

7. DE BESCHIKBAARHEID

De kaart op schaal 1/100.000 samen met de begeleidende tekst is beschikbaar voor iedereen. Zowel openbare besturen als particulieren kunnen deze documenten bekomen op het volgende adres:

A.R.O.L. - Bestuur voor Leefmilieu
Dienst water- en Bodembeleid
Belliardstraat 12 - 1040 Brussel
Tel. 02/513.99.20

Kostprijs: 250,-fr.

Op P.C.R. 000-2001731-40
Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
A.R.O.L. - Ontvangsten
Belliardstraat 14-18 - 1040 Brussel.

De Provinciale Directies van het Bestuur voor Leefmilieu van A.R.O.L. beschikken daarenboven over een meer gedetailleerd werkbundel op schaal 1/25.000.

Deze plannen kunnen ter plaatse geraadpleegd worden na afspraak met de lokale directies op volgende adressen:

A.R.O.L. ANTWERPEN
- Bestuur voor Leefmilieu
Britselei 15 - 2000 Antwerpen
Tel. 003/237.28.50

A.R.O.L. BRABANT
- Bestuur voor Leefmilieu
Blijde Inkomststraat 105 - 3000 Leuven
Tel. 016/22.44.92

A.R.O.L. LIMBURG
- Bestuur voor Leefmilieu
Helbeekplein 9 - 3500 Hasselt
Tel. 011/22.39.61

A.R.O.L. OOST-VLAANDEREN
- Bestuur voor Leefmilieu
Gebr. Van Eyckstraat 4-6 - 9000 Gent
Tel. 091/25.13.83

A.R.O.L. WEST-VLAANDEREN
- Bestuur voor Leefmilieu
Werkhuisstraat 9 - 8000 Brugge
Tel 050/33.36.71

BEKLEDINGEN VAN WATERLOPEN EN HUN INVLOED OP HET AFVOERVERMOGEN

Onderzoeken uitgevoerd in het kader van een overeenkomst met het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

*M. VOET, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Administratie Ruimtelijke Ordening en Leefmilieu - Werkgroep voor Landelijk Waterbeheer in het Vlaamse Gewest
W. DIERICKX, Ministerie van Landbouw
Bestuur voor Landbouwkundig Onderzoek*

WATERCOURSE REVETMENTS AND THEIR INFLUENCE ON THE DISCHARGE CAPACITY.

The influence of some widely applied revetments upon the flow capacity of watercourses has been studied theoretically by comparison with an unrevetted watercourse. Revetments which are aimed at assuring the stability of the profile cause a change in the roughness of the surface. More important however is the change of the

wet section by the construction of the revetment within the cross section. When the surface roughness of a revetment affects the flow behaviour significantly the entire range of discharges need be studied in both the revetted part and the adjacent unrevetted parts up and downstream.

De invloed van enkele veelvuldig aangevande bekledingen, op het afvoer­ver­mogen van waterlopen, wordt op theoretische basis nagegaan door vergelijking met een niet-beklede waterloop. Bekledingen die tot doel hebben de stabiliteit van het profiel te waarborgen, veranderen de oppervlakteruwheid.

Van meer belang is de wijziging in natte sectie ten gevolge van de inbouw van de bekleding binnen het dwarsprofiel. Bij bekledingen die omwille van hun oppervlakteruwheid het afvoer­ver­mogen wezenlijk beïnvloeden, dient het gehele afvoer­be­reik zowel in het beklede als in het niet-beklede gedeelte van de waterloop onderzocht te worden.

1. INLEIDING

Permanente stromingen in waterlopen worden meestal beschreven met de formule

van STRICKLER-MANNING:

$$Q = K_M A R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}}$$

waarin Q : (m^3/s);

A : natte sectie (m^2);

R : hydraulische straal (m);

J : verhang (dimensieloos);

K_M : ruwheidsfactor ($m^{\frac{1}{3}}/s$)

n : ruwheidsfactor ($s/m^{\frac{1}{3}}$).

Voor ieder geval waarin het debiet en het verhang gegeven zijn, worden de afmetingen van de watervoerende sectie bepaald door de K_M - of n -waarde. Zoals gebruikelijk in de Westeuropese literatuur, en eenvoudigheidshalve, wordt verder enkel en alleen de K_M -waarde beschouwd. De K_M -waarde is een maat voor de ruwheid van het oppervlak waarmee het water in contact komt; hoe groter de K_M -waarde, hoe minder ruw het

oppervlak. Gemakkelijkshalve worden alle andere factoren die de stroming in elk concreet geval beïnvloeden, in de K_M -waarde ondergebracht, zoals bv. onregelmatigheden in de langs-, en dwarsprofielen, bochtverliezen, energieverliezen door vast materiaaltransport, enz.

