mate van kompaksie ook 'n rol. Nie-gekompteerde kleigronde het gewoonlik 'n laer brutodigtheid as sandgronde wat die gevolg is van 'n hoër totale poreusheid. Die versadigde hidrouliese geleivermoë hang egter af van die persentasie makroporieë wat gewoonlik heelwat groter is in grond met 'n lae klei-inhoud (Archer en Smith, 1972). Matige kompaksie veroor-

saak 'n verhoging in waterhouvermoë teen 'n konstante suigkrag of matrikspotensiaal terwyl die waterhouvermoë weer verlaag met uitermatige kompaksie met 'n gevolglike verlagings in nie-versadigde vloei (Hill en Sumner, 1966).

'n Faktor soos organiese materiaalinhoud mag ook 'n indirekte invloed op die poreusheid en gevolglike infiltrasievermoë hê aangesien dit 'n verbetering in grondstruktuur met 'n gevolglike verlagings in brutodigtheid mag veroorsaak (Grin, 1972).

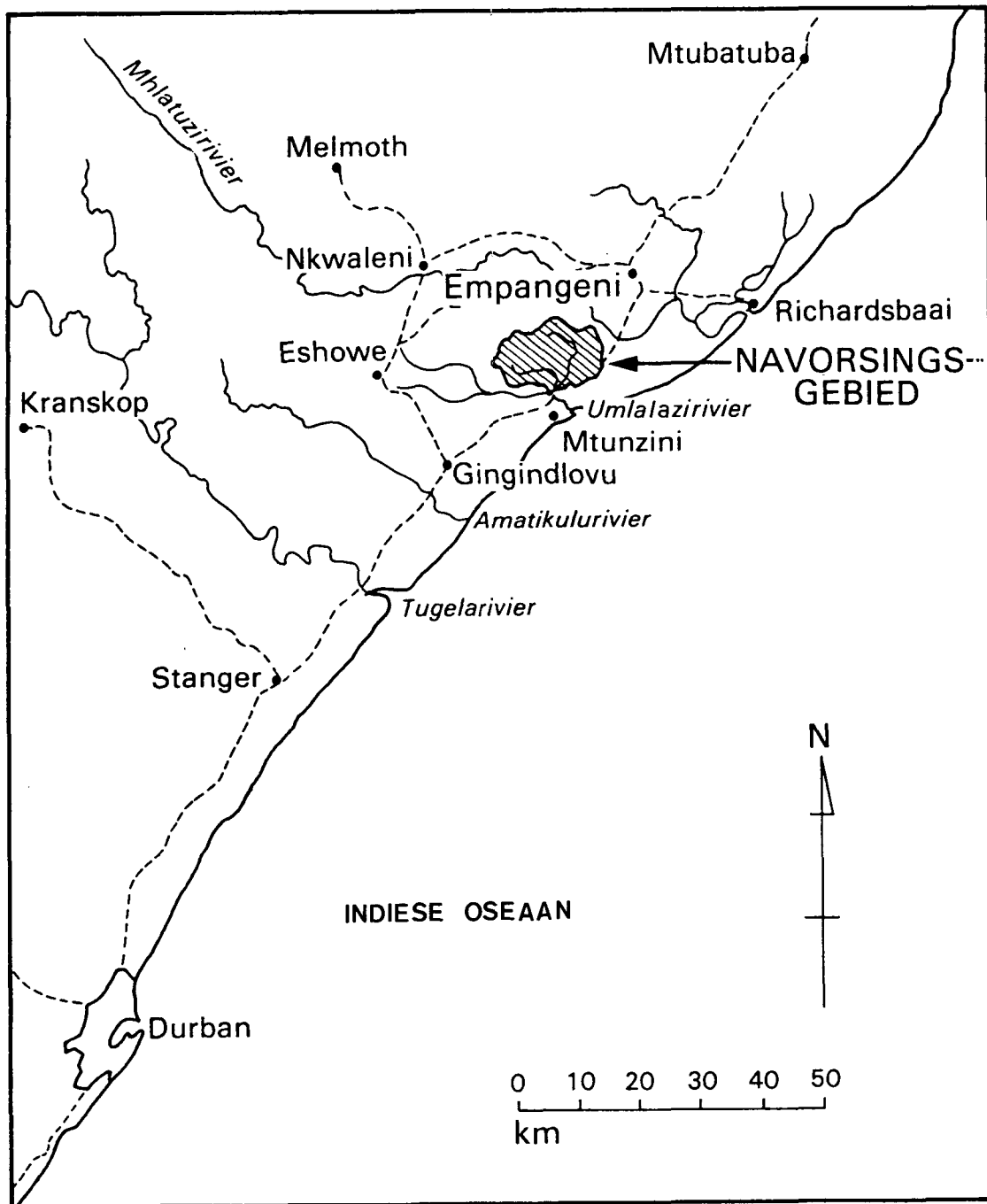
Die aanvanklike grondvoginhoud is seker een van die belangrikste faktore wat die infiltrasievermoë beïnvloed. 'n Hoë voginhoud veroorsaak byna in alle gevalle 'n verlagings in  $f$  en kan ook die gestabiliseerde fase, naamlik  $f_c$ , beïnvloed (Turner en Sumner, 1978).

