

# Stromingsweerstand van ooibos/struwelen

een studie t.b.v. het handboek voor stromingsweerstand uiterwaarde vegetatie

RIZA werkdocument: **2000.193 x**

Project: Handboek stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat, Directie Oost Nederland





# Stromingsweerstand van ooibos/struwelen

RIZA werkdocument 2000.193x

Auteur: ir. E.H. van Velzen

Kwaliteitsborging: ir. G.J. Klaassen (Delft Hydraulics)

RIZA

Arnhem, december 2000

## Inhoudsopgave

---

symbolen .....	4
Samenvatting.....	5
1 Inleiding.....	6
1.1 Probleemstelling.....	6
1.2 Doelstelling .....	6
2 Basisvergelijkingen.....	7
2.1 Basisvergelijking voor doorstroomde vegetatie .....	7
2.2 Huidige methode .....	10
2.3 Discussie.....	10
3 Weerstands-coëfficiënt Cd .....	11
4 Aangestroomd oppervlak .....	15
4.1 Aangestroomd oppervlak van bossen en struwelen .....	15
4.2 Zachthout ooibos .....	15
4.3 Hardhoutooibos .....	16
4.4 Struwelen .....	17
4.5 Discussie.....	18
5 Effecten van ondergroei.....	19
5.1 invloed van ondergroei .....	19
5.2 Discussie.....	21
6 Verificatie .....	22
6.1 Inleiding .....	22
6.2 Verificatie .....	22
6.3 Resultaat verificatie .....	25
7 Conclusies en aanbevelingen .....	27
7.1 Conclusies .....	27
7.2 Aanbevelingen .....	28
Referenties.....	29
Bijlagen.....	32
1 Inventarisaties ooibossen/struwelen .....	33

### Lijst met figuren

Figuur 1 laboratorium experimenten .....	14
Figuur 2 Geschematiseerd snelheidsverloop .....	19
Figuur 3 Invloed hoogte ondergroei .....	20
Figuur 4 Invloed grootte aangestroomd oppervlak .....	21
Figuur 5 Metingen Tisza (hongaarse publicatie) .....	25

### Lijst met tabellen

Tabel 1 n en D voor ooibos .....	10
Tabel 2 laboratoriumexperimenten .....	13
Tabel 3 Aangestroomd oppervlak zachthoutooibos .....	16
Tabel 4 Aangestroomd oppervlak jong wilgenbos .....	16
Tabel 5 Aangestroomd oppervlak hardhoutooibos .....	17
Tabel 6 Aangestroomd oppervlak wilgenstruweel .....	17
Tabel 7 Aangestroomd oppervlak doornstruweel .....	17
Tabel 8 Verschillen .....	18
Tabel 9 Duitse benadering .....	18
Tabel 10 Petryk & Bosmaïjan .....	23
Tabel 11 Benini (1979) .....	24
Tabel 12 Tisza .....	25
Tabel 13 Aanbevolen karakteristieken .....	26

# symbolen

$A$	aangestroomd oppervlak van het element	[m <sup>2</sup> ]
$A_v$	aangestroomd oppervlak vegetatie	[m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]
$A_r$	representatief aangestroomd oppervlak	[m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]
$A_{vo}$	aangestroomd oppervlak ondergroei	[m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]
$A_{vb}$	aangestroomd oppervlak ooibos	[m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]
$a_x$	onderlinge afstand begroeiingselementen in stroomrichting	[m]
$a_y$	onderlinge afstand begroeiingselementen dwars op stroomrichting	[m]
$C_d$	weerstandscoefficiënt (drag coëfficiënt)	[-]
$C_r$	representatieve Chézy waarde	[m <sup>1/2</sup> /s]
$C_b$	Chézy waarde van de bodem:	[m <sup>1/2</sup> /s]
$D$	kleinste afmeting van het element loodrecht op de stromingsrichting	[m]
$d_p$	in stromingsrichting geprojecteerde breedte van een begroeiingselement	[m]
$F_g$	kracht als gevolg van de zwaartekrachtscomponent in stroomrichting	[N]
$F_v$	kracht door de vegetatie uitgeoefend op het water	[N]
$F_s$	kracht ten gevolge van de bodemschuifspanning	[N]
$F$	kracht door water op element uitgeoefend (dragforce)	[N]
$i$	verhang	[-]
$u(z)$	stroomsnelheid op hoogte $z$	[m/s]
$u_0$	ongestoorde stroomsnelheid	[m/s]
$\nu$	kinematische viscositeit	[m <sup>2</sup> /s]
$\rho$	dichtheid water	[kg/m <sup>3</sup> ]