Waterlopen met natuurlijk begroeide oevers vertonen een grote variatie in ruwheidsfactor; zowel de ene waterloop ten opzichte van de andere, als eenzelfde waterloop in de loop van het jaar. Naargelang de grootte van de waterloop, varieert de normale K_M -waarde van 20 tot 50. Deze variatie is te wijten aan het feit dat de oneffenheden van de bedding belangrijker worden naarmate de afmetingen van de waterloop verkleinen, en is dus analoog aan de *relatieve ruwheid* bij stroming in buisleidingen. De verandering van de K_M -waarde, tijdens het jaar, heeft te maken met de onderhoudstoestand en met het regime van de waterloop. De

onderhoudstoestand, zoals het maaien van de oeverbegroeiing, de verwijdering van aanslibbingen enz., zal een grotere invloed hebben bij kleinere waterlopen, omdat deze als het ware kunnen dichtgroeien als de beddingen droog komen te staan. Waterlopen in een natuurlijk afvloeiend beekgebied vertonen veel grotere waterstandsveranderingen, afhankelijk van het afstromend debiet, dan watergangen in een polder, en zijn dus veel meer onderhevig aan de ontwikkeling van de oeverbegroeiing.

Het aanbrengen van bekledingen op de bodem en op de taluds van waterlopen kan het afvoervermogen in belangrijke mate beïnvloeden. Het is echter nuttig deze bekledingen in te delen naar de effecten die ervan verwacht worden; uiteraard kunnen de beoogde effecten meervoudig zijn.

2. DOEL DER BEKLEDINGEN

2.1. Bekledingen ten behoeve van oeverstabiliteit

Waterlopen waarin het natuurlijk profiel op zichzelf niet weerstandbiedend genoeg is om stabiel te blijven onder invloed van de erop aangrijpende krachten, zoals bv. grondwaterdrukken, kunnen een bekleding krijgen die de stabiliteit van het profiel herstelt. In de meeste gevallen gaat het hierbij om beschermingen van de teen van het talud; de meest verspreide toepassingen hiervan zijn schanskorven en betuiningen. De verbetering van de K_M -waarde is hier van ondergeschikt belang. Niettemin wordt de ruwheidsfactor beïnvloed door het profiel te vrijwaren van taludafschuivingen, zodat de oorspronkelijke natte sectie volledig en éénvormig behouden kan blijven. Gelet op het feit dat deze bekledingen, omwille van de kosten, over een zo minniem mogelijk oppervlak uitgevoerd worden, heeft een verbetering van de ruwheidsfactor ook minder betekenis.

2.2. Bekledingen in hellende gebieden

Waterlopen in hellende gebieden vertonen een min of meer diep ingesneden lengteprofiel en ondergraven oevers. Een bekleding die de langs- en dwarsprofielen stabiliseert, beoogt vooral het behoud van een éénvormige sectie door beperking van de erosie. Bijkomend kan hierdoor het afvoervermogen verbeterd worden. Een verbetering van de K_M -waarde is in hellende gebieden echter zelden de hoofdbekommernis, gezien de bestaande waterlopen meestal een voldoende hoog afvoervermogen hebben; de vereiste secties blijven klein omwille van de grote snelheid, en de ligging van de waterlijn ten behoeve van de ontwatering van de aanliggende gronden is van minder belang.

2.3. Bekledingen om het afvoervermogen te verbeteren.

Bekledingen die een betere ruwheidsfactor hebben dan de natuurlijke profielen, laten toe eenzelfde debiet met een kleinere natte sectie af te voeren; hiervan wordt gebruik gemaakt wanneer het normaal vereiste profiel niet kan verwezenlijkt worden, bv. omdat de beschikbare bovenbreedte beperkt

wordt door een aanpalende bebouwing. De meest markante voorbeelden hiervan zijn inbuizingen en overwelingen. De toename van de snelheid, omwille van een minder ruwe bekleding, impliceert een ander dwarsprofiel. De keuze van het dwarsprofiel beïnvloedt de waterstanden bij alle optredende afvoeren; de ligging van deze waterstanden kan, ten opzichte van de normale waterstanden, in het stroomopwaartse vak zorgen voor een opstuwing of een verlaging, en aldus een invloed uitoefenen op de overstromingsbescherming van het vak stroomafwaarts het beklede gedeelte.

Veel soorten uitvoeringen van dit type bekleding bestaan uit betonelementen, waarvan bodem en wanden één geheel vormen. De aanname van een betere K_M -waarde van het bekledingsmateriaal in plaats van het natuurlijk grondoppervlak - houdt in dat alle voorwaarden moeten aanwezig zijn om de bodem ook daadwerkelijk vrij te houden van aanzandingen en aanslibbingen. In deze gevallen wordt het beklede gedeelte praktische onderhoudsvrij en wordt het soms geplaatst in voor onderhoud moeilijk toegankelijke gedeelten.

