

directie waterhuishouding en waterbeweging
district zuidoostaan de heer hoofdingenieur-directeur
van de rijkswaterstaat in de directie
waterhuishouding en waterbeweging,
postbus 20907,
2500 EX 's gravenhage

uw kenmerk:

arnhem, 10 december 1981

uw brief van:

ons kenmerk: 2275

projectcode							
1	1	0	0	2	0	7	

verzonden: 10 december 1981

bijlagen: 1

in behandeling bij:

onderwerp:

Hydraulische ruwheid
grasland in uiter-
waarden.

Hierbij doe ik u ter kennisneming toekomen 1 exemplaar van nota WWZO 81.21 "Hydraulische ruwheid grasland in uiterwaarden" van ir. A. van Urk van mijn district. Dit onderzoek is verricht vooral ten behoeve van de nieuwe extreem-hoogwaterberekeningen die bij mijn district in uitvoering zijn en waarvoor een nieuwe schatting van de hydraulische weerstand van de uiterwaarden gewenst is aan de hand van recente metingen en literatuuronderzoek. Van deze nota heb ik exemplaren aangeboden aan het hoofd van het district Zuidwest, aan de directeur van het Waterloopkundig Laboratorium De Voorst en aan uw ambtgenoot in de directie Bovenrivieren.

Het hoofd van het district Zuidoost,


ir. P.W. Roest.

Hydraulische ruwheid grasland
in uiterwaarden

Nota ~~WW~~WZO 81.21

Ir. A. van Urk
Rijkswaterstaat
Directie Waterhuishouding
en Waterbeweging
District Zuidoost

Arnhem, oktober 1981

INHOUDSOPGAVE

blz

1. Inleiding	1
1.1 Algemeen	1
1.2 Samenvatting	2
2. Gebruikte hydraulische relaties	4
3. Literatuuronderzoek	7
3.1 Algemeen	7
3.2 Hoogwaters 1955 - 1958	7
3.3 Hoogwater 1970	10
3.4 Onderzoek golfoploop	11
3.5 Onderzoek stroombestendigheid grasmat	13
3.6 Onderzoek begroeiingsweerstand	15
3.7 Gevolgtrekkingen	18
4. Berekeningen naar aanleiding van recente hoogwaters	19
4.1 Algemeen	19
4.2 Afleiding k-waarde m.b.v. Chezy	19
4.3 Afleiding k-waarde vanuit snelheidsverticalen	23
4.4 Toepassing afleiding Chow (1959) voor grasland	28
4.5 Gevolgtrekkingen	30
5. Conclusies	32
6. Nader onderzoek	35
Overzicht gebruikte literatuur	37
Overzicht bijlagen	39

1. INLEIDING

1.1. Algemeen

De hydraulische ruwheid van zowel het zomerbed als het winterbed van een rivier behoort tot de belangrijke parameters die geschat moeten worden voordat berekeningen kunnen worden gemaakt van waterstanden en stroomsnelheden.

Indien de afvoerverdeling tussen zomer- en winterbed voor de Rijn-takken in Nederland op iedere plaats bekend zou zijn bij uniforme stroming, kan direct hieruit met behulp van gegevens over het verhang de ruwheid van zomer- en winterbed bij een gegeven afvoer worden berekend. Deze afvoerverdeling is echter niet bekend. Wel ligt het voornemen bij komende hoogwaters meer inzicht in deze afvoerverdeling te krijgen door metingen te verrichten. Vanwege de grote meetinspanning die hiervoor nodig is, is dit echter slechts op een beperkt aantal plaatsen mogelijk.

Bij de bepaling van de ruwheid van een uiterwaard moet daarom van een andere methode gebruik worden gemaakt, die zich kenmerkt door afzonderlijk van ieder der objecten die invloed hebben op de stroming, zoals heggen, bomen, gras e.d., de hydraulische ruwheid te bepalen en deze waarden toe te passen voor het gehele winterbed en volgens weerstandsregels tot één hydraulische ruwheidswaarde samen te stellen.

Het bepalen van de ruwheid van de afzonderlijke objecten kan dan gebeuren m.b.v. modelproeven of gerichte metingen tijdens hoogwaters in daartoe uitgekozen trajecten.

Een nauwkeurige schatting van de hydraulische ruwheid van al deze objecten is van groot belang omdat de afvoercapaciteit van het winterbed groot kan zijn en kleine afwijkingen in de geschatte ruwheid de te berekenen waterstanden vrij sterk kunnen beïnvloeden. Voor de nieuwe extreem-hoogwaterberekeningen bij een afvoer van de Rijn te Lobith = $16.500 \text{ m}^3/\text{s}$ (1/1250 p.j.) is een nauwkeurige schatting aan de hand van recente bevindingen dan ook gewenst (Ubels 1981).

In deze nota wordt ingegaan op de ruwheid van grasland waarbij enerzijds literatuur wordt besproken en anderzijds berekeningsresultaten naar aanleiding van recent opgetreden hoogwaters worden gegeven.

Geadviseerd wordt over de uiteindelijk aan te houden waarde in de nieuwe extreem-hoogwaterberekeningen.

Afzonderlijk zal verslag worden uitgebracht van het onderzoek naar de aan te houden ruheidswaarden voor de overige begroeiingen.

Tot nu toe is voor de ruheidswaarde van grasland (uitgedrukt in een k-waarde volgens Nikuradse) 0,07 m aangehouden, gebaseerd op uitkomsten van metingen uitgevoerd tijdens enkele hoogwaters in de periode 1955 tot en met 1958 in een uiterwaard bij Driel (Sybesma 1959).

Daarna is echter nieuwe informatie beschikbaar gekomen door metingen in de groene rivier te Panterden, bij de hoogwaters in 1970 en 1980. Uit de metingen van 1970 volgden k-waarden kleiner dan 0,01 m; de uitkomsten van de metingen in 1980 duiden er echter op dat de k-waarde aanzienlijk groter zou zijn dan de tot nu toe aangehouden 0,07 m.

Omdat de nieuwe extreem-hoogwaterberekeningen geen uitstel dulden, is het noodzakelijk geworden op grond van de bestaande metingen en theoriën een uitspraak te doen over de k-waarde van grasland die moet worden aangehouden.

1.2. Samenvatting

In par. 2 wordt kort ingegaan op de hydraulische relaties die van belang zijn voor het berekenen van ruheden uit de meetgegevens.

Par. 3 geeft in het kort de resultaten van de metingen in een uiterwaard bij Driel weer, verricht tijdens enkele hoogwaters uit de periode 1955-1958 (par. 3.2.) en metingen in de groene Rivier bij Panterden in 1970 (par. 3.3.), waarbij enige kanttekeningen bij de betrouwbaarheid hiervan worden gemaakt. Verder is nog ingegaan op onderzoeken naar de golfoploop op een met gras begroeide dijk (par. 3.4.), de stroombestendigheid van gras (par. 3.5.) en op een benadering van Ven te Chow (par. 3.6.). Met name naar aanleiding van de bevindingen van de laatste is geconcludeerd dat de k-waarde van grasland zoals dat voorkomt in de Nederlandse uiterwaarden waarschijnlijk hoger zal zijn dan tot nu toe aangenomen en dat deze eerder in de orde van enkele decimeters zal liggen.

In par. 4 worden berekeningsresultaten weergegeven van metingen, die verricht zijn in de groene rivier te Pannerden, tijdens het hoogwater dat in februari 1980 optrad, en o.a. in de uiterwaard van de IJssel bij het Katerveer tijdens een hoogwater in '79. Deruwheden zijn achtereenvolgens bepaald met behulp van Chezy (par. 4.2.), vanuit de vorm van de snelheidsverticalen (par. 4.3.) en volgens een benadering van Ven te Chow (par. 4.4.). Geconcludeerd wordt dat de k-waarde van het onderzochte gras met een lengte zoals dat ook in de Nederlandse uiterwaarden voorkomt in de orde van grootte van 2 à 3 decimeter moet liggen.

Par. 5. geeft een samenvattend overzicht en enkele slotconclusies waarin wordt aanbevolen voor grasland een k-waarde van 0,2 m aan te houden waarna in par. 6. nog aanbevelingen worden gedaan voor metingen tijdens een komend hoogwater die meer zekerheid kunnen geven over de gedane keuze.

2. GEBRUIKTE HYDRAULISCHE RELATIES

De meest algemene uitdrukking voor de gemiddelde snelheid van een turbulente uniforme stroming in een open waterloop is als volgt:

$$v = C \cdot R^a \cdot i^b$$

waarin:

v = gemiddelde snelheid

C = uitdrukking voor de hydraulische weerstand

R = hydraulische straal

i = energieverhang

a en b zijn exponenten.

Voor een brede open waterloop geldt dat $R \approx B \cdot h / (B + 2h)$ met B = gemiddelde breedte van de waterloop en h is de gemiddelde diepte.

Een der meest gebruikte uitdrukkingen voor de snelheid in een open waterloop is die van Chezy:

$$v = C \sqrt{Ri} \quad (\text{m/s}) \dots \dots \dots (1)$$

waarin C = Chezy coëfficiënt in $(\text{m}^{1/2}/\text{s})$ zijnde een uitdrukking voor de hydraulische ruwheid. Bij gebruik van de afvoer Q wordt (1):

$$Q = B \cdot h \cdot C \cdot \sqrt{Ri} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \dots \dots \dots (2)$$

Een vergelijkbare uitdrukking, die in het algemeen in de Angelsaksische landen wordt gebruikt is:

$$v = \frac{K}{n} \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad (\text{m/s}) \dots \dots \dots (3)$$

waarin n = Mannings' coëfficiënt $(\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s})$.

K = factor afhankelijk van gebruikte eenhedenstelsel.

$K = 1$ in S.I.

Over de dimensies van n laat de beschikbare literatuur zich in het algemeen niet duidelijk uit. Omdat bij toepassing van het S.I. eenhedenstelsel K gelijk aan 1 is, blijkt dat Manning zijn formule op het S.I. stelsel heeft gebaseerd. Zo gauw het Engelse maatstelsel wordt gehanteerd wordt K gelijk aan 1,489 gesteld, hetgeen betekent dat n uitgedrukt blijft in $(\text{m}^{-1/3} \text{s})$. Nadere toelichting m.b.t. de dimensies van waarde van n , die in de literatuur worden gegeven (voor bv. gras), is dan ook niet nodig, daar deze altijd in $\text{m}^{-1/3} \text{s}$ worden gegeven. Het is alleen nodig de K -waarde aan het eenhedenstelsel aan te passen.

Voor n kan steeds in formule (3) met v in m/s en $K = 1$ dezelfde numerieke waarde worden gebruikt.

Als verband tussen n en C volgt uit (1) en (3):

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} \quad (\text{m}^{1/2}/\text{s}) \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{of } C = \frac{1,489}{n} R^{1/6} \quad (\text{ft}^{1/2}/\text{s}) \dots\dots\dots (5)$$

Om een verband te vinden tussen de C -waarde en de ruwheid van leidingen voerde Nikuradse proeven uit waarbij hij leidingen met glaskorrels beplakte en vervolgens de C -waarde berekende uit metingen.

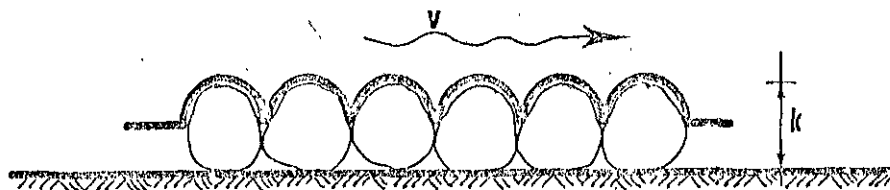


Fig. 2.1 Definitie k bij proeven van Nikuradse.

De dikte van de glaskorrels werd k genoemd en voor hydraulisch ruwe omstandigheden kon worden afgeleid (Nikuradse of White-Colebrook):

$$C = 18 \log \frac{12 R}{k} \quad (\text{m}^{1/2}/\text{s}) \dots\dots\dots (6)$$

Een vergelijkbaar verband is dat volgens Manning en Strickler

$$C = 25 \left(\frac{R}{k} \right)^{1/6} \quad (\text{m}^{1/2}/\text{s}) \dots\dots\dots (7)$$

Combinatie van (4) en (7) geeft dan:

$$\left(\frac{n}{0,0388} \right)^6 = k \quad \text{of } n = \frac{k^{1/6}}{25} \quad (\text{S.I. eenheden!} \dots\dots\dots (8)$$

Door Raudkivi (1976) wordt ook nog een verband gegeven tussen Mannings' n en de D_{65} waarde van het bodemmateriaal.

D_{65} is hierbij de korreldiameter die door 65 (gewichts-) % van de korrels wordt onderschreden. In het algemeen wordt aangehouden dat de k -waarde van een vlakke bodem bestaande uit korrelig materiaal ongeveer gelijk is aan de D_{90} van dat materiaal.

De D_{65} waarde zal dan in het algemeen iets kleiner zijn dan k .