Dreinerings is 'n belangrike faktor in die proses van grondvorming en sekere dreineringskenmerke, wat indirek weer 'n aanduiding gee van infiltrasievermoë, kan vanuit die diagnostiese kriteria en ander kenmerke van 'n spesifieke grondserie afgelei word. Schulze en Arnold (1979) het dan ook op hierdie wyse die dreineringseienskappe gebruik om die Suid-Afrikaanse grondseries in sewe hidrologiese groepe te verdeel. Die vasstelling van die korrekte hidrologiese groep gee 'n aanduiding van 'n grondsoort se infiltrasievermoë en hidrouliese geleivermoë, wat weer 'n aanduiding gee van die oppervlakaflooppotensiaal. Die sewe klasse waarin die aflooppotensiaal respektiewelik vanaf laag tot hoog varieer is A, A/B, B, B/C, C, C/D en D. In sekere gevalle word 'n serie wat binne een van hierdie hidrologiese klasse val op of af gegradeer deur bykomstige kenmerke soos byvoorbeeld tekstuur, diepte en mate van verdigting van die A-horison, verdigting in die B-horison, topografiese posisie en die teenwoordigheid en diepte van grondwatervlak in ag te neem.

Die doel van hierdie ondersoek was om die relatiewe belangrikheid van sekere grondfisiese faktore vir die vasstelling van gemiddelde  $f_c$ -waardes, vir die belangrikste grondseries wat in die Ntuze-opvanggebied (Fig. 1) voorkom, te bepaal. Daar is ook vasgestel of daar 'n moontlike korrelasie bestaan tussen  $f_c$  en die geïdentifiseerde hidrologiese groepe in die studiegebied, en indien wel of 'n gemiddelde  $f_c$ -waarde aan elke groep toegeken kan word.

\*To whom all correspondence should be addressed.

Received 11 September 1985.



*Figuur 1*  
 Die ligging van die navorsingsgebied in die Natalse kusstrook.

Die Nruze-opvanggebied is in die Zoeloelandse kusstrook geleë en beslaan 'n oppervlakte van ongeveer 82 km<sup>2</sup>. Hierdie gebied is in twee duidelike fisiografiese gebiede verdeel op grond van verskille in onderliggende gesteentes, naamlik die Ngoye heuwels, onderlê deur granietgneis, in die noordelike derde van die gebied, en 'n laerliggende, meer golwende landskap, wat dominant onderlê is deur meer verweerde kwartsveldspatiese gneise. 'n Klein gedeelte in die suidooste van laasgenoemde gebied is bedek met aeoliese sand (Berea-rooisand) wat gedurende die Pleistoseen afgesit is (Charlesworth, 1981).

#### Metode van ondersoek

'n Totaal van 35 infiltrasiepersele is gekies wat 17 grondseries verteenwoordig. Die relatiewe, verspreiding van die verskillende grondseries word in Tabel 1 aangedui.