3. INVLOED VAN ENKELE BEKLEDINGEN OP HET AFVOERVERMOGEN

Voor een feitelijke bepaling van de invloed van oeverbekledingen op het afvoervermogen zou de vergelijking moeten gemaakt worden met een niet-bekleed profiel, waarvan de vorm zich aangepast heeft aan de ter plaatse heersende omstandigheden zoals oeverafzakkingen, erosie van de bedding, enz. Dit betekent dat de verbeteringen afhankelijk zijn van de mate waarin oeverafschuivingen en erosie of sedimentatie de oorspronkelijke afvoercapaciteit veranderd hebben.

Het effect van bekledingen wordt hier evenwel verder nagegaan door vergelijking met een theoretisch trapeziumprofiel in de veronderstelling dat het niet-beklede profiel zijn vorm zou behouden zonder versterking. Hierdoor wordt het effect van de bekledingen herleid tot veranderingen in natte sectie als gevolg van de inbouw van bekledingen in het theoretisch profiel.

Voor de wandruwheid werden gangbare waarden overgenomen uit VEN TE CHOW (1959), of dienden, bij gebrek aan gegevens, gewoon verondersteld te worden. Diepgaande studies en experimentele ruwheidsmetingen zullen juistere gegevens moeten verstrekken. Verder werden gewoon gewogen gemiddelde K_M -waarden, overeenkomstig hun aandeel in de omtrek, berekend voor samengestelde profielen.

3.1. Azobématbetuining

Een azobématbetuining wordt als teenbescherming veel toegepast in kleinere waterlopen, en is derhalve een bekleding ten behoeve van de oeverstabiliteit. Een azobémat van 25 cm hoogte (fig.1) wordt vooropgesteld. De invloed van deze betuining op het afvoervermogen, in vergelijking met een natuurlijk stabiel profiel, bestaat uit verschil-

lende componenten. Naargelang de plaatsing van de mat ten opzichte van de teen van het talud, verandert de totale natte sectie (fig.1a,b,c). Bij wijzigingen in de wandruwheid dienen enerzijds de azobélaten en anderzijds de palen beschouwd te worden. Azobélaten zijn gladder dan een aarden wand en hun effect kan berekend worden door een gewogen gemiddelde K_M -waarde te bepalen. Deze gewogen gemiddelde K_M -waarde is in feite te hoog omdat de azobématten vastgemaakt zijn op palen, die een remmende invloed uitoefenen op het afvoervermogen door verstoring van het gemiddeld snelheidsprofiel. Omwille van de wervelingen die optreden achter de palen, is de wandruwheid ervan zonder betekenis. Bovendien zal de invloed van de palen afnemen bij toenemende natte secties, daar de verstoringen relatief kleiner worden. Gezien de invloed van deze componenten op het afvoervermogen afhankelijk is van de natte sectie, is de berekening voor meerdere natte secties uitgevoerd.

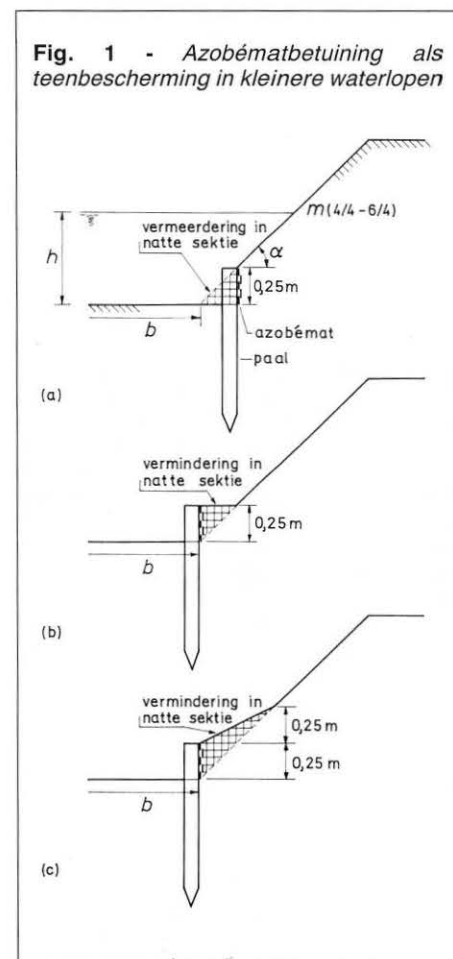


Fig. 1 - Azobématbetuining als teenbescherming in kleinere waterlopen

Als minimum wordt een sloot met een bodembreedte $b = 0,60$ m en een waterdiepte $h = 0,40$ m bij maatgevende afvoer aangenomen als het kleinste hydraulisch te bepalen profiel. Een profiel van 2,00 m bodembreedte en 1,00 m waterdiepte is de praktische bovengrens waarvoor betuining als oeverversterking in aanmerking komt. In tabel 1 werden, tussen deze grenzen, ook nog

een aantal andere gevallen met 2 verschillende taluds beschouwd. De taluds worden aangegeven door m , zijnde de verhouding van de horizontale afstand tot de verticale hoogte.