Het verband is:

$$n = 0,0416 D_{65} \quad \text{met } D_{65} \text{ in m} \dots \dots \dots (9)$$

Uit de formules (8) en (9) volgt dan nog $k = 1,04.D_{65}$

3. LITERATUURONDERZOEK

3.1. Algemeen

In deze paragraaf wordt verslag uitgebracht van een literatuuronderzoek naar de ruwheid van gras en de manier waarop gepoogd is deze te meten zowel in laboratorium als in het prototype.

3.2. Hoogwaters 1955 ... 1958

In een uiterwaard van de Nederrijn bij Driel zijn tijdens hoogwaters in de jaren 1955 ... 1958 metingen verricht om de ruwheid van grasland te bepalen (Sybesma 1959).

De uiterwaard bij Driel is tamelijk rechthoekig van vorm en ligt nagenoeg evenwijdig aan de hoofdstroom. Met behulp van verhangmetingen en snelheidsmetingen zijn ruwheidswaarden op twee manieren berekend, te weten:

- met behulp van Chezy (1), (2) en Nikuradse (6):

$$C = \frac{Q}{B \cdot h \cdot \sqrt{Ri}} \quad (m^{1/2}/s) \dots \dots \dots (2)$$

waarna k afgeleid werd uit:

$$C = 18 \log \frac{12 R}{k} \quad (m^{1/2}/s) \dots \dots \dots$$

- vanuit de gemeten snelheidsverticalen, waarbij uitgegaan werd van een logaritmisch snelheidsverloop (op een vergelijkbare procedure die ook in onderhavige studie is toegepast, wordt later nog ingegaan, zie par. 4.3.).

Gevonden werd dat bij waterdiepten > 2,50 m de k-waarde nagenoeg constant blijft en ong. 4 cm bedraagt. De k-waarden berekend vanuit de gemeten snelheidsverticalen liepen sterk uiteen, maar spraken het resultaat uiteindelijk niet tegen hoewel hierbij wel twee waarden > 30 cm voorkwamen.

Het toepassen van de $k = 4$ cm voor grasland in alle uiterwaarden werd indertijd als een enigszins ongewisse zaak beschouwd, omdat men vond dat de betreffende uiterwaard naar verhouding zeer glad leek te zijn. Besloten werd daarom de enigszins arbitraire waarde van $k = 7$ cm voor gras in alle uiterwaarden van de grote rivieren in Nederland aan te houden.

Enkele meet- en berekeningsresultaten naar aanleiding van deze metingen zijn nog opgenomen in tabel A en tabel B.

Tabel A. Hoogwater 1955.....1958; k-waarden uiterwaard Driel uit verhang

Afvoer Q (m^3/s)	Waterdiepte h (m)	Verval (cm)	Verhang i	C ($m^{1/2}/s$)	k (cm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
70	2,01	0,9	$0,17 * 10^{-4}$	38,3	18,0
100	2,16	0,12	$0,23 * 10^{-4}$	42,5	11,3
130	2,29	0,12	$0,23 * 10^{-4}$	50,6	4,2
160	2,40	0,16	$0,30 * 10^{-4}$	50,4	3,3
190	2,51	0,20	$0,38 * 10^{-4}$	50,1	5,0
210	2,58	0,22	$0,42 * 10^{-4}$	50,5	4,8
240	2,69	0,24	$0,46 * 10^{-4}$	52,0	4,2

Toelichting: - Baanlengte 525 m; baanbreedte 155 m.

- C en k berekend met behulp van Chezy (2) en Nikuradse (6).

Tabel B. Hoogwater 1958; k-waarde uiterwaard Driel vanuit snelheidsverticalen.

Datum	Snelheid (m/s)	Waterdiepte h (m)	Hoogte boven bodem z (m)	z_0 (cm)	k (cm)	C (m ^{1/2} /s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
580215	0,32	2,20	0,5	1,95	58,5	29,1
580228	0,48	2,25	0,5	0,59	17,8	38,7
580301 ^I	0,55	2,35	0,5	0,18	5,3	48,4
580301 ^{II}	0,57	2,65	0,5	0,21	6,9	47,9
580302	0,49	2,25	0,5	1,31	39,3	33,4

Toelichting tabel B: - berekend vanuit vorm snelheidsverticaal;

- z_0 hoogte boven bodem waar snelheid nagenoeg nul is;
- toelichting op werkwijze in par. 4.3.

3.3 Hoogwater 1970

Sedert de genoemde metingen te Driel is gepoogd om meer gegevens in te winnen die nadere informatie moesten verschaffen over de ruwheid van grasland in de uiterwaarden. In de groene rivier bij Pannerden (bijlage 1) zijn hiertoe voorzieningen getroffen om de benodigde gegevens te kunnen verzamelen zodra deze stroomt. Dit is nadien twee maal het geval geweest en wel in 1970 en in 1980.

In tabel C staan enkele meet- en rekenresultaten uit 1970 opgenomen van de betreffende metingen. Van deze metingen en berekeningen (weer m.b.v. Chezy en Nikuradse) is verslag uitgebracht in (Zegers 1974).

De baanafmetingen waren: breedte $B \approx 200$ m

lengte $L \approx 660$ m (meetsectie)

Tabel C. Hoogwater 1970; k-waarde groene rivier Pannerden vanuit verhang.

Datum	Afvoer $Q (m^3/s)$	Water- diepte $h (m)$	Verval (cm)	Verhang i	C $(m^{1/2}/s)$	k (cm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
25-2-'70	295	2,85	2,2	$0,338 * 10^{-4}$	52,8	3,8
26-2-'70	368	3,06	1,7	$0,254 * 10^{-4}$	67,9	0,6
27-2-'70	380	3,08	1,7	$0,260 * 10^{-4}$	68,8	0,6
28-2-'70	392	3,04	1,7	$0,260 * 10^{-4}$	74,3	0,4
2-3-'70	281	2,68	1,7	$0,259 * 10^{-4}$	63,1	0,1
3-3-'70	48	2,19	0,3	$0,047 * 10^{-4}$	34,2	3,3

Opmerkingen:

- Door het gering aantal waarnemingen werden de resultaten van 25/2 en 2/3 minder betrouwbaar geacht.
- Uit tabel C blijkt o.a. dat het te meten verval over de meetsectie ($L = 660$ m) zeer gering is geweest (ong. 2 cm), hetgeen overigens ook geldt voor de metingen in de uiterwaard te Driel. Als bedacht wordt dat hieraan visuele peilschaal waarnemingen ten grondslag liggen die bij tamelijk ruw weer moesten plaatsvinden dan maakt dit de berekeningsresultaten wel enigszins onbetrouwbaar.
- De lengte van gras in de Nederlandse uiterwaardeb ligt in de orde van 1 à 2 dm. Als voor korrelig materiaal geldt dat de bijbehorende k-waarde ongeveer gelijk is aan D_{90} dan lijken de berekende k-waarden onwaarschijnlijk klein te zijn.

3.4 Onderzoek golfoploop

In 1972 is verslag uitgebracht van een onderzoek naar golfoploop en golfoverslag dat in het kader van de Technische Adviescommissie van de waterkeringen heeft plaatsgevonden (Battjes e.a. 1972). In het rapport wordt ook aandacht besteed aan de golfoploop op een talud dat met een grasmat is bedekt.

Het zal duidelijk zijn dat de golfoploop op een talud van een golf met gegeven afmetingen sterk wordt bepaald door de ruwheid van het talud. Voor deze ruwheid worden verschillende ruwheidsmaten gebruikt, zoals de k volgens Nikuradse en een D_{75} als maatgevende diameter van de gebruikte steen.

Verder wordt een zgn. reductie-factor r gebruikt die voor een zeer glad gesloten talud gelijk is aan 1 en voor tetrapoden (zeer ruw) op 0,5 wordt gesteld. In een overzicht (Battjes e.a. 1972: Tabel II 5.5) wordt aangegeven dat r voor een grasmat ongeveer gelijk is aan 0,85 à 0,9 (dit is dezelfde waarde als voor een glooiing met basalt en met gezette bloksteen).

Door Battjes e.a. (1972: Tabel II 5.4) wordt een rekenschema gegeven dat onder meer ontleend is aan enkele russische onderzoekers met be-

hulp waarvan bij gegeven r een D_{75} kan worden berekend. Het lijkt aannemelijk te stellen dat D_{75} in dezelfde orde-grootte als k ligt. De formules die gebruikt werden zijn

$$r = \sqrt{\frac{0,010 \text{ à } 0,011}{n}} \text{ en } n = 0,031 D_{75}^{1/6} \dots \dots \dots (10)$$

met D_{75} in ft.

Voor $r = 0,85$ (gras) geeft dit dan een D_{75} waarde van ongeveer 0,5 cm, hetgeen zeer klein lijkt te zijn.

Een andere benadering, waarin k (Nikuradse) wordt gebruikt is die volgens (Battjes e.a. 1972: formule II 5.37)

$$r = 1 - 0,37 \left(\frac{k}{H} \sqrt{\frac{H}{L}} \right)^{0,4} (\sin \alpha)^{-1/2} \dots \dots \dots (11)$$

waarin:

H = golfhoogte (amplitude)

L = golflengte

α = helling talud

Enkele gegevens voor H , L en α zijn nu dezerzijds gesubstitueerd in formule (11) om na te gaan in welke orde van grootte de k -waarde zou liggen bij een r van 0,85.

H/L	=	0,05		
talud	=	1:4	$\alpha = 14^\circ$	
H	=	1 m	→	$k = 3 \text{ cm}$
H	=	3 m	→	$k = 8 \text{ cm}$
H	=	5 m	→	$k = 13 \text{ cm}$

Op de achtergrond van de gevonden reductiefactor $r = 0,85 \text{ à } 0,9$ voor een grasmat wordt niet verder ingegaan in het rapport. Volgens de eerste benadering (formule 10) lijkt de met behulp van deze r berekende D_{75} waarde vrij laag. Volgens formule 11 lijken de k -waarden reëler; er is echter een sterke variatie enigszins

samenhangend met de gekozen golfmetingen; Vertaling naar grasland in een uiterwaard is moeilijk omdat een keuze van een maatgevende golf hier zinledig is. Tevens zijn de stromingsomstandigheden tijdens golfoploop in sterke mate niet-permanent en speelt o.a. ook de mate waarin het gras een waterschijf vasthoudt tot dat de volgende golf het talud oploopt een rol. Een en ander maakt de resultaten niet direct vergelijkbaar met die verkregen onder de stromingsomstandigheden in uiterwaarden, die min of meer permanent zijn. Wel lijkt het aannemelijk dat de k-waarde volgens deze benadering in de orde van grootte van 5 à 10 cm zal liggen. Voor de definitieve keuze van een k-waarde voor grasland in uiterwaarden moet dit gegeven gezien de onzekerheden echter van minder belang worden geacht.

Opmerking: Het betreft hier waarschijnlijk steeds gras op een talud dat in het algemeen vrij kort is en op een vlakke ondergrond ligt.

3.5 Onderzoek stroombestendigheid grasmat

In het kader van een onderzoek door het Waterloopkundig Laboratorium naar de erosie van een grasmat op een dijk bij overstromend water, zijn op de dijk van Oostelijk Flevoland enkele proeven uitgevoerd (de Jong 1970) waarbij men water liet stromen over een door schotten begrensde talud. Tegelijkertijd werd het debiet, de gemiddelde snelheid en de waterdiepte gemeten.

Het debiet werd afzonderlijk van de gemiddelde snelheid bepaald met behulp van een half ronde meetoverlaat met scherpe rand. Een van de resultaten van deze proeven was dat een grasmat met een goede wortelstructuur, verankerd in niet te schrale klei een stroomsnelheid van 6 m/sec. geruime tijd kan doorstaan.

Voor het onderhavige onderzoek was van belang of iets gezegd kon worden van de weerstand van de grasbedekking tegen de stroming van het water, uitgaande van de verrichte metingen. Hiertoe zijn in tabel D enige meetresultaten weergegeven met enkele berekeningsresultaten.

Tabel D. Berekeningsschema voor k-grasmat bij stroombestendighedsproefen.

Datum proef	B (m)	h (m)	Q gemeten (m ³ /s)	v (4) (2) (3) (m/s)	v gemeten (m/s)	i	C-waarde		k-waarde	
							Geg. uit (2) (3) (5) * (m ³ /s)	Geg. uit (2) (3) (6) (m ³ /s)	Geg. uit (8) cm	Geg. uit (9) cm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
15-6-'70	0,75	0,04	0,085	2,8		1/3	24,3		2,1	
					2			17,3		5,2
16-6-'70	0,75	0,07	0,250	4,8		1/3	31,4		1,5	
					5,8			38,0		
	0,48	0,14	0,235	3,5		1/3	16,2		21,1	
					6			27,8		4,8
	0,48	0,19	0,260	2,85		1/3	11,3		53,7	
					6			23,8		10,9
	0,48	0,20	0,320	3,3		1/3	12,8		46,7	
					6			23,2		12,3

De berekende k-waarden blijken sterk te variëren. Hetgeen een gevolg kan zijn van het feit dat de k achter het logaritmteken in formule (6) staat en dat hierdoor geringe meetfouten in h, Q of v (B en i lijken vrij constant en betrouwbaar) al een grote variatie in k kunnen veroorzaken. De indruk bestaat evenwel dat de k-waarde in de orde van grootte van 0,1 à 0,2 m zal liggen.