## Samenvatting

---

Directie Oost Nederland heeft het RIZA gevraagd de huidige methode, die wordt gehanteerd bij het berekenen van de stromingsweerstand van ooibos en struwelen, aan een kritische beschouwing te onderwerpen, met speciale aandacht voor het effect van ondergroei op de stromingsweerstand. De huidige methode, die in het 2D waterbewegingsprogramma WAQUA wordt gebruikt is nader geanalyseerd. De huidige methode is nog steeds up to date , maar is niet volledig. Er wordt geen rekening gehouden met ondergroei. De methode blijkt echter eenvoudig geschikt te maken voor toepassing bij ooibos met ondergroei. Het effect van ondergroei op de stromingsweerstand van ooibos is vooral bij kleine waterdiepten groot. Verder blijkt uit de studie dat zowel de weerstandscoefficiënt  $C_d$  als het aangestroomde oppervlak van de diverse bosvegetaties enige aanpassing behoeven.

# 1 Inleiding

---

## 1.1 Probleemstelling

In opdracht van Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland wordt onder regie van het RIZA een handboek samengesteld dat de stromingsweerstand beschrijft van vegetatie in uiterwaarden. Eén van de vegetatievormen die verwacht wordt veel voor te komen is ooibos. Er wordt onderscheid gemaakt in zachthout ooibos en hardhout ooibos. De weerstandsformulering van ooibos is in algemeenheid goed bekend. Door Klaassen en van de Zwaard (1974) is de formulering het eerst beschreven. Later is door van Urk (1983) de formulering die voor fruitboomgaarden is opgezet geschikt gemaakt voor ooibos. Het effect van de ondergroei van ooibos is in deze formulering echter niet meegenomen. Directie Oost Nederland heeft het RIZA gevraagd de huidige methode die wordt gehanteerd bij het berekenen van de hydraulische weerstand van ooibos *aan een kritische beschouwing te onderwerpen, met speciale aandacht voor het effect dat de ondergroei hierop heeft.*

## 1.2 Doelstelling

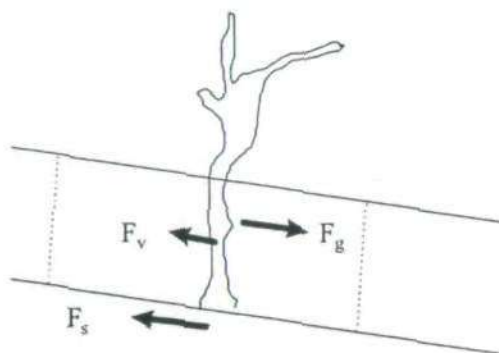
Het beschrijven van een goede methode voor het bepalen van de stromingsweerstand van ooibos.

## 2 Basisvergelijkingen

### 2.1 Basisvergelijking voor doorstroomde vegetatie

Naar analogie met Klaassen en van de Zwaard (1974) en zoals later Petryk en Bosmajian (1975) hebben gedaan kan de basisvergelijking voor doorstroomde vegetatie worden afgeleid uit een krachtenbalans (figuur 1).

Figuur 1 definitieschets



In de veronderstelling dat er uniforme stromingscondities optreden, moet gelden:

$$F_g - F_v - F_s = 0 \quad (1)$$

$F_g$  = kracht als gevolg van de zwaartekrachtscomponent in stroomrichting

$F_v$  = kracht door de vegetatie uitgeoefend op het water

$F_s$  = kracht ten gevolge van de bodemschuifspanning

- Kracht door de vegetatie uitgeoefend op het water

Stromend water ondervindt door stroming om een tak, stam of ander vegetatie-element een kracht (eng: dragforce). Op een willekeurig element, in stromend water geplaatst, werkt een kracht volgens:

$$F = \frac{1}{2} \rho A u_0^2 C_d \quad (13)$$

$F$  = kracht door water op element uitgeoefend (dragforce)