Tabel 1. De voor betuining beschouwde konkrete profielen.

Profiel nr	Bodem-breedte b (m)	Waterdiepte h (m)	Taluds m
1	0,60	0,40	4/4
2	1,00	0,50	4/4
3	1,00	0,50	6/4
4	1,50	0,75	6/4
5	2,00	1,00	6/4

Bij de berekening worden K_M -waarden van 60 voor azobématten en van 25-30 voor gewone aarden profielen aangenomen. De invloed van de palen werd ingebracht door de K_M -waarde voor de profielen 1,2,3,4 en 5 met respectievelijk 10,8,8,4 en 2 eenheden te verminderen, en verder tot op de eenheid af te ronden.

Als maat voor de verandering van het afvoervermogen werd de waarde $K_M A R^{\frac{2}{3}}$ berekend, hetzij het debiet voor een verhang gelijk aan één, voor het normale profiel en voor de profielen met een betuining volgens fig. 1a,b,c. Wordt het afvoervermogen van het gewone profiel gegeven door Q_0 , dan kan de invloed van de betuining uitgedrukt worden als een procentuele verandering van Q_0 .

De verandering van het afvoervermogen kan ook uitgedrukt worden als een verandering van de waterdiepte in vergelijking met de waterdiepte van het oorspronkelijke profiel. In tabel 2 werd de invloed van de betuining op beide grootheden nagegaan. Hieruit kunnen volgende besluiten getrokken worden:

- Omtrent de invloed van de palen zijn geen theoretische of praktische gegevens bekend. Als de invloed van de palen korrekt is geschat, zijn de wijzigingen in het afvoervermogen nagenoeg volledig terug te brengen tot wijzigingen in de natte sectie;
- De wijzigingen in de natte sectie zijn relatief belangrijker naarmate het normale profiel kleiner is: het afvoervermogen van profiel 1 vermindert met ongeveer de helft bij een slecht geplaatste betuining (fig.1c), ofwel zal de waterdiepte met 13 cm, of 30 % van de oorspronkelijke waterdiepte stijgen. Bij een korrekte plaatsing (fig.1a) blijft het afvoervermogen praktisch ongewijzigd. Dit stemt overeen met de gangbare praktijk, waarbij geen rekening gehouden wordt met de invloed op het afvoervermogen, d.w.z. de betuining dient alleen voor het instandhouden van het normale profiel.
- Door aanzandingen en aanslibbingen wordt zelden het theoretisch profiel behouden. Dit brengt ook mee dat de vermeerdering van de natte sectie bij een korrekte plaatsing geheel of gedeeltelijk teniet gedaan wordt, maar ook dat bij een slechte plaatsing, de natte sectie nog verder afneemt; hierdoor loopt het afvoervermogen nog verder terug.

3.2. Schanskorven als oeverversterking

In grotere waterlopen worden schanskorven veelvuldig en met succes toegepast als oeverversterking. Schanskorven bezitten daartoe een aantal gunstige eigenschappen zoals hun gewicht, hun flexibiliteit en hun doorlatendheid. Bij de aanleg wordt gewoonlijk het bovenwatergedeelte van de korven met teelaarde overtrokken, om de begroeiing van de korven te versnellen. Voor dat gedeelte van de korven kan de waarde van een begroeide wand worden aangenomen. De wandruwheid van het niet-begroeide gedeelte is afhankelijk van het vullen en het bijschikken van de stenen in de korven, en van het al dan niet opvullen van de holten tussen de stenen met zand of grond, hetzij bij de plaatsing van de schanskorven, hetzij als gevolg van aanzandingen.

De schanskorven zullen echter steeds een grotere wandruwheid geven dan aarden wanden. Overeenkomstig VEN TE CHOW (1959) wordt de K_M -waarde voor niet-begroeide schanskorven berekend uit:

$$\frac{1}{K_M} = n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)n_5$$

- n_0 : faktor voor de ruwheid van het materiaal, gesteld op 0,020 voor aarden profielen en op 0,026 voor schanskorven;
 n_1 : faktor voor de onregelmatigheden van het oppervlak;

Tabel 2. Theoretische invloed van azobématbetuining op het afvoervermogen (eenheden: m;s).