Opmerkingen: - Evenals bij par. 2.4 zal ook hier gelden dat gras op een talud i.h.a. vrij kort wordt gehouden en op een relatief vlakke ondergrond ligt.

- In hoeverre het schieten van het water ($Fr > 1$) en het mogelijk niet uniform zijn van de stroming invloed heeft op de resultaten is niet na te gaan. De ondergrond is overigens in sterke mate hydraulisch ruw te noemen daar het getal van Reynolds groot is ($Re = \frac{v \cdot h}{\nu} \approx 10^6$ met $\nu = \text{kin. viscositeit} \approx 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ bij 20° C)

3.6 Onderzoek begroeiingsweerstand

In 1975 heeft een onderzoek plaatsgevonden bij het Waterloopkundig Laboratorium in opdracht van en in samenwerking met de Studiedienst Maas van de directie Limburg naar de begroeiingsweerstand in het winterbed van de Maas. Dit onderzoek was een aanvulling op eerder ter zake uitgevoerd modelonderzoek (v.d. Zwaard 1970) waarbij nader werd ingegaan op de wijze waarop een verantwoorde extrapolatie is te maken van de gegevens verkregen uit het modelonderzoek bij gewijzigde stromingsomstandigheden. Verslag hiervan is uitgebracht door Klaassen 1976).

In genoemd rapport (Klaassen 1976) wordt ook verslag uitgebracht van een literatuuronderzoek naar de ruwheid van grasland in een uiterwaard, waarbij o.a. geconcludeerd wordt dat de aangenomen k-waarde van 7 cm voor grasland in een uiterwaard wel erg laag lijkt te zijn. In onderhavige nota wordt niet uitgebreid op de door Klaassen (1976) geraadpleegde literatuur ingegaan, maar worden vooral de van belang zijnde resultaten vermeld en toegepast.

In tabel E worden allereerst enkele waarden voor de coëfficiënten van Manning (n) gegeven zoals deze zijn ontleend aan (Chow 1959) met daarbij vermeld de C- en k-waarden bij een waterdiepte van $h = 2,5$ m.

Tabel E. Ruwheid vegetatie in uiterwaard volgens Chow ($h = 2,5$ m).

Beschrijving van de vegetatie	Ruwheid											
	Minimum				Gemiddelde				Maximum			
	n	C	k (cm)	D_{65} (cm)	n	C	k (cm)	D_{65} (cm)	n	C	k (cm)	D_{65} (cm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
A. Grasland												
1. Kort gras	0,025	46,6	8	5	0,030	38,8	21	14	0,035	33,5	49	35
2. Lang gras	0,030	38,8	21	14	0,035	33,5	44	35	0,050	23,3	152	298
B. Bouwland												
1. Geen oogst	0,020	58,3	2	1	0,030	38,8	21	14	0,040	29,1	72	78
2. Rijpe oogst; rijen	0,025	46,6	8	5	0,035	33,5	44	35	0,045	25,9	109	158
3. Rijpe oogst; gehele veld	0,030	38,8	21	14	0,040	29,1	72	78	0,050	25,3	152	298

Toelichting: - C afgeleid volgens $C = \frac{h^{1/6}}{n}$ (m^2/s)(4)

- k afgeleid volgens $C = 18 \log \frac{12 h}{k}$ (m^2/s)(6)

- volgens Strickler geldt $n = 0,04168 D_{65}^{1/6}$ (D_{65} in m)(8)
aangenomen wordt dezerzijds dat D_{65} i.h.a. iets kleiner zal zijn dan k (par. 2)

Als bijlage 2 is nu een grafiek opgenomen met verbanden tussen C en h voor grasland, ontleend aan Klaassen 1976, fig. 11) aangevuld met gegevens over de k-waarden en de spreiding bij $h = 2,5$ m volgens Chow (1959). De volgende opmerkingen kunnen hierbij worden gemaakt:

- de grafiek volgens Vincent en Strauss valt nagenoeg samen met die volgens de Rijkswaterstaat waarvoor een k-waarde geldt van 7 cm. Bij Vincent en Strauss wordt echter opgemerkt dat het hier gaat om kort-gehouden gras, hetgeen voor de Rijn- en Maas- uiterwaarden i.h.a. niet het geval hoeft te zijn.
- volgens de grafiek van Chow varieert de k-waarde van gras van middelmatige lengte (15 ... 25 cm) ongeveer van 25 tot 50 cm. Bij $h = 2,5$ m (zie ook tabel E) varieert deze van een minimale waarde van $k = 8$ cm bij kort gras tot $k = 152$ cm bij zeer lang gras;
- de grafiek volgens Bruk en Volf geeft zeer hoge waarden die zeker voor de omstandigheden in de uiterwaarden in Nederland niet van toepassing lijken te zijn gezien de voorkomende graslengte en de definitie van k (par. 2). Andere oneffenheden in de door Bruk en Volf beschouwde uiterwaarden (b.v. sterk geaccidenteerd terrein) hebben waarschijnlijk mede een rol gespeeld.

Op bijlage 3 zijn enige grafieken opgenomen die ontleend zijn aan Chow 1959 en waarin experimenteel bepaalde verbanden tussen n en v.R ($R =$ hydraulische straal) zijn uitgezet voor stroming over grasland. Bij een gegeven grootte v.R behoort een zekere waarde van n bij een gegeven vegetatie. In par. 4.4 worden enkele resultaten, die berekend zijn m.b.v. deze gegevens, gegeven. De betreffende rekenresultaten zijn afgeleid uit experimenten ten behoeve van het ontwerp van met gras begroeide irrigatiekanalen. Van belang hierin is ook dat gevonden wordt dat bij toenemende watersnelheden (bij gelijke R) de k-waarden afnemen. Dit wordt voornamelijk geweten aan het feit dat gras plat gaat liggen bij hoge snelheden.

Na de publicatie van Klaassen e.a. (1976) verscheen nog Korneyev e.a. (1976) waarin verslag wordt uitgebracht van metingen in laboratoriumopstellingen waarbij is nagegaan hoe de lengte van gras van een bepaalde grasmatt zich verhoudt tot de coëfficiënt van Manning n bij verschillende snelheden en waterdieptes. Ook hier wordt gevonden dat n bij hogere snelheden kleiner wordt (het gras gaat plat liggen). Voor verschillende graslengten zijn de gevonden ruwheidswaarden opgenomen in tabel F.

Tabel F. Ruwheid grasland volgens Korneyev e.d.

Graslengte (cm)	Mannings' n	Ruwheid bij $h = 2,5$ m	
		k (cm)	k (cm)
(1)	(2)	(3)	(4)
1 - 6	0,035	54	42
11	0,038	88	59
22	0,040	120	73
33	0,043	185	94

Toelichting: - Aangehouden voor $v.R = 1,05$ ($R = 2,5$ m $\rightarrow v = 0,42$ m/s)
 - Kolom (3): $k = (n/0,0288)^6$ met k in m $\frac{1}{6}$
 - Kolom (4): k uit $C = 18 \log \frac{12 h}{k}$ met $C = \frac{h}{n}$ (m $\frac{1}{2}$ /s).

Het verband tussen n en $v.R$ voor een graslengte van 11 cm is tevens opgenomen in bijlage 3.

Opgemerkt moet worden dat de gevonden k -waarden voor gras met de gegeven lengten (kolom 1) zeer hoog lijken te zijn.

3.7 Gevolgtrekkingen

a. Uit de tabellen A, B en C (par. 3.2 en 3.3) blijkt dat bij relatief lage afvoeren c.q. stroomsnelheden in de betreffende uiterwaarden de berekende hydraulische ruwheden relatief het grootste zijn. Dit stemt ook enigszins overeen met bevindingen van Chow (par. 3.6 bijlage 3). Oorzaken hiervoor kunnen zijn:

- een niet geheel vrije afstroming van de uiterwaard doordat kleine kaden, struiken e.d. het water bij lagere waterstanden gaan vasthouden;
- de meetnauwkeurigheid speelt bij lagere afvoeren en geringere verhangen een grotere rol;
- bij hogere afvoeren gaat gras plat liggen zodat de weerstand afneemt.

b. Een redelijke conclusie uit de paragrafen 3.4 en 3.5 (golfoploop op een talud en stroming over een talud) lijkt te zijn dat vrij kort gehouden gras op een vlakke ondergrond een k-waarde heeft van 0,1 à 0,2 m.

c. Uit resultaten van andere relevante onderzoeken (2.6) lijkt het aannemelijk dat de k-waarde voor het grasland in uiterwaarden van de grote rivieren in Nederland een k-waarde heeft van 0,2 à 0,4 m. De k-waarde van 0,07 m, die tot nu toe is aangehouden lijkt in ieder geval te laag te zijn.

4. BEREKENINGEN NAAR AANLEIDING VAN RECENTE HOOGWATERS

4.1 Algemeen

Tijdens het hoogwater van februari 1980 heeft de groene rivier te Pannerden gestroomd en zijn dagelijks metingen verricht van de afvoeren en optredende verhangen. Verslag van de verrichte metingen wordt uitgebracht in het hoogwater-verslag (Veraart 1981). In de groene rivier waren inmiddels de peilschalen, zoals deze in 1970 gebruikt zijn, vervangen door meetopstellingen met een vlotterbuis en automatische peilschrijf-apparatuur, zodat een continue registratie van de waterstanden mogelijk werd. Op bijlage 1 is de plaats van deze waterstandmeetpunten aangegeven. De meetsectie waar het om gaat, is die tussen de peilschrijvers III en IV en heeft een lengte van 860 m. Het verloop van de gemiddelde hoogte en de breedte van deze sectie staan weergegeven op bijlage 4, respectievelijk 5. De afvoermeting vond steeds plaats vanaf de brug door de groene rivier (bijlage 1).

In deze paragraaf worden berekeningsresultaten naar aanleiding van deze metingen gegeven. Tevens worden nog berekeningsresultaten gegeven van metingen in de uiterwaarden van de IJssel nabij Katerveer tijdens hoogwater in maart 1979. Twee andere werkwijzen worden ook nog toegepast op o.a. de genoemde gegevens en wel een afleiding van de ruwheid vanuit de vorm van de snelheidsverticalen gemeten boven grasland en een volgens de benadering van Chow (1959) beschreven in par. 3.6.

4.2 Afleiding k-waarde met behulp van Chezy

Enkele van de belangrijkste resultaten van de berekening ter bepaling van de C- en de k-waarde van de groene rivier staan weergegeven in tabel G. Tevens zijn in deze tabel enkele berekeningsresultaten opgenomen van een zeer beperkt gevoeligheidsonderzoek, waarbij voor één meting eerst het verhang iets gewijzigd en daarna de volledige lengte van de groene rivier in rekening is gebrachtr.

Tabel G. Resultaten k-waarde berekening Groene rivier Pannerden tijdens hoogwater februari 1980.

Datum	Tijdstip	Waterstanden			Verval	Verhang i	Water- diepte h (m)	Breedte		Afvoer Q (m ³ /s)	B.h. (m ²)	Snelheid \bar{v} (m/s)	Hydr.R. $\frac{B \cdot h}{B + 2h}$ (m)	Ruwheden			
		P.S.871.000 (NAP + m)	P.S.871.750 (NAP + m)	Gem. (NAP + m)				bij h (m)	Gem. B (m)					C vlg. Chery (m ² /s)	k uit C (cm)	Manning n	k uit n (cm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
8-2-'80	15.35 u.	13,875	13,839	13,857	0,036	$0,419 \cdot 10^{-4}$	2,717	212,8	205,3	206	557,8	0,369	2,647	35,07	35,8	0,0335	41,7
9-2-'80	10.45 u.	14,000	13,958	13,979	0,042	$0,488 \cdot 10^{-4}$	2,839	213,4	205,6	251	583,7	0,430	2,763	37,03	29,0	0,0320	31,4
9-2-'80	13.35 u.	14,001	13,960	13,981	0,041	$0,477 \cdot 10^{-4}$	2,841	213,5	205,6	249	584,1	0,426	2,765	37,12	28,7	0,0319	30,9
10-2-'80	9.39 u.	13,959	13,921	13,940	0,038	$0,442 \cdot 10^{-4}$	2,800	213,2	205,5	236	575,4	0,410	2,726	37,36	27,5	0,0316	29,3
10-2-'80	12.18 u.	13,947	13,911	13,929	0,036	$0,419 \cdot 10^{-4}$	2,789	212,7	205,2	234	572,3	0,409	2,715	38,33	24,2	0,0308	25,1
11-2-'80	10.30 u.	13,737	13,721	13,729	0,016	$0,186 \cdot 10^{-4}$	2,589	212,1	204,9	146	530,5	0,275	2,525	40,16	17,8	0,0291	17,6
11-2-'80	14.00 u.	13,684	13,673	13,679	0,011	$0,128 \cdot 10^{-4}$	2,539	211,8	204,8	115	520,0	0,221	2,478	39,27	19,6	0,0296	19,8
12-2-'80	10.53 u.	13,330	13,332	13,329	0,002	$0,02 \cdot 10^{-4}$	2,189	210,1	203,9	6	446,3	0,013	2,143				
a) 9-2-'80	10.45 u.	13,990	13,968	13,979	0,022	$0,256 \cdot 10^{-4}$	2,839	213,4	205,6	251	583,7	0,430	2,763	51,13	4,8	0,0232	4,5
b) 9-2-'80	10.45 u.	14,050	13,94	13,99	0,11	$0,355 \cdot 10^{-4}$	2,839	213,4	205,6	251	583,7	0,430	2,763	43,42	12,8	0,0273	12,1

Toelichting: a. Waterstand P.S.871 1 cm verlaagd en P.S.871.860 1 cm verhoogd.

b. Verval over totale lengte groene rivier $L \approx 3100$ m.