[N]

$\rho$  = dichtheid water

[kg/m<sup>3</sup>]

$A$  = aangestroomd oppervlak van het element

[m<sup>2</sup>]

$u_0$  = ongestoorde stroomsnelheid

[m/s]

$C_d$  = weerstandscoefficiënt (drag coefficient)

[ - ]

Vegetatie kan worden opgevat als een grote verzameling afzonderlijke elementen in de stroming en daarom mag verwacht worden dat formule 13 ook geldig is voor ooibos. Het aangestroomd oppervlak  $A$  wordt dan gevormd door de som van alle afzonderlijke aangestroomde oppervlakken (takken, stam, blad) van de vegetatie.

In het geval van doorstroomde vegetatie kan de bodemwrijving al snel verwaarloosd worden t.o.v. de kracht uitgeoefend door de vegetatie (engels: drag-force). Daarom wordt in het navolgende aangenomen dat de kracht op de vegetatie evenwicht moet maken met de zwaartekracht component van het water in stromingsrichting.

$$\rho \cdot g \cdot i = 1/2 \rho \cdot C_d \cdot u^2(z) \cdot A_v \quad (2)$$

$$u(z) = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot i}{A_v \cdot C_d}} \quad (3)$$

$\rho$  = dichtheid water

[kg/m<sup>3</sup>]

$i$  = verhang

[ - ]

$C_d$  = weerstandscoefficiënt

[ - ]

$u(z)$  = stroomsnelheid

[m/s]

$A_v$  = aanstromend oppervlak vegetatie per m. hoogte  
en per m<sup>2</sup> grondoppervlak

[m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>/m']

In het algemeen zal ook het aanstromend oppervlak in hoogte variëren, dus:

$$A_v = A_v(z)$$

Voor het debiet per strekkende meter geldt:

$$q = \int_0^h u(z) d(z) = \int_0^h \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot i}{A_v(z) \cdot C_d}} d(z) \quad (4)$$

Deze vergelijking kan in dezelfde vorm worden geschreven als de vergelijking van Chezy:

$$q = h \cdot C_r \sqrt{h i} \quad (5)$$

met  $C_r$  = representatieve Chézy waarde

(m<sup>1/2</sup>/s)

$h$  = waterdiepte

(m)

zodat:

$$C_r = \frac{\int_0^h \sqrt{\frac{2 \cdot g}{A_v(z) \cdot C_d}} d(z)}{h \cdot \sqrt{h}} \quad (6)$$

Gebruiken we voor het aangestroomd oppervlak een gemiddelde waarde over de diepte ( $A_r$ ) dan wordt (6):

$$C_r = \frac{2 \cdot g}{A_r \cdot h \cdot C_d} \quad (7)$$

$$\text{met } A_r = \frac{\int_0^h A_v dz}{h}$$

en voor de gemiddelde stroomsnelheid wordt gevonden:

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{2 \cdot g}{A_r \cdot h \cdot C_d}} \cdot \sqrt{h \cdot i} \quad (8)$$

Bijna alle in de literatuur genoemde basisvergelijkingen zijn terug te brengen tot vergelijking 7 of 8. Het verschil tussen deze en de in de literatuur genoemde vergelijkingen zijn meestal een gevolg van het gebruik van een andere bodemruwheidformulering bijv. Manning i.p.v. de in Nederland gebruikelijke formule van Chezy.