Profiel	Zonder betuining	Met een betuining volgens fig.1a	Met een betuining volgens fig.1b	Met een betuining volgens fig.1c
b = 0,60 h = 0,40 m = 4/4 of $\text{tg}\alpha = \frac{1}{m} = 1$	$A R^{\frac{2}{3}} = 0,15$ $K_M = 25$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 3,75$ $Q = Q_0$ h = 0,40	$A R^{\frac{2}{3}} = 0,17$ $K_M = 24$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 4,08$ $Q = 1,09 Q_0$ h = 0,38	$A R^{\frac{2}{3}} = 0,10$ $K_M = 24$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 2,4$ $Q = 0,64 Q_0$ h = 0,48	$A R^{\frac{2}{3}} = 0,084$ $K_M = 25$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 2,10$ $Q = 0,56 Q_0$ h = 0,53
b = 1,00 h = 0,50 m = 4/4 of $\text{tg}\alpha = \frac{1}{m} = 1$	$A R^{\frac{2}{3}} = 0,34$ $K_M = 25$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 8,50$ $Q = Q_0$ h = 0,50	$A R^{\frac{2}{3}} = 0,37$ $K_M = 23$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 8,51$ $Q = 1,00 Q_0$ h = 0,50	$A R^{\frac{2}{3}} = 0,28$ $K_M = 23$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 6,44$ $Q = 0,76 Q_0$ h = 0,57	$A R^{\frac{2}{3}} = 0,24$ $K_M = 24$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 5,76$ $Q = 0,76 Q_0$ h = 0,60
b = 1,00 h = 0,50 m = 6/4 of $\text{tg}\alpha = \frac{1}{m} = 0,67$	$A R^{\frac{2}{3}} = 0,40$ $K_M = 25$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 10,0$ $Q = Q_0$ h = 0,50	$A R^{\frac{2}{3}} = 0,44$ $K_M = 23$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 10,12$ $Q = 1,01 Q_0$ h = 0,50	$A R^{\frac{2}{3}} = 0,31$ $K_M = 23$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 7,13$ $Q = 0,71 Q_0$ h = 0,59	$A R^{\frac{2}{3}} = 0,25$ $K_M = 23$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 5,75$ $Q = 0,58 Q_0$ h = 0,63
b = 1,50 h = 0,75 m = 6/4 of $\text{tg}\alpha = \frac{1}{m} = 0,67$	$A R^{\frac{2}{3}} = 1,19$ $K_M = 30$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 35,7$ $Q = Q_0$ h = 0,75	$A R^{\frac{2}{3}} = 1,22$ $K_M = 29$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 35,4$ $Q = 0,99 Q_0$ h = 0,75	$A R^{\frac{2}{3}} = 1,04$ $K_M = 29$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 30,2$ $Q = 0,85 Q_0$ h = 0,81	$A R^{\frac{2}{3}} = 0,96$ $K_M = 29$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 27,8$ $Q = 0,78 Q_0$ h = 0,84
b = 2,00 h = 1,00 m = 6/4 of $\text{tg}\alpha = \frac{1}{m} = 0,67$	$A R^{\frac{2}{3}} = 2,56$ $K_M = 30$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 76,8$ $Q = Q_0$ h = 1,00	$A R^{\frac{2}{3}} = 2,57$ $K_M = 31$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 79,7$ $Q = 1,04 Q_0$ h = 0,98	$A R^{\frac{2}{3}} = 2,35$ $K_M = 31$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 72,9$ $Q = 0,95 Q_0$ h = 1,04	$A R^{\frac{2}{3}} = 2,26$ $K_M = 31$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 70,1$ $Q = 0,91 Q_0$ h = 1,06

n_2 : faktor voor de veranderingen in de vorm en in de grootte van de natte sectie;
 n_3 : faktor voor obstructies in de waterloop (bv. aanzandingen);
 n_4 : faktor voor de begroeiing die gelijk aan nul gesteld wordt;
 n_5 : faktor voor de graad van meandering die gelijk aan 1 gesteld wordt.

Wordt voor gewone begroeide profielen $K_M = 30$ of $n = 0,033$ aangenomen, dan werd $n_1 + n_2 + n_3 + n_4 = 0,013$ verondersteld. Wanneer eenzelfde waarde bij de n_o voor schanskorven geteld wordt, bekomt men uit de K_M -waarden van 30, 35 en 40 voor gewone profielen, respectievelijk 25, 29 en 32 voor schanskorven.

De reële vergelijking van de invloed van schanskorven zou in feite moeten gebeuren met een profiel waarvan de oevers onderhevig zijn aan afzakkingen. Dit betekent dat de faktor n_2 voor een profiel met schanskorven op nul mag worden gesteld en voor het gewone profiel op 0,05 à 0,10.