Uit tabel G. blijkt dat de k-waarden zoals deze berekend kunnen worden met behulp van Chezy respectievelijk Manning in dezelfde orde van grootte liggen en duidelijk hoger zijn dan de tot nu toe aangehouden waarde van 7 cm. Het basismateriaal lijkt betrouwbaar, hoewel het de vraag is of een verval van 3 à 4 cm wel voldoende nauwkeurig, t.w. met een nauwkeurigheid van minder dan 1 cm, met de op dit moment beschikbare apparatuur gemeten kan worden. Een kleine fout in de vervalmeting heeft reeds een grote invloed op het resultaat zoals gedemontstreerd is bij a) (Tabel G.)

Op bijlage 6 is het verband tussen de afvoer en de waterdiepte in de meetsectie grafisch uitgezet (fig. 1) zoals dit volgt uit de gemeten waarden.

In dezelfde grafiek staan ook de waarden gegeven zoals gemeten tijdens het hoogwater van 1970. In beide gevallen leidt dit tot een vrij éénduidige Q-h-relatie hoewel de ligging van de Q-h-relatie voor 1980 hoger is dan die van 1970 (ong. 1 dm).

Aanslibbing van de groene rivier in de zeventiger jaren (instroming van de groene rivier vanaf de benedenstroomse zijde vindt regelmatig bij lagere hoogwaters plaats) kan dit veroorzaakt hebben. Uit een waterpassing van de groene rivier in 1981 bleek deze inderdaad iets hoger te liggen dan in 1970 werd aangehouden (ong. 0,5 dm).

Op bijlage 6 staat ook een grafisch verband weergegeven van de gemiddelde stroomsnelheden met de berekende k-waarden. Dit om na te gaan of de veel in de literatuur gedane veronderstelling dat gras bij hogere stroomsnelheden plat gaat liggen en dientengevolge lagere k-waarden oplevert steun vindt in deze gegevens. Bij het stijgen van de afvoer en het toenemen van de watersnelheden (tabel G, kolom (13), neemt de k-waarde inderdaad af, maar dit afnemen zet zich voort bij het afnemen van de snelheden na het passeren van de top op 9 februari. Na enkele dagen stromen wordt een soort "limietwaarde" bereikt van ongeveer 20 cm. Uit de gegevens gemeten bij Driel (1955...1958), tevens uitgezet in fig. 2 van bijlage 6,

is de tendens enigszins anders. Eerst afnemning van k bij toenemen-
de stroomsnelheid en daarna een stabilisering bij een k van onge-
veer 4 cm (par. 3.2).

In 1979 is tijdens een hoogwater in maart ook dagelijks de afvoer
gemeten in de IJssel nabij Katerveer. De IJssel heeft ter plaatse
van de afvoermeeetraai een uiterwaard aan de linkeroever van onge-
veer 200 m breedte waarin de afvoer ook gemeten moest worden. Het
plaatselijke verhang is zo goed mogelijk geschat m.b.v. waterstands-
waarnemingen te Kampen, Katerveer, Wijhe en Olst. Omdat de uiter-
waard bij de afvoermeeetraai nagenoeg evenwijdig loopt aan het zomer-
bed en beide juist in een rechtstand liggen is aangenomen dat het
aldus bepaalde verhang zich ingesteld heeft zowel in het zomer- als
in het winterbed.

Tabel H. Resultaten k-waarde berekeningen Katerveer hoogwater 1979.

Datum	Afvoer totaal Q (m ³ /s)	Deelafvoer plaats		Waterdiepte h	Snelheid v (m/s)	Verhang I	Ruwheid	
			Q (m ³ /s)				C (m ^{1/2} /s)	k cm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
790316	702	zo	759	5,27	1,02	1,01.10 ⁻⁴	45,9	17
		wi-r.o.	3					
		wi-l.o.	20	0,63	0,35		43,6	3
790217	936	zo	822	5,44	0,97	1,07.10 ⁻⁴	41,4	31
		wi-r.o.	10					
		wi-l.o.	104	0,99	0,45		43,7	4
790318	972	zo	843	5,46	1,00	1,03.10 ⁻⁴	43,7	23
		wi-r.o.	21					
		wi-l.o.	108	1,05	0,46		44,2	4
790319	1001	zo	886	5,47	0,99	1,02.10 ⁻⁴	42,9	25
		wi-r.o.	12					
		wi-l.o.	103	1,06	0,46		44,2	4
790320	1012	zo	892	5,48	1,03	1,02.10 ⁻⁴	45,1	19
		wi-r.o.	10					
		wi-l.o.	110	1,06	0,46		44,2	4
790321	964	zo	854	5,82	1,05	1,00.10 ⁻⁴	45,2	20
		wi-r.o.	14					
		wi-l.o.	96	0,88	0,41		43,7	4
790322	935	zo	862	5,99	1,04	0,96.10 ⁻⁴	45,3	20
		wi-r.o.	7					
		wi-l.o.	60	0,90	0,34		36,6	10
790323	823	zo	772	5,51	0,99	0,94.10 ⁻⁴	45,4	19
		wi-r.o.	9					
		wi-l.o.	42	0,76	0,27		34,0	10

Toelichting:

zo = zomerbed

wi-r.o. = winterbed rechter oever

Naar aanleiding hiervan kan opgemerkt worden:

- de k-waarde zoals berekend met behulp van Chezy en Nikuradse voor het zomerbed ligt steeds in de orde van 0,2 m (kolom (9)). Dit lijkt bij gegeven beddingvormen en korrelmateriaal wel een fysisch reële waarde.
 - De k-waarde die ook op deze wijze berekend zijn voor de uiterwaard met in de uiterwaard bepaalde afvoeren ligt in de orde van 4 cm.
- In vergelijking tot de meetresultaten in de groene rivier te Pannerden van 1980 (tabel g) is dit vrij laag.

4.3 Afleiding k-waarde vanuit snelheidsvertikalen

De vorm van een snelheidsvertikaal wordt sterk bepaald door de ruwheid van het oppervlak waar het water overheen stroomt. In deze paragraaf wordt een afleiding gegeven van de wijze waarop k-waarden vanuit gemeten snelheidsvertikalen berekend kunnen worden. De theorie hiervan is deels ontleend aan (Sybesma 1958).

Van de plaats waar afvoeren in de groene rivier Pannerden zijn gemeten staan een groot aantal snelheidsverticalen beschikbaar. De bodem ter plaatse is bedekt met een grasmat, zodat uit de vorm van de snelheidsverticalen informatie over de ruwheid van gras verkregen moet kunnen worden.

Een algemeen aanvaarde formule voor de vorm van een snelheidsverticaal in een open leiding met hydraulisch ruwe bodem is die volgens van Karman in de vereenvoudigde vorm:

$$v_z = \frac{\sqrt{g \cdot h \cdot i}}{K} \ln \frac{z}{z_0} \dots \dots \dots (12)$$

waarin:

- v_z = watersnelheid op hoogte z boven de bodem
- g = versnelling van de zwaartekracht
- h = diepte
- i = verhang
- K = constante van von Karman (ong. 0,4)
- z_0 = hoogte boven de bodem waar snelheid nagenoeg 0 wordt.

Zijn nu v_1 de watersnelheid voor $z = 1$ m dan geldt:

$$\frac{v_z}{v_1} = \frac{\ln \frac{z}{z_0}}{\ln \frac{1}{z_0}} = \frac{\ln z - \ln z_0}{\ln 1 - \ln z_0} = - \frac{\ln z}{\ln z_0} + 1$$

Na enige omwerking volgt nu:

$$\left(\frac{v_1}{v_1 - v_z} \right) \ln z = \ln z_0 \dots\dots\dots (13)$$

of
$$\frac{v_1}{v_1 - v_z} \log z = \log z_0$$

Als nu de snelheid bekend is op de hoogte van 1 m en z m boven de bodem kan met behulp van (13) z_0 berekend worden.

Voor hydraulisch ruwe leidingen geldt nu:

$$k = 30 \text{ à } 33 z_0$$

waarin k de ruwheidsmaat volgens Nikuradse is.

In fig. 4.1 is een en ander schematisch in beeld gebracht.

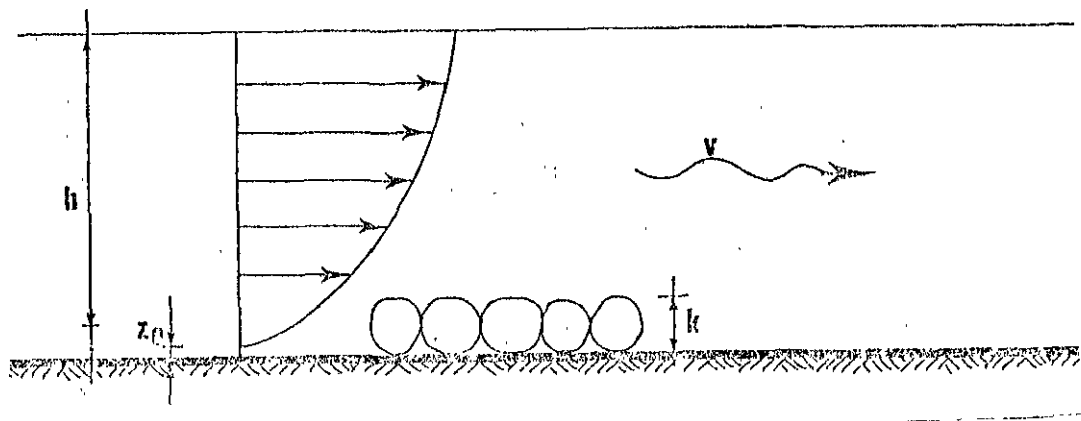


Fig. 4.1 Snelheidsverticaal in relatie tot bodemruwheid.

Als de k -waarde bekend is kan de C -waarde berekend worden met behulp van de formules van Nikuradse (6) of Manning en Strickler (7).

Tijdens het hoogwater in februari van 1980 zijn in de groene rivier te Pannerden dagelijks de afvoeren 1 of 2 maal gemeten gelijktijdig met de verhangen en waterdieptes (par. 4.2).

Voor de bepaling van k uit de snelheidsverticalen staan er per afvoermeting ongeveer 27 van beschikbaar. Het totaal aantal verticalen was 32, maar enkele vielen af als niet geschikt zijnde (oever, struiken, sloot e.d.).

Per afvoermeting is nu een k-waarde bepaald met behulp van een middelingsprocedure over alle verticalen in een volledige afvoermeting. Hiertoe

is de grootheid $\frac{v_1}{v_1 - v_z}$ uit formule (13) gebruikt waarbij steeds

v_1 en v_z zijn gemiddeld over het totale aantal gebruikte verti-

calen. Deze grootheid $\frac{v_1}{v_1 - v_z}$ is dimensieloos en is een maat voor

de steilheid van het snelheidsprofiel.

Bepaald wordt dus steeds eerst:

$$\bar{v}_z = \frac{\sum_{i=1}^m v_{zi}}{m}$$

waarin:

m = aantal vertikalen per afvoermeting

z = 0,2 ; 1 m of 2 m. (vooraf te kiezen!)

De berekening van z_0 kan nu worden uitgevoerd volgens (13)

$$\left(\frac{\bar{v}_1}{\bar{v}_1 - \bar{v}_z} \right) \log z = \log z_0 \quad (z_0 \text{ en } z \text{ in m !})$$

waarne k worden berekend uit $k = 30 \text{ à } 33 z_0$.

De waarden v_1 en v_z worden per vertikaal afgelezen van een lineaire regressielijn die aangepast is aan de afzonderlijke snelheidsmetingen uitgezet op halflogaritmisch papier.