Wordt de bodemwrijving niet verwaarloosd dan kan voor (8) worden geschreven:

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{1}{\frac{A_r \cdot h \cdot C_d}{2g} + \frac{1}{C_b^2}}} \cdot \sqrt{h \cdot i} \quad (9)$$

met  $C_b$  = Chézy waarde van de bodem: ( $m^{1/2}/s$ )

$$C_b = 18 \log\left(\frac{12h}{k_b}\right) \quad (10)$$

met:  
 $k_b \approx$  Nikuradse zandruwheid van de bodem (m)

De representatieve Chézy-waarde wordt dan:

$$C_r = \sqrt{\frac{1}{\frac{A_r \cdot h \cdot C_d}{2g} + \frac{1}{C_b^2}}} \quad (11)$$

## 2.2 Huidige methode

Op dit moment wordt in het 2D waterbewegingsmodel WAQUA vergelijking (11) gebruikt voor de berekening van de stromingsweerstand van ooibos en struweel. Voor  $C_b$  wordt de Chézy waarde van gras gebruikt. Voor de verschillende coëfficiënten worden de volgende waarden gehanteerd (van Dixhoorn 1999) :

$$C_d = 1.65 \text{ (aanbevolen door van Urk, 1983)}$$

en het aantal bomen per m<sup>2</sup> en de diameter van de bomen is voor ooibos aangegeven in tabel 1.

$A_r$  van vergelijking 11 kan dan worden berekend met:

$$A_r = n \cdot D \quad (12)$$

Tabel 1 n en D voor ooibos

	n	D
zacht hout ooibos	0.125	0.2
hard hout ooibos	0.0625	0.4
struweel	0.125	0.2

Deze (voorlopige) waarden, dienen nader geverifieerd te worden.

## 2.3 Discussie

In vergelijking 11 is het effect van ondergroei indirect meegenomen via de Chézy coëfficiënt van de bodem  $C_b$ . De vraag is of dit de goede methode is om het effect van ondergroei in rekening te brengen en zo ja, welke  $k_b$  waarde representatief is voor ondergroei.

Ten aanzien van vergelijking 11 blijven drie vragen bestaan:

- welke weerstands-coëfficiënt  $C_d$  dient te worden gekozen?
- welke  $A_r$  dient te worden gekozen voor ooibos, struwelen etc.?
- hoe kan de invloed van ondergroei het best tot uitdrukking worden gebracht?

### 3 Weerstandscoefficiënt $C_d$

In paragraaf 2.1 is aangegeven dat voor de kracht op een willekeurig in stromend water geplaatst element geldt:

$$F = \frac{1}{2} \rho A u_0^2 C_d \quad (13)$$

De weerstandscoefficiënt  $C_d$  is afhankelijk van kenmerken van het aangestroomde element en van kenmerken van de waterstroming:

- de ruwheid van het oppervlak van het element
- de vorm van het element
- dichtheid en rangschikking van de elementen in de stroming
- type stroming uitgedrukt in een getal van Reynolds (maat voor de turbulentie van de stroming en bepalend voor de grenslaag ontwikkeling rond het element)

Omdat de  $C_d$  waarde zo'n belangrijke rol speelt in de weerstand van vegetatie wordt meer in detail ingegaan op factoren waar de  $C_d$  waarde van afhankelijk is. Het betreft hier: de ruwheid van het oppervlak, de vorm van het "element", de dichtheid en rangschikking van de elementen en de stroming rond de elementen.

- oppervlakte ruwheid van het aangestroomd element (tak, stam)

In het algemeen is de weerstand ten gevolge van wrijving te verwaarlozen ten opzichte van de weerstand die ontstaat door drukgradiënten langs het oppervlak van het element. Alleen bij elementen met een zeer groot wrijvingsoppervlak t.o.v. het aangestroomde oppervlak is het belangrijk rekening te houden met wrijvingseffecten. Een neveneffect van oppervlakteruwheid is dat de plaats waar de stroomlijnen het element loslaten erdoor wordt beïnvloed. Dit heeft weer direct invloed op de drukgradiënten rondom het element en dus op de weerstand. Een bekend fenomeen is dat een golfballetje dat licht ruw is gemaakt minder weerstand in de lucht ondervindt dan een glad golfballetje. Dit is een gevolg van het verschuiven van het loslaatpunt van de stroomlijnen.

- vorm van het element

De vorm van het element bepaalt in belangrijke mate de drukgradiënt langs het element en de plaats waar de stroomlijnen het element loslaten. De vorm is dus van groot belang voor de weerstandscoefficiënt  $C_d$ .