Bij de berekening van de K_M -waarde voor een profiel met schanskorven wordt een gewogen gemiddelde bepaald. Hierbij werd aangenomen dat het niet-begroeide gedeelte onder de gemiddelde waterlijn ligt, en de gemiddelde waterdiepte overeenkomt met 30 % van de waterdiepte bij ontwerpafvoer.

In tabel 3 worden twee gevallen beschouwd, namelijk een korrekte plaatsing zoals aangegeven in fig.2a en een plaatsing volgens fig.2b. Deze laatste geeft aanleiding tot wijzigingen in de waarde van $A R^{\frac{2}{3}}$. Zoals in tabel 2 wordt de verandering van het afvoervermogen voorgesteld door een procentuele verandering van het afvoervermogen Q_o van het oorspronkelijk profiel, en door een wijziging van de waterdiepte om het oorspronkelijk afvoervermogen te behouden.

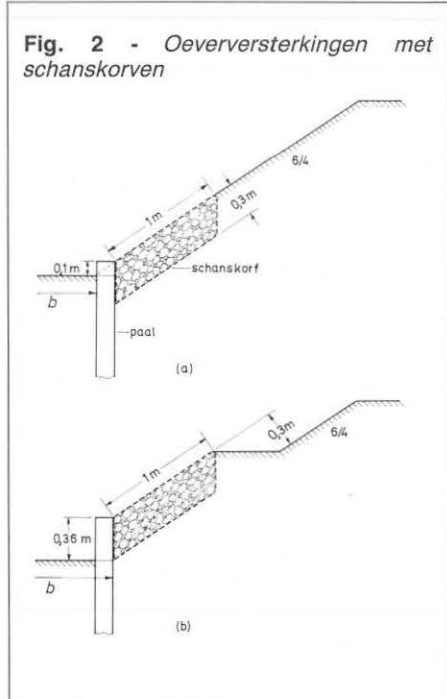
Tabel 3. Theoretische invloed van schanskorven op het afvoervermogen (eenheden: m;s).

Profiel	Zonder bekleding	Met een bekleding volgens fig.2a	Met een bekleding volgens fig.2b.
b = 1,50 h = 0,75 m = 6/4	$A R^{\frac{2}{3}} = 1,19$ $K_M = 30$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 35,7$ $Q = Q_o$ h = 0,75	$A R^{\frac{2}{3}} = 1,18$ $K_M = 29$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 34,2$ $Q = 0,96 Q_o$ h = 0,77	$A R^{\frac{2}{3}} = 0,70$ $K_M = 29$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 20,3$ $Q = 0,57 Q_o$ h = 1,01
b = 2,00 h = 1,00 m = 6/4	$A R^{\frac{2}{3}} = 2,56$ $K_M = 30$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 76,8$ $A = Q_o$ h = 1,00	$A R^{\frac{2}{3}} = 2,53$ $K_M = 29$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 73,4$ $A = 0,96 Q_o$ h = 1,02	$A R^{\frac{2}{3}} = 1,57$ $K_M = 30$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 47,1$ $Q = 0,61 Q_o$ h = 1,22
b = 3,00 h = 1,40 m = 6/4	$A R^{\frac{2}{3}} = 6,59$ $K_M = 35$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 231$ $Q + Q_o$ h = 1,40	$A R^{\frac{2}{3}} = 6,54$ $K_M = 34$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 222$ $Q = 0,96 Q_o$ h = 1,43	$A R^{\frac{2}{3}} = 5,20$ $K_M = 34$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 177$ $Q = 0,77 Q_o$ h = 1,58
b = 5,00 h = 2,00 m = 6/4	$A R^{\frac{2}{3}} = 19,2$ $K_M = 40$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 768$ $Q = Q_o$ h = 2,00	$A R^{\frac{2}{3}} = 19,0$ $K_M = 39$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 768$ $Q = 0,96 Q_o$ h = 2,04	$A R^{\frac{2}{3}} = 17,1$ $K_M = 39$ $K_M A R^{\frac{2}{3}} = 667$ $Q = 0,87 Q_o$ h = 2,14

In tabel 3 volgt dat bij een slechte plaatsing volgens fig. 2b, het afvoervermogen afneemt hoofdzakelijk als gevolg van een vermindering in natte sectie. Deze vermindering is relatief het grootst bij de kleinere profielen, maar is ook bij grotere profielen niet te verwaarlozen: de noodzakelijke stijging van de waterlijn, om het oorspronkelijk debiet af te voeren, bedraagt immers ongeveer 15 cm. Verder volgt dat de juiste K_M -waarde voor schanskorven van geringe invloed is op de resultaten van tabel 3, omdat het bovenwatergedeelte als normaal begroeid beschouwd wordt en de schanskorven slechts over een klein gedeelte van de natte omtrek voorkomen. Bovenstaande besluiten zijn in overeenstemming met de gangbare praktijk, waarbij geen rekening gehouden wordt met de wijziging van het afvoervermogen, wanneer schanskorven op een korrekte wijze als oeverversterking in het profiel geplaatst worden. Worden bij grotere waterlopen toch bekledingen boven de theoretische taludlijn aangebracht, dan dient de vermindering in natte sectie gecompenseerd te worden door een verdieping van de bodemlijn.