De volgende metingen zijn nu verwerkt

- a. 5 afvoermetingen in de groene rivier bij Pannerden
(27 vertikalen per meting gemiddeld) februari 1980;
- b. 15 afvoermetingen in het zomerbed van de IJssel bij Westervoort februari 1980 (8 vertikalen per meting gemiddeld).
Dit om na te gaan of met behulp van deze werkwijze fysisch reële waarden worden gevonden. Deze ligt voor een met duinen bedekte rivierbodem in de orde van grootte van 20 à 40 cm.
- c. 7 afvoermetingen in de uiterwaard van de IJssel nabij Katerveer, gemeten tijdens hoogwater in maart 1979.

In tabel I staat een overzicht van meetgegevens en berekeningsresultaten.

Getracht is nog gegevens over snelheidsmetingen boven grasland te achterhalen die zijn ingewonnen bij de hoogwater in 1958 en 1970 hetgeen niet gelukt is omdat ze niet meer beschikbaar waren.

Opmerking: Door invoering van v_1 op z is 1 m boven de bodem in formule (12) is iedere afgelezen hoogte in m identiek gelijk aan de dimensieloze grootte

$$\frac{z_h}{z_1} = \frac{z_h}{1}$$

In dit geval kan verder met de logarithmes van de hoogtes worden gewerkt. Wel dienen de hoogten dan steeds in meters te worden gegeven.

Tabel I. Ruwheid vanuit snelheidsverticalen; Hoogwater 1980.

Datum	Plaats	Afvoer (m ³ /s)	Water- diepte h (m)	Hoogte boven- bodem z (m)	τ_0 (cm)	k (cm)	c (m ^{1/2} /s)	k tabel G/H (cm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
16-3-'79	Katerveer	20	0,63	0,2	3	> 100	< 16	3
17-3-'79	Katerveer	104	0,99	0,2	0,1	3	46,7	4
18-3-'79	Katerveer	108	1,05	0,2	0,01	0,2	68,4	4
19-3-'79	Katerveer	103	1,06	0,2	0,003	0,1	73,9	4
20-3-'79	Katerveer	110	1,07	0,2	0,11	3,3	46,6	4
21-3-'79	Katerveer	96	0,88	0,2	1,17	35	26,6	4
22-3-'79	Katerveer	66	0,90	0,2	0,05	1,5	51,4	10
800209 ^I	Pann.Groene riv.	251	2,90	0,20	1,49	38,4	35,2	29,0
800209 ^{II}	Pann.Groene riv.	249	2,90	0,20	1,28	38,4	35,2	28,7
800210 ^I	Pann.Groene riv.	236	2,86	0,20	1,67	50,1	33,0	27,5
800210 ^{II}	Pann.Groene riv.	234	2,85	0,20	1,20	35,9	35,6	24,2
800211	Pann.Groene riv.	146	2,64	0,20	1,17	35,2	35,2	17,8
800207 ^I	IJssel	969	7,70	2	0,70	20,9	47,6	
800207 ^{II}	IJssel	1015	7,73	2	0,06	1,8	66,8	
800208 ^I	IJssel	1169	8,02	2	1,47	44,1	42,1	
800208 ^{II}	IJssel	1204	8,08	2	0,13	4	60,9	
800209 ^I	IJssel	1203	7,39	2	0,43	12,8	52,1	
800209 ^{II}	IJssel	1301	8,40	2	0,67	10,0	48,6	
800210 ^I	IJssel	1278	8,34	2	1,11	33,3	44,6	
800210 ^{II}	IJssel	1215	8,30	2	0,20	6,0	57,9	
800211 ^I	IJssel	1181	8,13	2	0,64	19,3	48,7	
800211 ^{II}	IJssel	1110	8,07	2	0,91	27,2	45,9	
800212	IJssel	997	7,75	2	2,52	75,5	37,6	
800213 ^I	IJssel	852	7,45	2	0,18	5,6	57,7	
800213 ^{II}	IJssel	859	7,39	2	1,36	40,8	32,7	
800214 ^I	IJssel	765	7,09	2	0,02	0,6	74,7	
800214 ^{II}	IJssel		7,01	2	1,34	40,1	41,8	

Toelichting: - Katerveer : uiterwaard IJssel bij Katerveer.

- IJssel : zomerbed van de IJssel.

De berekeningsresultaten weergegeven in tabel I geven aanleiding tot de volgende opmerkingen:

- Vergelijking van de ruwheden zoals berekend met behulp van een analyse van de snelheidsverticalen met die berekend zijn met behulp van Chezy (tabel G respectievelijk H) geven in een aantal gevallen waarden die in dezelfde orde van grootte liggen (kolommen (7) en (9)).
- Vanwege de geringe waterdiepte op de uiterwaard van de IJssel bij Katerveer tijdens het hoogwater in maart 1978 stonden er per snelheidsverticaal veelal niet meer dan 4 à 5 snelheidsmetingen per verticaal beschikbaar, hetgeen de resultaten kan hebben beïnvloed.
- De k-waarden voor de groene rivier te Pannerden zijn duidelijk hoger dan die berekend voor de uiterwaard van de IJssel nabij Katerveer (kolom (7)). Mogelijk kan een gemiddelde tussen deze beide uitersten worden aangehouden als fysisch reëel.
- De k-waarde berekend voor de zomerbedbodem van de IJssel nabij Westervoort vanuit de snelheidsverticalen fluctueert sterk maar levert geen fysisch onwaarschijnlijke waarden op ($k_{\text{gem}} \approx 25 \text{ cm}$; standaardafwijking $\approx 20 \text{ cm}$). Dit verhoogd de betrouwbaarheid van k-waarde berekeningen vanuit snelheidsverticalen enigszins.

4.4 Toepassing afleiding Chow (1959) voor grasland

Op bijlage 2 zijn enige grafische verbanden weergegeven tussen de coëfficiënt van Manning (n) en het product $v.R$ (v = gemiddelde watersnelheid; R = hydraulische straal), die experimenteel bepaald zijn voor verschillende graslengtes. Uit de metingen verricht in de groene rivier te Pannerden tijdens de hoogwaters van 1970 en 1980, in de uiterwaard bij Driel (1955 ... 1958) en in de uiterwaard van de IJssel bij Katerveer (hoogwater 1979) kunnen eenvoudig de gemiddelde watersnelheden berekend worden terwijl tevens de hydraulische stralen bekend zijn zodat waarden voor Mannings' n kunnen worden afgelezen uit bijlage 3 bij de gegeven waarden voor het product $v.R$. In tabel J staan de waarden voor $v.R$ vermeld met daarbij de waarden van n als er van uitgegaan wordt dat het gras in de Nederlandse uiterwaarden als kort mag worden beschouwd (lengte 5 ... 15 cm). Dit lijkt een redelijke veronderstelling zoals uit visuele waarnemingen gebleken is.

Tabel J. Afleiding ruwheid uiterwaarden Driel en Katerveer en
groene rivier Pannerden volgens Chow (1959).

Plaats	Afvoer	Breedte	Diepte	Hydr. str. R	Snelh. v	prod. V * R	Gras (S...15 cm)			
	Q (m ³ /s)	B (m)	h (m)	(m)	(m/s)		n	C (m ^{1/2} /s)	k (cm)	D ₆₅ (cm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
<u>Driel:</u>										
1955..1958	70	155	2,01	1,96	0,22	0,43	0,036	31,1	44	78
	100	155	2,16	2,10	0,30	0,62	0,035	32,3	40	42
	130	155	2,29	2,23	0,37	0,83	0,033	34,3	33	29
	160	155	2,40	2,33	0,45	1,00	0,032	36,0	28	25
	190	155	2,51	2,44	0,49	1,20	0,031	37,4	24	20
	210	155	2,58	2,50	0,53	1,33	0,031	37,6	24	20
	240	155	2,60	0,58	1,58	1,51	0,031	37,8	25	20
<u>Pannerden:</u>										
25-2-'70	295	205	2,85	2,77	0,52	1,44	0,031	38,2	25	20
26-2-'70	368	205	3,06	2,97	0,59	1,75	0,030	40,0	21	17
27-2-'70	380	305	3,08	2,99	0,60	1,80	0,030	40,0	21	17
28-2-'70	392	205	3,04	2,95	0,63	1,86	0,030	39,9	21	17
2-3-'70	281	205	2,68	2,61	0,51	1,33	0,031	37,9	25	20
3-3-'70	48	205	2,19	2,14	0,11	0,23	0,043	26,4	88	298
<u>Pannerden:</u>										
8-2-'80	206	205	2,72	2,65	0,37	0,98	0,032	36,8	29	29
9-2-'80 ^I	251	205	2,84	2,76	0,43	1,19	0,032	37,0	29	20
9-2-'80 ^{II}	249	205	2,84	2,77	0,43	1,19	0,032	37,0	29	20
10-2-'80 ^I	236	205	2,80	2,73	0,41	1,12	0,032	36,9	29	25
10-2-'80 ^{II}	234	205	2,79	2,71	0,41	1,11	0,032	36,9	29	25
11-2-'80 ^I	146	205	2,59	2,53	0,28	0,71	0,033	35,4	33	35
11-2-'80 ^{II}	115	205	2,54	2,48	0,22	0,55	0,035	33,2	43	42
<u>Katerveer:</u>										
16-3-'79	19	100	0,63	0,62	0,35	0,22	0,042	22,1	45	106
17-3-'79	104	225	0,99	0,98	0,45	0,45	0,036	27,7	34	42
18-3-'79	108	215	1,05	1,04	0,46	0,48	0,035	28,8	32	35
19-3-'79	103	207	1,06	1,05	0,46	0,49	0,035	28,8	32	35
20-3-'79	110	231	1,06	1,05	0,46	0,49	0,035	28,8	32	35
21-3-'79	96	235	0,88	0,87	0,41	0,36	0,038	25,8	39	58
22-3-'79	66	227	0,90	0,89	0,34	0,30	0,040	24,6	46	79
23-3-'79	42	212	0,67	0,66	0,27	0,18	0,044	21,3	53	140

Toelichting: - Kolom (8); n uit relatie bijlage 3

- Kolom (9); C volgens $R^{1/6}/n$

- Kolom (10); k volgens $C = 18 \log 12 \frac{R}{k}$

- Kolom (11); D₆₅ volgens $n = 0,0416 D_{65}^{1/6}$ met D₆₅ in m
(Raudkivi 1976)

De volgende opmerkingen kunnen naar aanleiding van deze tabel worden gemaakt:

- De k-waarde en de D_{65} -waarden liggen nagenoeg alle in dezelfde orde van grootte (2 à 3 dm), hoewel de k-waarde i.h.a. iets groter is.
- Bij lagere afvoeren zijn de k-waarden steeds hoger dan bij hogere afvoeren. Dit volgt uiteraard uit de toepassing van de door Chow gevonden verbanden, waarbij een verklaring kan zijn dat gras bij hogere watersnelheden plat gaat liggen en de weerstand minder wordt.
- De berekende waarden voor de groene rivier te Pannerden in 1970 zijn iets lager dan die voor 1980 (ong. 5 à 10 cm). Het verschil is echter niet zo groot als volgde uit de toepassing van Chezy met behulp van verhang- en afvoermetingen (vgl. tabel C en tabel G).

4.5 Gevolgtrekkingen

- a. Vergelijking van de berekende k-waarde voor de groene rivier bij Pannerden berekend met behulp van Chezy (tabel G), respectievelijk vanuit de gemeten snelheidsvertikaal (tabel I), respectievelijk met behulp van de benadering van Chow (tabel J) laat zien dat deze alle dezelfde orde van grootte hebben van 20 à 30 cm. Dit stemt enigszins overeen met hetgeen in par. 3.7 werd geconcludeerd.
- b. De benadering van Chow toegepast op de uiterwaard van Driel, de groene rivier te Pannerden en de uiterwaarden van de IJssel te Katerveer geeft k-waarden te zien die alle in dezelfde orde van grootte liggen. Het verschil in berekeningsresultaten indien Chezy wordt toegepast (1958 : 4 cm; 1970 < 1 cm; 1980 ~ 20 à 30 cm) wordt hier niet in teruggevonden. Het lijkt dan ook aannemelijk dat deze gevonden variatie in k meer te wijten is aan meet-onnauwkeurigheden dan aan fysisch reële verschillen.
- c. Uit de berekening van de k-waarde vanuit verhang- en afvoermetingen voor de groene rivier te Pannerden volgt i.h.a. niet direct dat bij

hogere snelheden de k-waarde minder wordt. Het afnemen van de k-waarde gaat door nadat de top gepasseerd is en de snelheden lager worden. Uiteindelijk wordt na enkele dagen stromen een soort limietwaarde van ongeveer 20 cm bereikt. Dit gedrag van de k-waarde kan veroorzaakt zijn doordat door verweking het gras steeds platter gaat liggen terwijl tevens aanslibbing optreedt.

5. CONCLUSIES

Allereerst worden in tabel K resultaten vanuit het literatuur-onderzoek en recent verrichte metingen samengevat, waarna enige conclusies worden geformuleerd:

Tabel K. Samenvatting berekeningsresultaten.