Die persele is meestal langs katenas uitgesoek om die verandering in infiltrasievermoë met topografiese posisie na te gaan. Daar is veral gestreef om al die grondseries wat dominant op die verskillende topografiese posisies voorkom (Fig. 2) te verteenwoordig. Versadigde sponse wat algemeen in die valleivloere van

**TABEL 1**  
**DIE RELATIEWE VERSPREIDING VAN GRONDSERIES**  
**WAAROP INFILTRASIMETINGS UITGEVOER IS**

Verspreiding	Serie			
Dominant	Trafalgar	(Fw 32)		
	Robmore	(Gs 18)		
	Clansthall	(Hu 24)		
Subdominant	Davel	(We 32)		
	Daveton	(Hu 27)		
	Sibasa	(We 13)		
Skaars	Katspruit	(Kalo)	Jozini	(Oa 36)
	Dundee	(Du 10)	Bokuil	(Sd 10)
	Saintfaiths	(Gs 19)	Skilderkrans	(Sw 11)
	Vaalsand	(Lo 31)		
Te klein om apart te karteer	Rosehill	(Sw 30)		
	Mispah	(Ms 10)		
	Paddock	(We 31)		

eerste en tweede orde valleie voorkom is buite rekening gelaat.

Infiltrasimetings is met 'n dubbelring infiltrometer teen 'n konstante waterhoof uitgevoer. Lesings is na 2,5 en 10 min en dan met langer-wordende tussenposes geneem totdat die tempo min of meer konstant gebly het.

In die soeke na bruikbare fisiese parameters vir die voorspelling van  $f_c$ , is slegs analitiese tegnieke wat maklik uitvoerbaar is in die veld, in kombinasie met bykomende ontledings in die laboratorium gebruik. Monsters is binne 'n radius van een meter van die posisie waar 'n betrokke infiltrasimeting plaasgevind het, geneem. Ses fisiese kenmerke, nl. gronddiepte, organiese materiaalinhoud, brutodigtheid, tekstuur, waterinhoud en grootteverspreiding van porieë is geselekteer en hieruit is 18 parameters per perseel verkry (Tabel 2).

Die grootteverspreiding van porieë per onversteurde grondmonster is met behulp van 'n sinterglastreger bepaal. Die tipe sinterglasmembraan is sodanig gekies dat dit alleenlik water deurlaat tot en met 'n suigkrag, ekwivalent aan 1 000 mm (Ingram, 1961). Spannings van 200, 400, 600 en 1 000 mm is respektiewelik gebruik vir die verkryging van die persentasie porieë kleiner as 0,15 ( $P_{0,15}$ ), 0,075 ( $P_{0,075}$ ), 0,05 ( $P_{0,05}$ ) en 0,03 ( $P_{0,03}$ ) millimeter deursnee.

Vir die bepaling van brutodigtheid (droë massa per volume) is 'n volumemeter in plaas van die normale wasverseëlingstegniek verkies (Mulder, 1984).

Die fisiese kenmerke van 'n grondserie kan binne 'n homogene karteereenheid aansienlik varieer oor kort afstande en daar is gevind dat die finale infiltrasievermoë mag wissel van 30 tot selfs 100 persent (Turner en Sumner, 1978). Hierdie probleem is ondersoek deur die finale infiltrasievermoë vir 10 punte binne 'n homogene oppervlakte van 10 m<sup>2</sup> te bepaal. Die grondsoort wat vir hierdie eksperiment gekies is, is die serie Robmore wat dominant in die opvanggebied voorkom en verskaf dus 'n idee van die bereike waartussen infiltrasievermoëns binne 'n sogenaamde homogene karteereenheid varieer.

Alle statistiese verwerking is gedoen op 'n IBM rekenaar met behulp van die sagteware SAS ("Statistical Analysis System") soos uiteengesit deur Ray (1982).