3.3. Bekledingen van taluds en bodem met schanskorven of met steenbestorting

Deze bekleding van waterlopen bestaat uit een taludbekleding met schanskorven tot een bepaalde hoogte, en een volledige bekleding van de bodem met schanskorven of met een losse steenbestorting van een aangepast kaliber. Een dergelijke bekleding wordt toegepast in waterlopen met een te grote snelheid waardoor de natuurlijk bedding zou eroderen, de oevers ondergraven worden en uiteindelijk instorten. Door deze erosie te verhinderen wordt tevens sedimentatie in afwaartse delen voorkomen. Het effect van de bekleding is der-



halve tweevoudig: enerzijds wordt een stabiele en eenvormige sectie in het beklede gedeelte bekomen, en aldus een betere K_M -waarde; anderzijds wordt verlies in natte sectie, als gevolg van sedimentatie en energieverlies door vast materiaaltransport, tegengegaan in de waterloopgedeelten afwaarts het beklede gedeelte. Gezien de verbetering van het afvoervermogen in hellende gebieden meestal niet het hoofddoel van de bekleding vormt, is het bewaren van de afvoerkapaciteit van meer benedenstroomse delen even belangrijk als de verbetering van de K_M -waarde in het beklede gedeelte. In analogie met de besluiten bij het gebruik van schanskorven als taludbekleding, kan gesteld worden dat het theoretisch trapeziumprofiel na de bekleding moet behouden blijven, indien het afvoervermogen niet (drastisch) mag terugvallen. De vermindering in afvoerkapaciteit ten gevolge van de grotere wandruwheid van een steenbekleding ten opzichte van een gewoon profiel bedraagt, afhankelijk van het profiel, 10 tot 15 %; de waterdiepte stijgt dan met 5 tot 7 %. Gezien de waterdiepte bij maatgevende afvoer meestal niet groter is dan 1,5 m, blijft de stijging beperkt tot ongeveer 10 cm. In die gevallen, waarin deze stijging niet toelaatbaar zou zijn, moet een bekleding met gladdere wanden, zoals betonelementen, voorzien worden.

3.4. Inbuizingen en overwelingen in beton

Betonnen buis- of kokerleidingen hebben een K_M -waarde die normaal een waarde van 65 tot 75 aanneemt, afhankelijk van hun tracé en de zorg waarmee ze geplaatst worden. Vergeleken met aarden profielen, laat deze hoge K_M -waarde een sterke reductie van de afmetingen toe. Inbuizingen en overwelingen worden gebruikt waar de beschikbare plaats ontbreekt om de normale profielen uit te bouwen of

3.6. Halve betonbuizen en grachtelementen

Deze vorm van bekleding beschermt vooral de bodem en het onderste gedeelte van de oevers, waarbinnen de gemiddelde debieten afgevoerd worden. De grotere K_M -waarde verhoogt, in aanzienlijke mate, de gemiddelde snelheden en resulteert derhalve in kleinere profielafmetingen. Doordat boven deze bekleding het gewone trapeziumprofiel uitgevoerd wordt, neemt de natte sectie méér toe bij stijgende waterdiepten, vergeleken met verticale beschoeiingen. De relatie waterstand - debiet past zich derhalve beter aan deze van het gewone open profiel aan (fig.6 en 7).

Deze vorm van bekledingen is, gelet op de toename van de gemiddelde snelheid, minder geschikt voor hellende gebieden, wanneer de waterlijn geregeld boven de bekleding kan stijgen; dit houdt in dat dit type bekleding beperkt blijft tot kleinere waterlopen. Ook dient, bij toenemende helling, meer zorg besteed te worden aan een nauwkeurige uitvoering van het lengteprofiel, en moeten de bochten voldoende ruim genomen worden; in deze gevallen kan een uitkleding in schanskorven een betere oplossing zijn.