Tabel	Plaats/gras	Benaderingswijze	Periode	k (min-max) (cm)	k gem. (cm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
A	Driel uiterwaard	Chezy	1955..1958	4 - 18	10
B	Driel uiterwaard	Snelheids- vertikalen	1955..1958	5 - 58	25
C	Groene rivier Pannerden	Chezy	1970	0,1- 4	1
- D	Gras op dijk Dijk bij Flevol.	Golfoploop Chezy	1972 1970	0,5 - 13 1 - 54	7 25
E	(kort gras - - 15 cm; h = 2,5 m)	Chow	1959	8 - 44	21
F	(gras 3..33 cm)	Korneyev e.a.	1976	42 - 44	59
G	Groene rivier Pannerden	Chezy	1980	18 - 36	26
H	Katervoor uiterwaard	Chezy	1979	3 - 10	5
I	Katervoor uiterwaard	Snelheids- vertikalen	1979	0,1- 35	7
	Groene rivier Pannerden	Snelheids- vertikalen	1980	35 - 50	40
J	Driel uiterw.	Chow (n; v.R)	1955..1958	24 - 44	31
	Groene rivier Pannerden	Chow (n; v.R)	1970	21 - 88	25
	Groene rivier Pannerden	Chow (n; v.R)	1980	29 - 43	32
	Katervoor uiterwaard	Chow (n; v.R)	1979	32 - 53	39

Enkele slotconclusies kunnen nu worden geformuleerd.

- a. De tot nu toe aangehouden k-waarde voor grasland van 7 cm voor de uiterwaarden van de Nederlandse grote rivieren moet als een te kleine waarde worden beschouwd.
- b. De spreiding van alle gevonden resultaten is blijkens tabel ~~k~~ vrij groot. Het lijkt aannemelijk dat de k-waarde voor gras in het algemeen groter is dan de gemiddelde lengte van het gras. Dit kan samenhangen met de definitie van k zoals deze volgt uit Nikuradse, zijnde de korreldiameter van het bij de proeven gebruikte materiaal. In feite draagt dan echter een deel van van k bij tot de ruwheid omdat de stroming weinig beïnvloed zal worden door de onderste helft van het korrelmateriaal. Het geconstateerde dat de k-waarde vaak groter is dan de graslengte kan dan ook fysisch reëel zijn. Verder kunnen ook oneffenheden in het grasland, zoals greppels, omheiningen e.d. de k-waarde beïnvloeden.
- c. Gezien alle gevonden resultaten lijken de k-waarde-berekeningen vanuit afvoer- en verhangmetingen verricht tijdens het hoogwater in februari 1980 in de groene rivier te Pannerden geloofwaardige resultaten te hebben opgeleverd.
- d. Op grond van de tot nu toe beschikbare resultaten zal de k-waarde van grasland zoals dat voorkomt in de Nederlandse uiterwaarden ongeveer 20 à 30 cm zijn. In de literatuur wordt er steeds op gewezen dat de k-waarde bij toenemende stroomsnelheid afneemt als gevolg van het plat gaan liggen van het gras. Uit de berekeningsresultaten van de Groene rivier te Pannerden n.a.v. afvoer- en verhangmetingen tijdens het hoogwater in februari 1980 volgt dat niet direct. Wel valt op dat de k-waarde gedurende het verloop van het hoogwater, als na het passeren van de top, steeds lager wordt, hetgeen met platliggen en/of aanslibbing te maken kan hebben. Het lijkt echter tegecompliceerd, vooral gezien de nog bestaande onzekerheden t.a.v. de ruwheden in de uiterwaarden, om met verschillende k-waarden voor verschillende snelheden rekening te gaan houden in de extreem hoogwater-

berekeningen. Aanbevolen wordt, aangezien de snelheden gedurende extreem hoogwater-omstandigheden in de Nederlandse uiterwaarden waarschijnlijk van dezelfde orde van grootte zullen zijn als die opgetreden in de groene rivier te Pannerden, een k-waarde te kiezen zoals deze na enkele dagen stromen is opgetreden. Een k-waarde van 0,2m, de "limietwaarde" van de k-waarde na enkele dagen stromen in de groene rivier, lijkt dan ook een voor de hand liggende schatting. Deze kan aangehouden worden voor alle uiterwaarden.

6. NADER ONDERZOEK

Bij een komend hoogwater is het aan te bevelen ook metingen in het meetprogramma op te nemen, waarvan verwacht kan worden dat zij nog meer inzicht geven in de ruwheid van grasland in de uiterwaarden. De volgende metingen zijn hiertoe van belang.

a. groene rivier Pannerden

Hetzelfde meetprogramma kan hier worden uitgevoerd als uitgevoerd is bij het hoogwater 1980. Een nadeel van dit meetpunt is dat de groene rivier pas bij vrij hoge afvoeren mee gaat stromen. In de periode tussen de hoogwaters van 1970 en 1980 heeft hij bijvoorbeeld geen enkele maal gestroomd.

b. Doorlaatbrug bij stuw Driel

Meting van groot aantal snelheidsvertikalen boven grasland vanaf de brug. Vertikale afstand tussen de metingen van 10 cm met meetduur van afzonderlijke snelheidsmetingen van 30 sec. Gedacht wordt aan 3 plaatsen, te weten

- in het midden van twee overspanningen;
- bij één van de twee overspanningen ook metingen op $\frac{1}{4}$ van de overspanning. Dit om de invloed van de brugpijlers op de vorm van de snelheidsverticaal vast te leggen.

Het voordeel van deze lokatie is dat hier veel eerder water water stroomt dan in de groene rivier te Pannerden.

c. Inzicht verdeling in zomer- en winterbedafvoer

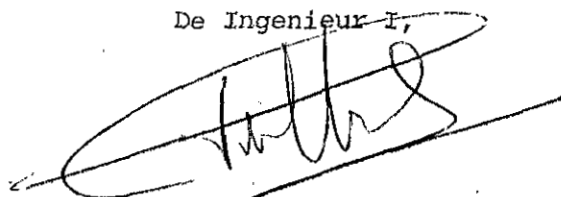
In enkele nader uit te zoeken lokaties is het van belang nauwkeurig de zomerbedafvoer te meten zodat de verdeling zomer- en winterbedafvoer bekend wordt.

Met behulp van meetgegevens over het verhang kan dan de totale ruwheid van de uiterwaard geschat worden. Als er sprake is van een alleen met gras begroeide uiterwaard, kunnen ook nadere conclusies getrokken worden over de ruwheid van met gras begroeide uiterwaard als geheel.

Naast het volgen van de literatuur en observatie in het veld kan ook overwogen worden bij het Waterloopkundig Laboratorium eens een proef te laten uitvoeren in de zandgoot waarin dan op de bodem een grasmatt gelegd is.

De voortgang van het lopende extreem hoogwateronderzoek hoeft echter hierdoor niet vertraagd te worden, omdat de k-waarde voor grasland van 0,2 m voorlopig een vrij betrouwbare maat lijkt te zijn.

De Ingenieur ~~r~~,

A large, stylized handwritten signature in dark ink, written over a horizontal line. The signature appears to be 'A. van Urk'.

ir. A. van Urk.

Overzicht gebruikte literatuur

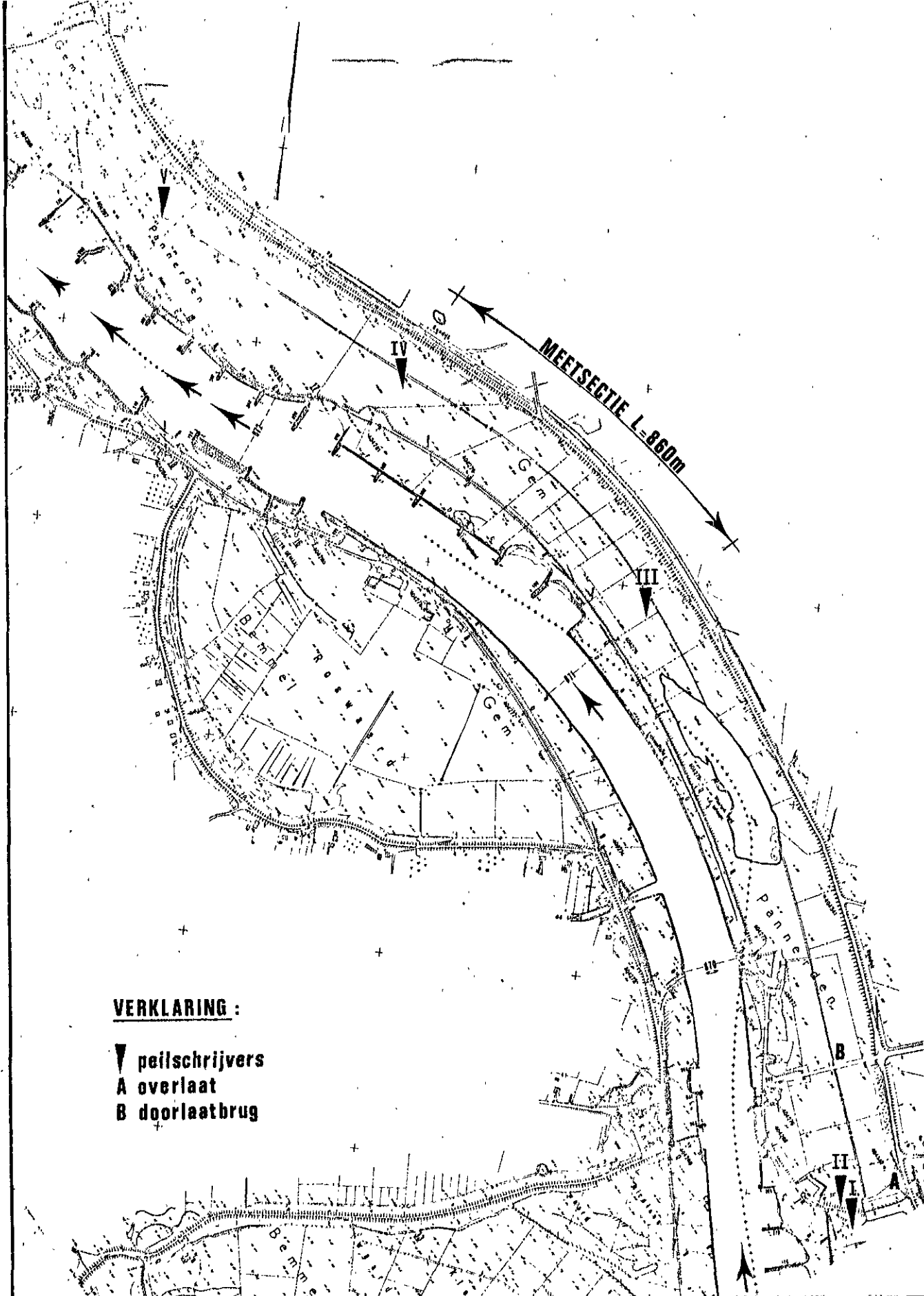
1. Ir. J.A. Battjes, e.a.: "Golfoploop en golfoverslag"
Technische adviescommissie voor de waterkeringen
's-Gravenhage, januari 1972.
2. V.T. Chow : "Open channel hydraulics"
New York, Mac Graw Hill 1959.
3. Ir. R.J. de Jong: "Stroombestendigheid van een grasmat op
de dijk van Oostelijk Flevoland"
Waterloopkundig Laboratorium Delft R 603
Delft, augustus 1970.
4. Ir. G.J. Klaassen:
"Begroeiingsweerstand in het winterbed van de Maas"
R1053 deel 1, Waterloopkundig Laboratorium Delft
"De Voorst" december 1976.
5. V.A. Korneyev, A.F. Dmitriyev, V.A. Pordin and P.V. Grinshpun:
"Computation of the roughness of grass covers of drainage
channels" Soviet Hydrology:
Selected Papers Vol. 15, no. 2 1976.
6. Ir. H. Ogink: "Evaluatie hoogwaterberekeningsmethoden,
nota WWZO 81, Rijkswaterstaat, directie Waterhuishouding en
Waterbeweging, district Zuidoost (concept)
Arnhem, juni 1981.
7. A.J. Raudkivi: "Loose Boundary Hydraulics"
Oxford, Pergamon Press 1976.
8. Ir. R.P. Sybesma: "Onderzoek naar de Coëfficiënt van de Chezy
in de uiterwaard van de Nederrijn nabij Driel"
Nota 59.4, Rijkswaterstaat, directie Bovenrivieren,
Afdeling Studiedienst.
Arnhem, maart 1962.

9. Ing. J.W. Ubels: "Hoogwaterberekeningen bij MHW16500;
Analyse en tijdplanning". Nota WWZO 80.10
Rijkswaterstaat, directie Waterhuishouding en Water-
beweging, district Zuidoost.
Arnhem, januari 1981.
10. Ir. A.J. Veraart: "Hoogwater februari 1980"
Rijkswaterstaat, directie Waterhuishouding en Waterbeweging,
district Zuidoost, Nota WWZO 80 (concept)
Arnhem 1981.
11. Ir. B. Zegers: "Hoogwater voorjaar 1970"
Rijkswaterstaat, directie Bovenrivieren, afdeling Studiedienst.
Nota 74.3 , Arnhem, april 1974.
12. Ir. J.J. v.d. Zwaard: "Begroeiingsweerstand in het winterbed
van de Maas". Verslag modelonderzoek M 1056, Waterloopkundig
Laboratorium Delft/De voorst.
"De Voorst", maart 1970.