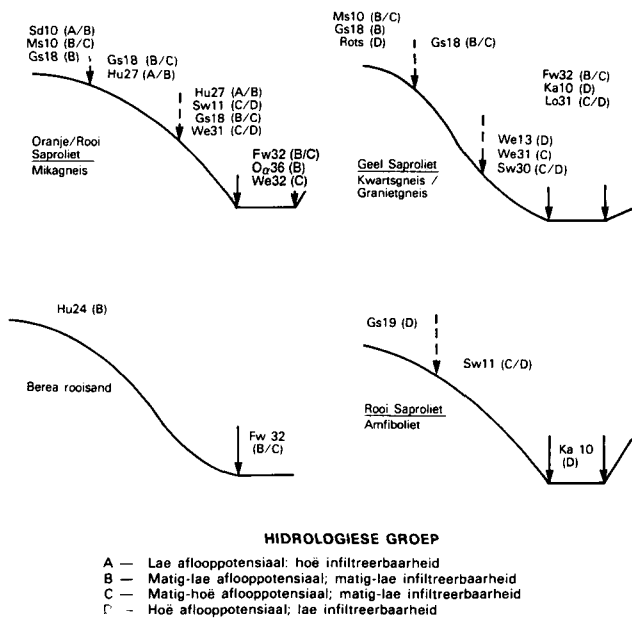
## Resultate en bespreking

### Die veranderlikheid van infiltrasievermoë binne 'n grondserie en tussen grondseries

Uit tien infiltrasimetings op die perseel van 10 m<sup>2</sup> (Robmoreserie) het geblyk dat die finale, bykans konstante infiltrasievermoë ( $f_c$ ) van 6,8 tot 17 mm.h<sup>-1</sup> varieer. Die rekenkundige gemiddelde was 10,2 mm.h<sup>-1</sup> met 'n standaardafwyking van 6,51 mm.h<sup>-1</sup>. Wisseling in infiltrasievermoë op sulke kort afstande is ook bevestig deur Laurensen en Pilgrim (1963) met

**TABEL 2**  
**DIE GRONDFISIESE PARAMETERS MET SIMBOLE WAT ONDERSOEK IS VIR MOONTLIKE GEBRUIK IN 'N MEERVOUDIGE**  
**REGRESSIEMODEL**

	Grondfisiese parameters	Simbool
	Dikte van die A-horison (mm)	$A_D$
	Organiese materiaalinhoud (verbranding teen 500°C) van die A-horison (%)	$A_{om}$
	Brutodigtheid (kg.m <sup>-3</sup> )	$\rho_b$
Tekstuur (%)	A-horison	Sand (2,0 - 0,02 mm) $S_{Aa}$
		Slik (0,02 - 0,002 mm) $S_{La}$
		Klei (< 0,002 mm) $K_{La}$
Ondergrond (diepte > 400 mm)		Sand $S_{Ab}$
		Slik $S_{Lb}$
		Klei $K_{Lb}$
Aanvanklike waterinhoud (gravimetrisse %) op verskillende dieptes vanaf die oppervlak	0 - 49,9 mm	$\theta_1$
	50 - 99,9 mm	$\theta_2$
	100 - 299,9 mm	$\theta_3$
	300 - 499,9 mm	$\theta_4$
	500 - 1 000 mm	$\theta_5$
Grootte verspreiding van porieë (%)	porieë < 0,03 mm	$P_{0,03}$
	porieë < 0,05 mm	$P_{0,05}$
	porieë < 0,075 mm	$P_{0,075}$
	porieë < 0,15 mm	$P_{0,15}$



Figuur 2

Grondserieposisies op verteenwoordigende katenas met 'n aanduiding van die oppervlaktreinerings (hidrologiese groepe in hakies).

waardes wat gevarieer het van 1,8 tot 12 mm.h<sup>-1</sup>.

Die waarde  $f_c$  per grondserie of selfs hidrologiese groep wat op verskillende posisies binne die opvanggebied bepaal is, het egter heelwat meer gevarieer. Vir die Robmoreserie het die waardes byvoorbeeld gewissel van 18 tot 111 mm.h<sup>-1</sup>. Die variasie, soos bepaal vir 35 persele op verskillende grondseries, was van 1 mm.h<sup>-1</sup> vir die Bokuilserie tot 736 mm.h<sup>-1</sup> vir die Trafalgarserie. Verhoogde variasies met 'n toename in gemiddelde waardes van  $f_c$  vir 'n spesifieke grondserie is waargeneem en word bevestig deur Slater (1957) se bevindings vir grondtipes in die Verenigde State van Amerika.