- dichtheid en rangschikking elementen

Het is mogelijk dat de ene tak of stam in de stroomschaduw staat van een andere tak of stam. Deze zg. schaduwwerking wordt soms meegenomen in de weerstandscoefficiënt  $C_d$ . Bij grote elementdichtheden zal de  $C_d$  coëfficiënt dan afnemen. Zo heeft (Li&Shen, 1973) met laboratoriumproeven vastgesteld dat, bij precies achter elkaar geplaatste cilindervormige elementen met een

verhouding tussen de diameter en de onderlinge afstand van 0.1, de Cd waarde gereduceerd wordt van 1 naar 0.7.

Als meerdere elementen zich achter elkaar in de stroming bevinden beïnvloeden de wervels die achter de voorste elementen ontstaan de stroming rondom de daarachter gelegen elementen. De gemiddelde stroomsnelheid bij de achterliggende elementen is daardoor kleiner dan die bij de voorliggende elementen. Men spreekt in dat geval daarom vaak van "schaduwwerking". Li en Shen geven een complexe rekenmethode om bij verschillende patronen van achter elkaar geplaatste cilinders de lokale snelheid te berekenen. Deze methode is echter te bewerkelijk voor praktische toepassing.

Op basis van laboratorium en veldexperimenten van Sokolov (Meursing 1995) kan worden afgeleid dat indien de verhouding tussen de onderlinge afstand van de elementen en de diameter van de elementen groter is dan 30 er geen merkbare invloed van de schaduwwerking meer aanwezig is. In (WL 1998) zijn structuurgegevens opgenomen verkregen uit verschillende veldinventarisaties. Hieruit is globaal bovengenoemde verhouding te berekenen voor verschillende vegetatiesoorten:

	maximaal	minimaal
wilgenbos	17	10
essen-iepenbos	21	14
wilgenstruweel	17	13
meidoornstruweel	6	slechts 1 waarneming
griend	24	14
jong wilgenbos	40	15
riet	13	15

Op basis van deze getallen zou schaduwwerking toch enige betekenis moeten hebben. Omdat de natuur in het algemeen een "staggered" patroon heeft en de takjes en stammen niet precies achter elkaar staan, wordt de invloed van schaduwwerking toch niet al te hoog ingeschat.

- stroming

De  $C_d$  coëfficiënt blijkt sterk afhankelijk te zijn van de grenslaagstroming rond het element gekarakteriseerd door het Reynoldsgetal betrokken op het element. Dit Reynoldsgetal is daarbij gedefinieerd als :

$$Re = \frac{u_0 D}{\nu} \quad (19)$$

D = kleinste afmeting van het element  
loodrecht op de stromingsrichting  
[m]

$\nu$  = kinematische viscositeit [m<sup>2</sup>/s]

Bij lage Reynoldsgetalen is de grenslaag stroming rond het element laminair en bij hogere Reynoldsgetalen is de grenslaag stroming turbulent. Voor de Nederlandse omstandigheden zal het Reynoldsgetal voornamelijk in het gebied tussen  $10^3$  en  $10^5$  liggen. In dat gebied mag de Cd waarde globaal als een constante worden beschouwd.

Het is dus duidelijk dat de weerstandscoefficiënt  $C_d$  van vele factoren afhankelijk is. In de praktijk geeft men er de voorkeur aan om met een constante  $C_d$  coëfficiënt te werken.

De vraag is welke waarde voor de dragcoëfficiënt nu in de praktijk genomen moet worden. Voor een gladde ronde cilinder wordt in het voor uiterwaarden karakteristieke Reynoldsgebied ( $10^3 - 10^5$ ) een  $C_d$  waarde gevonden van 1,1 à 1,2.

In figuur 2 zijn de resultaten van verschillende laboratorium experimenten met kunstmatige en natuurlijke vegetatie (tabel 2) uitgezet.