Overzicht bijlagen

tekeningnummer

- | | |
|---|-----------|
| 1. Situatie Groene rivier Pannerden | A 4.81259 |
| 2. Ruwheid van met gras begroeide uiterwaard
(ontleend aan Klaassen 1976) | A 4.81260 |
| 3. Verband Mannings'n met produkt watersnelheid en
hydraulische straal voor gras.
(ontleend aan Chow) | A 4.81261 |
| 4. Lengteprofiel meetsectie Groene Rivier Pannerden
(kmr 870.950 - kmr 871.900) | A 4.81262 |
| 5. Breedteverloop meetsectie Groene Rivier Pannerden
(kmr 870.950 - kmr 871.950) | A 4.81263 |
| 6. Groene rivier Pannerden; Afvoer-waterstandsrelatie en
relatie k-waarde met gem. waternelheid. | A 4.81264 |



VERKLARING :

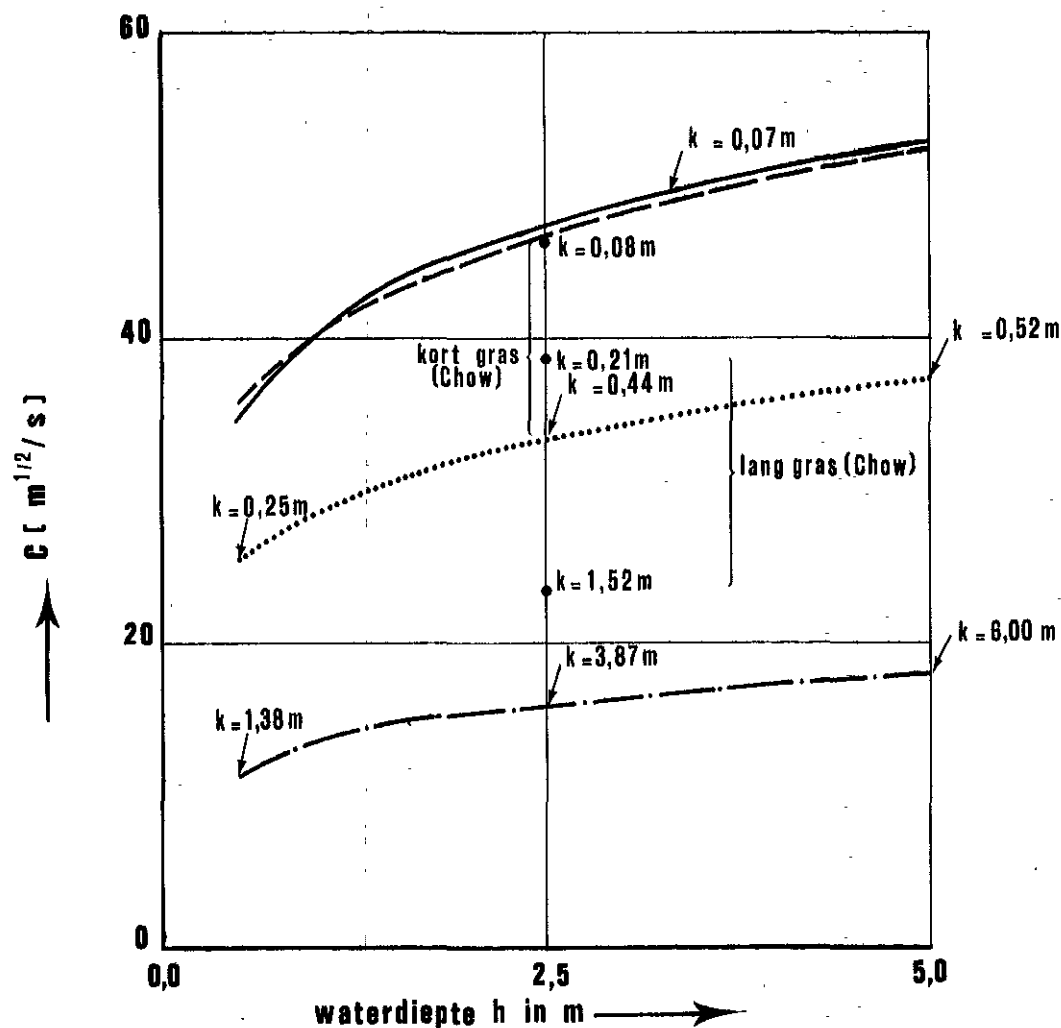
- ▼ peilschrijvers
- A overlaat
- B doorlaatbrug

SITUATIE GROENE RIVIER PANNERDEN

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
district zuidoost (arnhem)

getek.	gecontr.	gezien
<i>Van L.</i>	<i>W.</i>	<i>W.</i>
Nota wwzo 81.21		bijlage 1
schaal $\approx 1:13.000$		
grondcalq. nr		
din A 4	nr 81259	



VERKLARING:

— $C = 18 \log \frac{12h}{k}$ met $k = 0,07 \text{ m}$
(Rijkswaterstaat)

- - - $C = \frac{h^{1/6}}{n}$ met $n = 0,025$
(Vincent + Strauss)

- . - $C = \frac{h^{1/6}}{n}$ met $n_2 = 0,073$
(Bruk + Volf)

..... $C = \frac{h^{1/6}}{n}$ met $n = 0,035$
(Chow)

RUWHEID VAN MET GRAS BEGROEIDE UITERWAARD

(ontleend aan Klaassen 1976)

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
district zuidoost (arnhem)

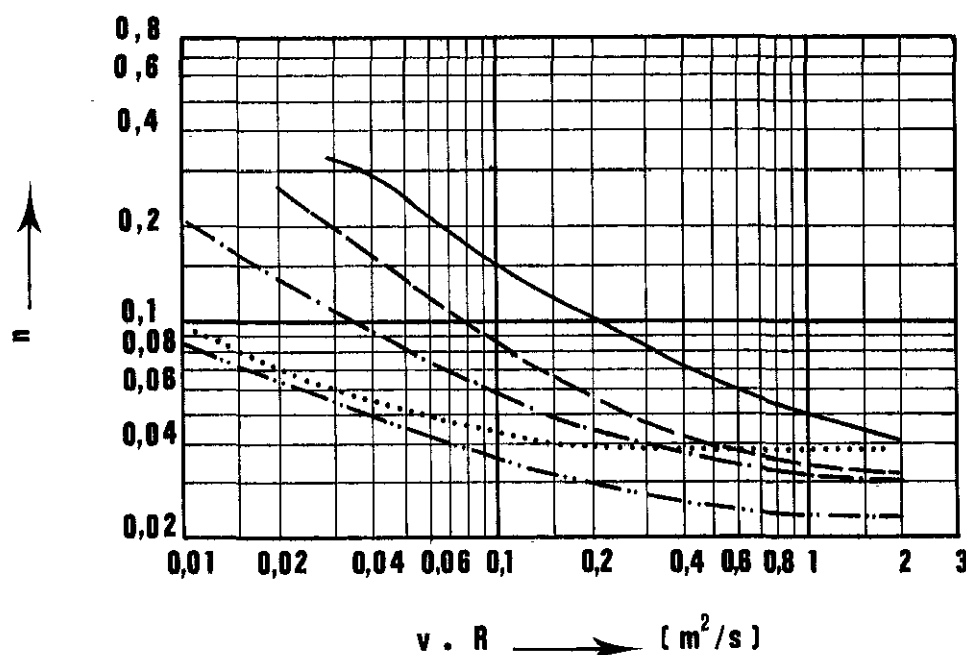
getek. gecontr. gezien

Nota wwzo 81.21 bijlage 2

grondtaalq. nr

din A4

nr 81260



VERKLARING:

—————	Hoog gras 25... 60 cm	(Chow 1959)
—————	Middelmatig gras 15... 25 cm	" "
—————	Laag gras 5... 15 cm	" "
—————	Zeer kort gras < 5 cm	" "
.....	Gras 11 cm (Korneyev et al. 1976)	

**VERBAND MANNINGS n MET PRODUKT
WATERSNELHEID EN HYDRAULISCHE STRAAL
VOOR GRAS** [ontleend aan Chow 1959 e.a.]

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
district zuidoost (arnhem)

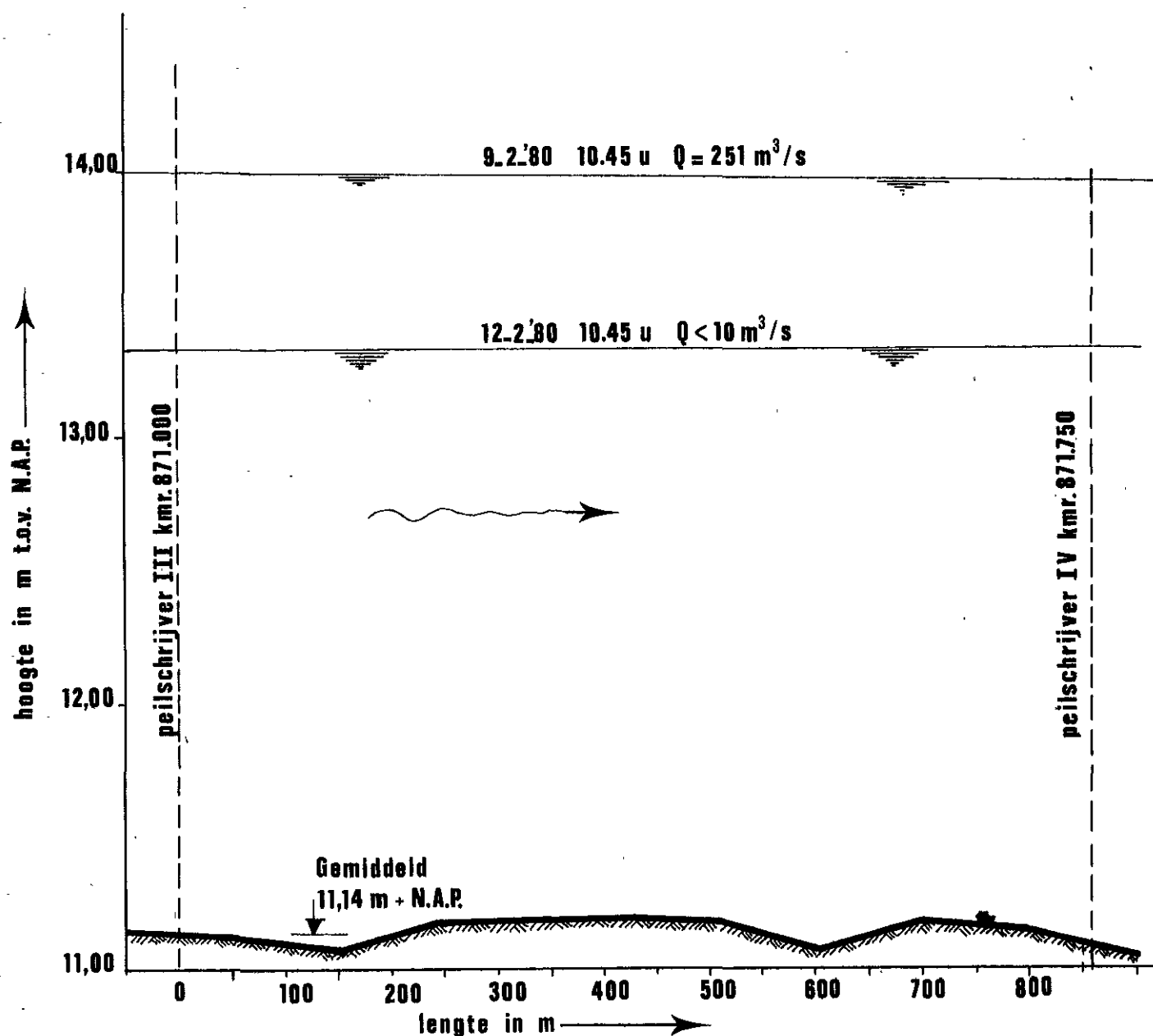
getek. gecontr. gezien

Nota wwzo 81.21 bijlage 3

grondcalq. nr

din A4

nr 81261



LENGTEPROFIEL MEETSECTIE GROENE RIVIER PANNERDEN

(kmr. 870.950 - kmr. 871.900)

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
district zuidoost (arnhem)