Die rekenkundige gemiddelde van  $f_c$  vir die navorsingsgebied as 'n gebied was 110,8 mm.h<sup>-1</sup>. Die frekwensieverdeling vir  $f_c$  is egter positief skeef en dus lognormaal verdeel met 'n geometriese gemiddelde van 44,7 mm.h<sup>-1</sup>.

Ten spyte van die variasie in  $f_c$  binne die verskillende grondseries het groot verskille tussen gemiddelde waardes op 'n moontlike korrelasie tussen verskillende eenhede en  $f_c$  gedui. Die aantal monsters vir hierdie tipe toets, wat gewissel het van sewe vir die Robmoreserie tot slegs een vir die Dundeeserie, was egter nie voldoende om sinvolle statistiese verwerking uit te voer nie.

Die hidrologiese samegroepering van grondseries (Fig. 2) het 'n sinvolle statistiese verwerking wel moontlik gemaak maar 'n korrelasie met die logaritme van  $f_c$  was egter onbeduidend. Die variasie van  $f_c$  binne en tussen die hidrologiese groepe dui moontlik daarop dat ander fisiese faktore, wat nie as kriteria vir klassifikasie gebruik is nie, 'n rol speel.

Die tydsverloop vanaf die aanvang van infiltrasie totdat die infiltrasie min of meer konstant bly ( $f_c$ ), het gewissel van 7 tot 420 min, met 'n gemiddeld van 96 min. Geen duidelike patroon vir tydsverloop kan afgelei word nie, gehalwe in die geval van grondseries met 'n hoë sandinhoud (>80%), waar  $f_c$  deurgaans binne 15 min bereik is.

Die tydsverloop hang grootliks af van die aanvanklike grondwaterinhoud en aangesien meeste metings gedurende die droë wintermaande uitgevoer is, kan dit aanvaar word dat die tydsverloop aansienlik sal verminder soos wat die grondwaterinhoud gedurende die reënseisoen verhoog. 'n Waarde van tussen 30 en 120 minute verkry deur Laurensen en Pilgrim (1963), is dus (mits dit nie gedurende die droë maande is), nie onrealisties vir die studiegebied nie.

### Fisiese parameters wat infiltrasie beïnvloed

Beduidende korrelasies (99% beduidendheidsvlak) is verkry tussen die logaritmiëse transformasies van  $f_c$  en sekere grondfisiese

TABEL 3  
 'N VEREENVOUDIGTE GEMIDDELTE FAKTORMATRIKS VAN INFILTRASIE EN ONDEKREUNDE FAKTORS (FAKTORBELADINGEN  $\geq 0,70$  EN  $\geq 0,70$  BEHOU) WAT DIE MATE VAN ONDEKREUNDE AFHANKLIKHEID TUSSEN VERANDERLIKES AANDUI (SIEN TABEL 1 VIR DIE VERKLARING VAN SIMBOLE)

Veranderlikes	Faktore			
	I	II	III	IV
$f_c$				
$A_D$				0,72
$A_{om}$				
$\rho_b$				
$S_{aA}$	-0,83			
$S_{lA}$	0,81			
$K_{lA}$	0,83			
$S_{aB}$		-0,89		
$S_{lB}$	0,71			
$K_{lB}$		0,72		
$\theta_1$			0,81	
$\theta_2$			0,85	
$\theta_3$		0,77		
$\theta_4$				
$\theta_5$				
$P_{0,03}$	0,82			
$P_{0,05}$	0,80			
$P_{0,075}$	0,81			
$P_{0,15}$	0,78			
Variansie verklaar (Eigenwaarde)	6,68	4,17	2,55	1,50
Kumulatiewe % van variansie verklaar	35,17	57,15	70,55	78,49

parameters, naamlik persentasie slijk (-0,46) en klei (-0,52), poreusheid indekse (-0,49 tot -0,57), die persentasie organiese materiaal (-0,58) van A-horisonte en die klei-inhoud van B-horisonte (-0,57). Effens verbeterde korrelasies, vergeleke met vlakker monsters, is verkry met grondvogmonsters wat op 'n diepte van 0,5 tot 1,0 meter geneem is (-0,46 tot -0,50). Indien die kompaksiëpoging konstant gehou word, veroorsaak 'n verhoging in die kleipersentasie gewoonlik 'n verlaging in brutodigtheid wat die gevolg is van 'n verhoging in die algehele poreusheid. Die kleipersentasie tot brutodigtheidverhouding wat tot 'n mate vir die wisseling in kompaksië kompenseer, het 'n beduidende korrelasie van 0,54 teenoor  $f_c$  gegee.