Tabel 2 laboratoriumexperimenten

experiment	vegetatie-element	diameter	aantal	waterdiepte
		[m]	1/m <sup>2</sup>	m
Li&Shen (1973)	gladde cilinders	0,1524	0,22/0,43	0,37-0,65
Tsujimoto (1990)	bamboe staafjes	0,0015	2500	0,03-0,04
Lindner (1982)	kunststof cilinders	0,01	50/55/66	0,02-0,13
Dorst (1995)	kunststof cilinders	0,009	400	ca 0,30m
Kaiser (1984)	houten cilinders	0,021	100/50	0,06-0,33
Klaassen &vd Zwaard (1970)	ligustrum struikjes	ca 0,02	12,5/8,33	0,05-0,30

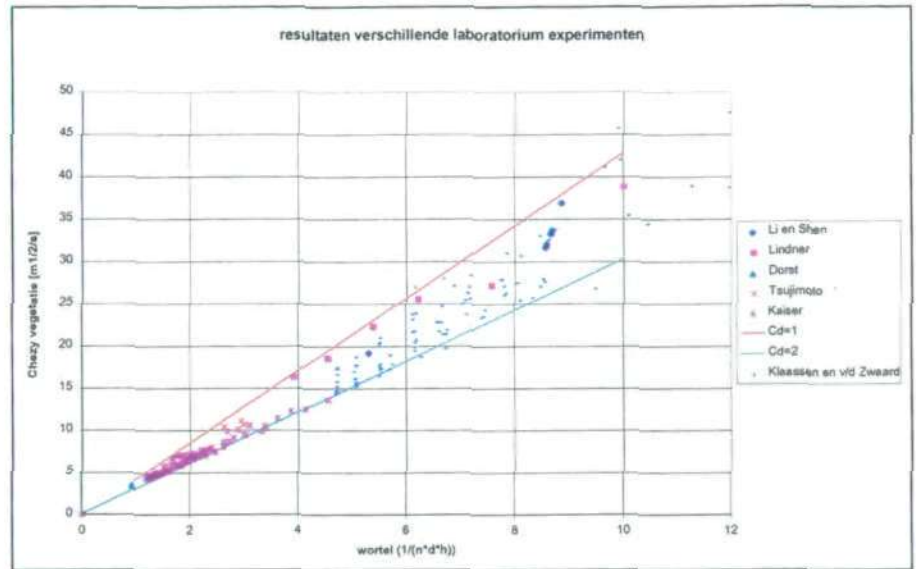
Gebruik makend van de vergelijkingen (7) en (12) kan worden afgeleid

$$C_r = \frac{1}{\sqrt{C_d}} \cdot \sqrt{2g} \cdot \frac{1}{\sqrt{n \cdot D \cdot h}} \quad (20)$$

Bij gegeven  $n$ ,  $D$  en waterdiepte  $h$  en uit metingen afgeleide  $C_r$  kan de  $C_d$  worden afgeleid.

De resultaten vallen binnen de lijnen die het gebied markeren tussen een weerstandscoefficiënt van 1 en 2.

Figuur 1 laboratorium experimenten



In Duitse handboeken (BWK (1997), DVWK (1991) worden als grenzen van de Cd waarde 0,6 en 2,4 opgegeven. In deze handboeken wordt aangeraden met een Cd waarde van 1,5 te rekenen.

In van Urk (1983) wordt aanbevolen de te gebruiken Cd waarde te verhogen van 1.52, gebaseerd op modelproeven (v/d Zwaard 1970), naar 1.65. Dit is aanbevolen om het effect van vertakking boven de stam in rekening te brengen. Er werd verondersteld dat het aangestroomde oppervlak ten gevolge van vertakkingen toe zou nemen. In den Ouden (1993) is, uit een uitgebreide inventarisatie van ooibossen, dit effect niet zo duidelijk gebleken. Anderzijds zijn er zoveel effecten die de Cd waarde beïnvloeden dat de Cd waarde niet kan worden afgeleid uit één serie modelproeven.

Daarom wordt, overeenkomstig de Duitse aanbeveling, aanbevolen met een weerstandscoefficiënt  $C_d$  van 1.5 te rekenen.

## 4 Aangestroomd oppervlak

### 4.1 Aangestroomd oppervlak van bossen en struwelen

Onder het aangestroomd oppervlak wordt verstaan het oppervlak dat ontstaat bij de afzonderlijke projectie van alle stammetjes en takjes in 1 m<sup>3</sup> meter bos op een verticaal vlak van 1 m<sup>2</sup>.

Het zal duidelijk zijn dat dit lastig te meten is. In het geval van stammen gaat het nog wel, maar als de boom sterk vertakt is, is dit moeilijk.