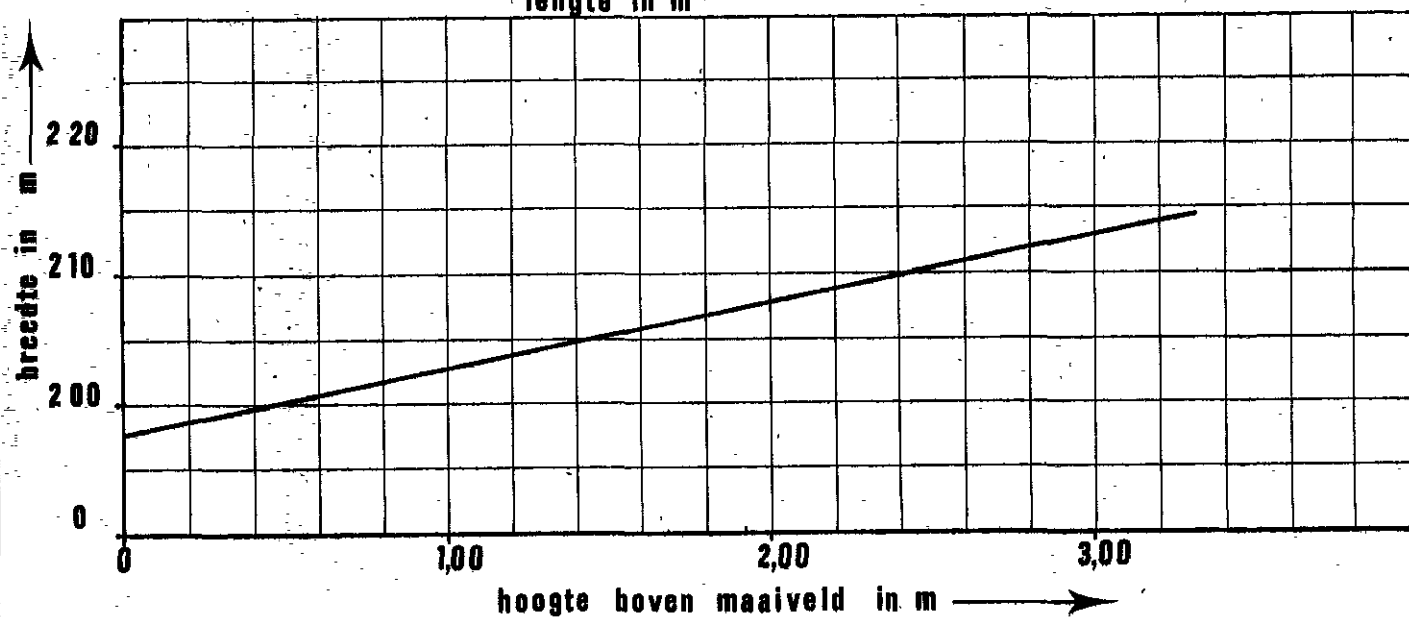
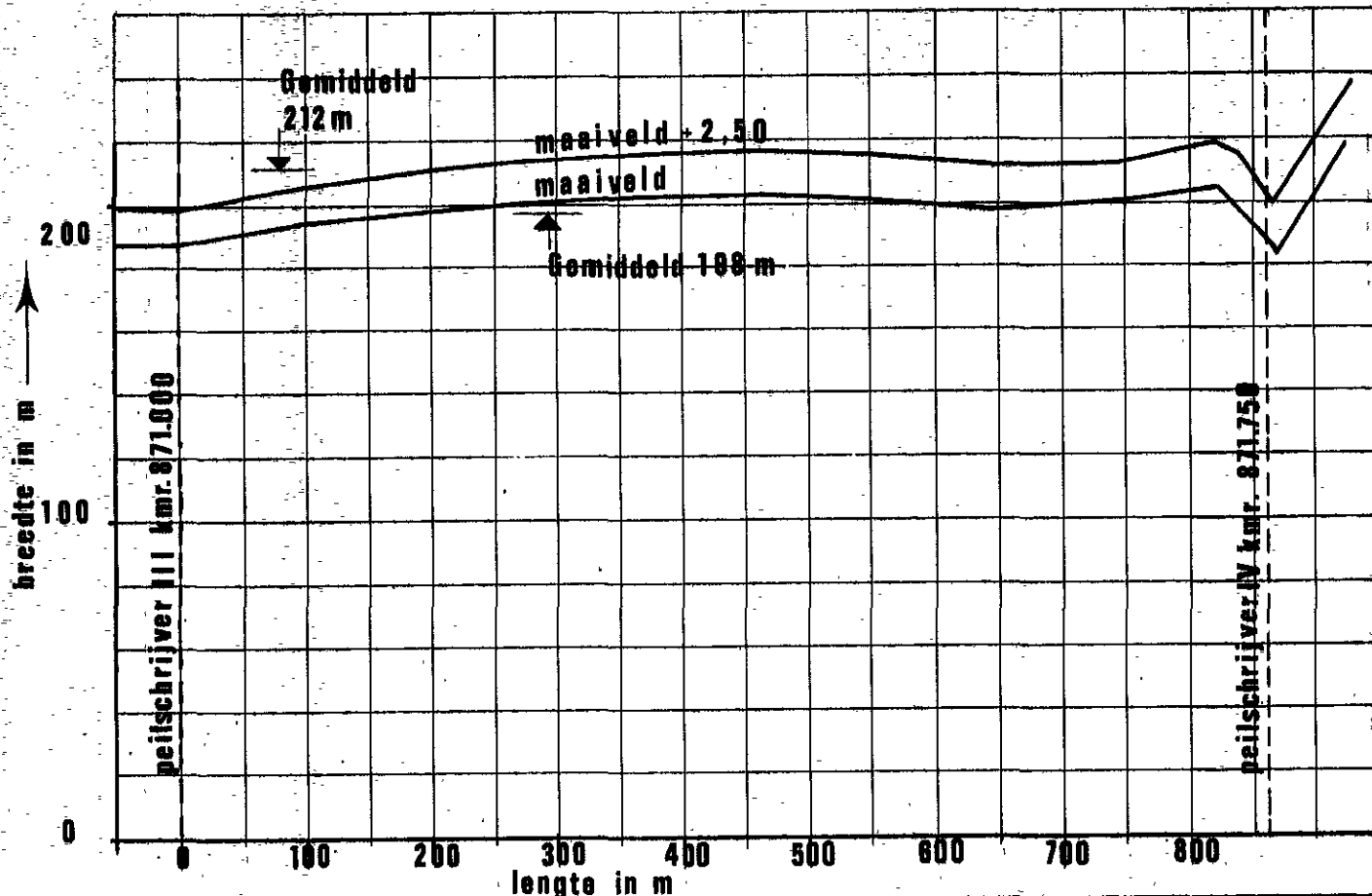
getek.	gecontr.	gezien
--------	----------	--------

<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
--------------------	--------------------	--------------------

Nota wwzo 81.21	bijlage 4
-----------------	-----------

grondcalq.	nr
------------	----

din A4	nr 81262
--------	----------



**BREEDTEVERLOOP MEETSECTIE GROENE RIVIER
PANNERDEN**
(kmr. 870.950 - kmr. 871.950)

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
district zuidoost (arnhem)

getek. gecontr. gezien

Nota wwzo 81.21 bijlage 5

grondcalc. nr

din A4

nr 81263

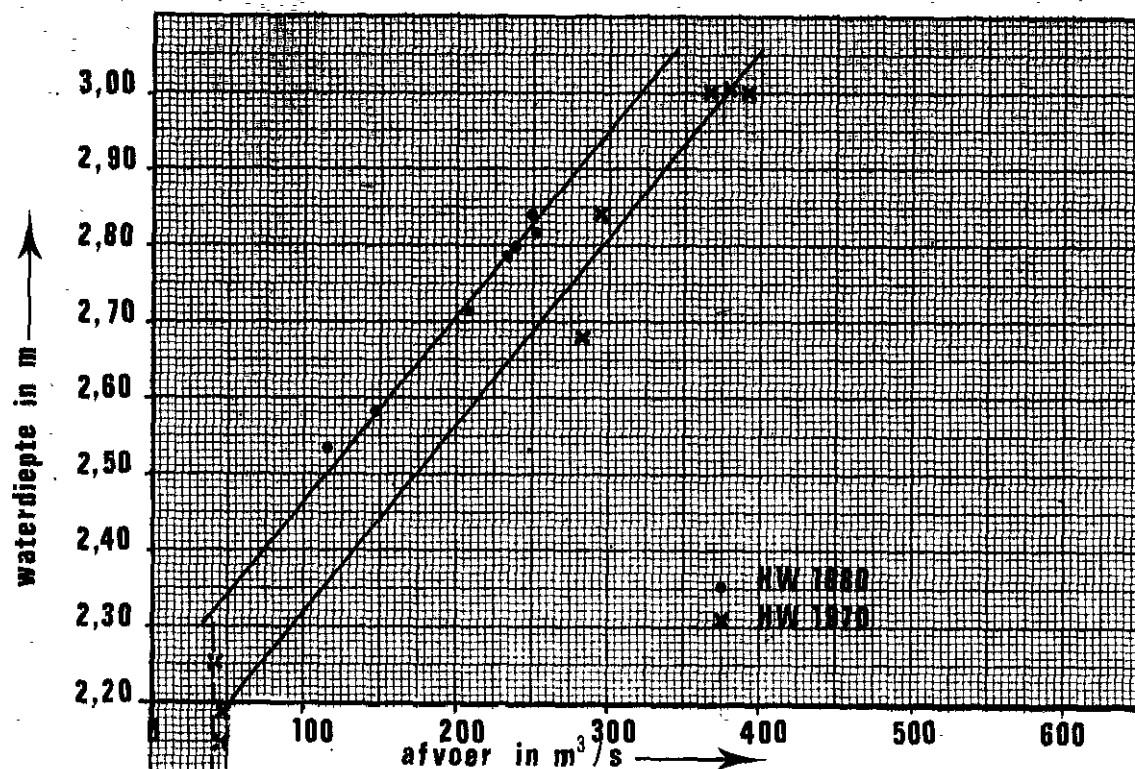


FIG.1 Q-h VERBAND GROENE RIVIER (1970 en 1980)

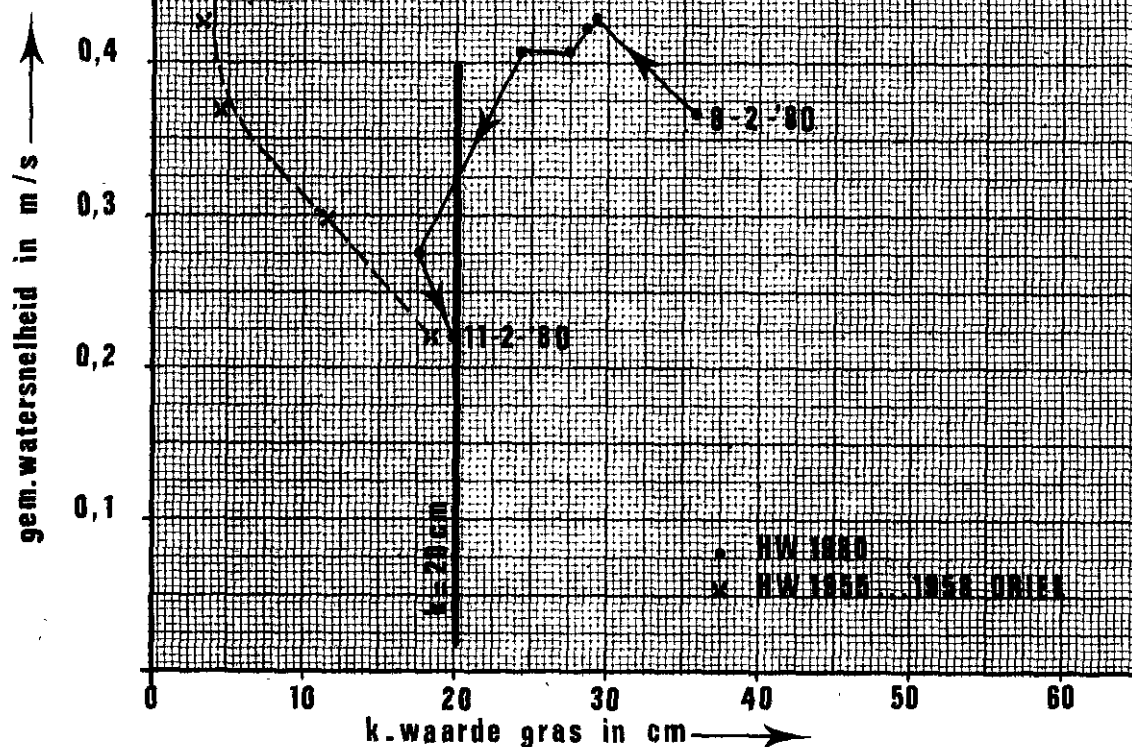


FIG.2 VERBAND TUSSEN V en k GROENE RIVIER 1980

**GROENE RIVIER PANNERDEN; AFVOER. WATER.
STANDSRELATIE EN RELATIE k-WAARDE.
GEM. WATERSNELHEID**

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging

district zuidoost (arnhem)

getek.

[Signature]

gecontr.

[Signature]

gezien

[Signature]

Nota wwzo 81.21

bijlage 8

grondcalq. nr

din A4

nr 81264