Die onderling-afhanklike korrelasie tussen die logaritmiëse getransformeerde veranderlikes en  $f_c$  is ook bestudeer deur hulle te groepeer in trosse van veranderlikes of faktore (Tabel 3) deur gebruik te maak van 'n faktor-analise. Die faktorbeladings onder faktore I tot IV teenoor die veranderlikes is geroteer ("varimax") om die aantal beladings wat na rotasie nie beduidend is nie, maksimaal te verhoog en die aantal wat wel beduidend is en groot waardes het tot 'n minimum te beperk. Volgens Seyhan (1981) is die keuse van faktorbeladings wat behou moet word arbitrêr en word deur rotasie aangedui om sodoende die hoë en lae waardes van mekaar te skei. Die eigenwaarde of variansie verklaar deur die verkillende faktore gee duidelik 'n maatstaf van die belangrikheid van faktore. In Tabel 3 is Kaiser (aangehaal deur Seyhan, 1981) se kriteria gebruik, waarvolgens die aantal faktore wat behoue bly, 'n variansie van groter as een verklaar. Volgens hierdie kriteria word alleenlik faktore wat bo-gemiddelde variansie verklaar, behou.

Die volgende waarnemings is uit die faktormatriks gemaak:

- Faktor I dui op die onderling-afhanklike korrelasie tussen tekstuurparameters van die A-horison, slijkpersentasie van die B-horison en die verspreiding van poriegroottes in die A-horison.
- Faktor II dui op die onderling-afhanklike korrelasie tussen klei- en slijkpersentasie van die B-horison en waterinhoud op 'n diepte vanaf 100 tot 300 mm.
- Faktor III dui op die interafhanklikheid tussen grondwaterinhoud op verskillende dieptes tot 1 000 mm.
- Faktor IV dui daarop dat die dikte van die A-horison 'n onafhanklike is wat nie deur enige van die ander veranderlikes beïnvloed word nie.

Die aantal onafhanklike fisiese veranderlikes vir meervoudige regressie-analise is dus verminder deur die interafhanklike veranderlikes uit te skakel. Die gebruik van die minimum F-waarde as indikator vir die beste model, soos voorgestel deur Haan (1977), het vergelykings met 'n groter aantal veranderlikes tot gevolg gehad. Vergelykings met die kleinste aantal onafhanklike veranderlikes en die kleinste  $C_p$ -waarde is verkies (Mallows, 1973). Die gekose vergelykings wat die beste verbetering in die gemeenskaplike bepaalheidskoeffisiënt  $R^2$  gee, is as volg:

$$\log f_c = 4,19 - 2,29 \log P_{0,03} \dots\dots\dots (1)$$

$$(R^2 = 0,34)$$

$$\log f_c = 3,12 - 0,28 \log Kl_B - 0,86 \log A_{om} \dots\dots\dots (2)$$

$$(R^2 = 0,43)$$

$$\log f_c = 3,67 - 0,22 \log Kl_B - 0,65 \log A_{om} - 0,81 \log P_{0,03} \dots (3)$$

$$(R^2 = 0,45)$$

Vergelyking 2 gee die laagste  $C_p$ -waarde uit die regressie-analise. Die toevoeging van nog 'n veranderlike in vergelyking 3 het dus maar 'n klein verbetering in die  $R^2$ -waarde tot gevolg gehad.

### Gevolgtrekking

Lae tot matig beduidende korrelasies is gevind tussen die logaritmiëse transformasies van  $f_c$  en sekere fisiese veranderlikes, naamlik waterinhoud van grond (*in situ*), tekstuur (persentasie sand, slijk en klei) van A horisonte, klei-inhoud van B horisonte, persentasie porieë kleiner as 0,03 mm in deursnit en organiese materiaalinhoud.