4. BESLUITEN

De vergelijking van het effect van oeverbekledingen op het afvoervermogen, zoals dit in bovenstaande gevallen van een azobématbetuining of van een steenbekleding met schanskorven gebeurd is, gaat uit van de veronderstelling dat het theoretische profiel ook zijn vorm behoudt zonder talud-

of bodemversterking. De vergelijking blijft dus louter theoretisch.

Bij bekledingen die voor taludversterking geplaatst worden, zoals betuiningen en steenbekledingen met schanskorven, oefent de wijziging van de natte doorsnede, als gevolg van de plaatsing van de oeverbekleding boven op het theoretische profiel, een grotere invloed uit op het afvoervermogen dan de wijziging in de wandruwheid. Logischerwijze is deze invloed groter naarmate het kleinere waterlopen betreft. Niettemin is het ook voor grotere waterlopen van belang de oorspronkelijke natte sectie te behouden, door de oeverbekledingen onder de theoretische taludlijn te plaatsen.

Bij bekledingen die specifiek geplaatst worden om de K_M -waarde te verbeteren, en aldus het afvoervermogen te verhogen, dient de snelheid over het gehele afvoerbeek voldoende groot te zijn om het oppervlak schoon te houden. De keuze van langsen dwarsprofiel laat toe een zekere invloed uit te oefenen op het afvoerloop in de waterloop opwaarts het beklede gedeelte.

De berekening van de invloed van oeverbekledingen op het afvoervermogen is gebeurd met aanname van gangbare K_M -waarden. Het feit dat de K_M -waarde als een verzamelingsfactor voor alle effecten die niet expliciet in de formule van STRICKLER-MANNING worden uitgedrukt, gebruikt wordt, brengt mee dat de K_M -waarde, binnen zekere grenzen, varieert; dit is zelfs zo voor stromingen in betonbuizen waar veranderingen in natte secties, begroeiing, enz. geen rol spelen, en waar toch nog een variatie van 20 % in K_M -waarde werd vastgesteld

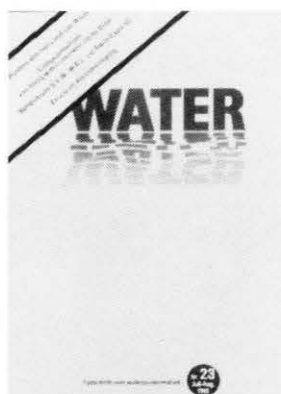
voor wisselende waterdiepten (VEN TE CHOW, 1959).

De mogelijke variaties van de K_M -waarde van een waterloop uit de praktijk, waar tevens andere factoren zoals aanzandingen, begroeiingen, vastmateriaaltransport, enz. een rol kunnen spelen, zijn nog groter. De aanname van de K_M -waarde is even belangrijk als de aanname van een afvoercoëfficiënt voor het verbeteringsontwerp van een waterloop of van een debiet voor het narekenen van de afvoerkapaciteit van een waterloop in zijn bestaande toestand.

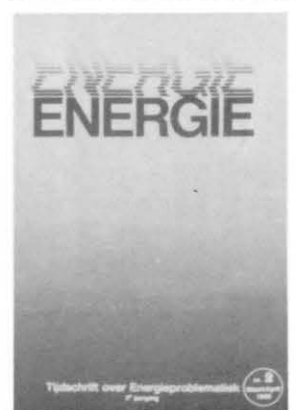
Het doel van limnigrafische waarnemingen beperkt zich meestal tot onderzoek van de afvoeren. Gelet op het belang van de K_M -waarde, en de grenzen waarbinnen ze kan variëren, zijn veldmetingen over een lange periode, en voor meerdere objecten gewenst. Literatuuronderzoek leert immers dat metingen van K_M -waarden relatief schaars en zeker niet recent zijn.

Literatuuropgave

VEN TE CHOW, 1959. Open-channel hydraulics. Mc Graw-Hill Book Company, Inc., London 680 p.



De tijdschriften WATER en ENERGIE worden uitgegeven door de vzw W.E.L. - Kipdorp 11, 2000 Antwerpen. Tel. 03/231.64.48
Een jaarabonnement kost 900 Fr. per tijdschrift voor 6 nummers.
Een abonnement op de 2 tijdschriften samen kost 1500 Fr. Bedrag te storten op rekening nr. 411-8026561-07 met vermelding WATER of ENERGIE of beiden.



inhoudsopgave van het tijdschrift ENERGIE nr. 3 - mei/juni 1987 :

- Energiebeheer in onze verzorgingsinstellingen d.m.v. een centraal energiebeheersysteem. (L. Wullaert)
- Evolutie van de Belgische Energiemarkt. (F. Possemiers en A. Dhaenens)
- Fotovoltaïsche zonnecellen. (M. Vandenkerckhove - Westinghouse)
- Gelijkspanningstransformatie met condensatorschakelingen. (J. Van Briel)