Onderlinge korrelasie tussen verskillende grondfisiese veranderlikes het 'n aansienlike vermindering in die aantal werklik onafhanklike fisiese veranderlikes, wat in 'n meervoudige regressie-analise gebruik kan word, tot gevolg gehad. Die beste onafhanklike veranderlikes vir die voorspelling van  $f_c$  in die navorsingsgebied is die persentasie porieë < 0,03 mm in deursnit tesame met klei-inhoud van die B-horison of laasgenoemde parameter met die organiese materiaalinhoud van die A-horison.

Die grondseries en hidrologiese grondgroepe binne die opvanggebied het geensins met  $f_c$  gekorreleer nie. Beter resultate kan waarskynlik verkry word as tekstuur en mate van kompaksië van die A horisonte deur verdere differensiasie van series in fases plaasvind.

Die infiltrasievergelykings wat vir  $f_c$  verkry is, is slegs van toepassing op die studiegebied en 'n soortgelyke eksperiment elders sal waarskynlik data genereer wat verskil van die resultate wat lokaal verkry is. Grin (1972) het ook hierdie opvatting gehuldig oor data wat hy uit verskillende dele van die Verenigde State verkry het. Hy het slegs een betekenisvolle korrelasie ( $r = 0,6$ ) met organiese materiaal teenoor  $f_c$  gevind terwyl dit in hierdie geval met 'n hele aantal fisiese parameters uit die studiegebied gekorreleer het.

### Bedankings

Die Universiteit van Zululand en die Waternavorsingskommissie word vir finansiële bystand bedank.

### Verwysings

ARCHER, J.R. en SMITH, P.D. (1972) The relation between bulk density, available water capacity and air capacity of soils. *J. of Soil Sci.* 23 475-480.

CHARLESWORTH, E.D. (1981) Tectonics and metamorphism of the northern margin of the Namaqua-Natal mobile belt, near Eshowe, Natal. Ph.D. thesis (unpublished), University of Natal, Durban.

GRIN, A.M. (1972) Infiltration capacity as a function of physical and chemical soil properties. *Soil Physics. Soil. Sci.* 4 453-460.

HAAN, C.T. (1977) Statistical methods in hydrology. The Iowa State University Press; Ames.

HILLEL, D. (1973) Soil and water, physical properties and processes. Academic press, New York.

HILL, J.S.N. and SUMNER, M.E. (1966) Effect of bulk density on moisture characteristics of soils. *Soil Sci.* 103 234-238.

HORTON, R.E. (1933) The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Trans. Am. Geophys. Union* 14 446-460.

INGRAM, J. (1961) Soil moisture. *Water Resour. Res.* 14 63-70.

LAURENSEN, E.M. and PILGRIM, D.H. (1963) Loss rates for

- Australian catchments and their significance. *Inst. of Eng., Australia J.* 35 9-24.
- MALLOWS, C.L. (1973) Some comments on Cp. *Technometrics* 15 661-675.
- MULDER, G.J. (1984) Die invloed van infiltrasie op stormwaterafloop in die opvanggebied van die Ntuzerivier (Zoeloelandse kusstrook) WNK Verslag 66/4/84, Waternavorsingskommissie, Pretoria.
- RAY, A.A. (Ed.) (1982) SAS users guide to statistics. SAS Institute Inc., Cary, USA.
- SCHULZE, R.E. en ARNOLD, H. (1979) Estimation of volume and rate of runoff in small catchments in South Africa, based on the SCS technique. Department Agric. Eng., University Natal, ACRU Report 8.
- SEYHAN, E. (1981) Introduction to multivariate statistical analysis in hydrology. Vrije Univ., Amsterdam.
- SLATER, C.S. (1957) Cylinder infiltration for determining rates of irrigation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 21 457-460.
- TURNER, D.P. en SUMNER, M.E. (1978) The influence of initial soil moisture content on field measured infiltration rates. *Water SA* 4 18-24.
-