In een studie verricht door (den Ouden, 1993) is gebruik gemaakt van diverse vertakkingsmodellen. Met behulp van deze modellen is het aangestroomde tak- en stamoppervlak op verschillende hoogten en voor diverse begroeiingen bepaald. Deze modellen houden rekening met de invloed van de vertakkingsstructuur (soort-afhankelijk) op het aangestroomde oppervlak in de diverse hoogte-intervallen.

Veel andere in de literatuur genoemde waarden van het aangestroomd oppervlak ( $A_r$ ) zijn afgeleid door de inverse van vergelijking 12 te gebruiken. Kortom welke  $A_r$  zou men in vergelijking 12 moeten invullen om bijv. de gemeten stroomsnelheden of afvoeren in een bepaald bosgebied te verklaren. De in navolgende paragrafen gepresenteerde getallen gelden voor winteromstandigheden, het bladerdek is niet in het aangestroomd oppervlak meegenomen.

### 4.2 Zachthout ooibos

Zachthoutooibos is een natuurlijk bos waarin combinaties van zachthoutsoorten voorkomen. De schietwilg is dominant aanwezig. In het beginstadium van wilgenbos kunnen ook andere wilgensoorten voorkomen zoals katwilg en amandelwilg, deze handhaven zich bij verdergaande ontwikkeling alleen aan de bosrand. Daarnaast kunnen ook populieren (m.n. zwarte populier) voorkomen. Omdat in het algemeen wilgen en zwarte populieren kiemen op kaal substraat (WL, 1998) kennen wilgenbossen vaak een monotone leeftijdsopbouw. De structuurkenmerken zijn sterk afhankelijk van de leeftijd van het bos. Het aangestroomd oppervlak van jong wilgenbos is erg hoog, vergelijkbaar met wilgenstruweel.

Voor volwassen zachthoutooibos heeft den Ouden (1993) voor vijf proefgebieden het aangestroomd oppervlak als functie van de waterdiepte bepaald (bijlage 1).

Hieruit blijkt dat de het verloop van het gemiddelde aangestroomd oppervlak langzaam afneemt met toenemende waterdiepte. Volwassen wilgenbos heeft een extra hoge dichtheid in de onderste 1,5 meter. Dit is met name het gevolg van de aanwezigheid van dood hout in de onderlaag.

In de literatuur is voor een beperkt aantal gebieden aanvullende informatie gevonden:

(De Graaf et al (1990); bron: WL 1998)

Kekerdome waarde	$A_v = 0.016$	(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
------------------	---------------	-----------------------------------

Groenlanden	Av=0.027	(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
Gendtse waard	Av=0.033	(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
Winssense Waard	Av=0.055	(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )

**(Ritterbach ,1991: bijlage 1)**

Taubergiessen	min. Av=0.021	(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
	gem.Av=0.027	(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
	max.Av=0.036	(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )

Met de inventarisatie van den Ouden en bovenstaande aanvullende informatie worden de volgende gemiddelde waarden gevonden voor het aangestroomd oppervlak (Ar). Voor de waarden van (den Ouden, 1993) is het aangestroomd oppervlak gebruikt bij een waterdiepte van 4 m. Van de aanvullende gegevens is geen hoogte bekend.

Tabel 3 Aangestroomd oppervlak zachthoutooibos

**volwassen zachthout ooibos**

<i>minimaal</i>	<i>gemiddeld</i>	<i>maximaal</i>	
0.014	0.028	0.055	(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )

Jonge wilgen blijken bijzonder hoge A<sub>v</sub> waarden bereiken en laten zeer veel spreiding zien. In klaarblijkelijk goede groeicondities blijken extreem grote aantallen wilgen per m<sup>2</sup> te kunnen groeien. Dit laatste is in diverse inventarisaties gebleken en leidt dikwijls tot extreem hoge A<sub>v</sub> waarden (bijlage 1). Behalve dat jonge wilgen een grote gemiddelde en maximale A<sub>v</sub> waarde laten zien blijkt uit de inventarisaties dat, in klaarblijkelijk minder goede omstandigheden, ook lage A<sub>v</sub> waarden in dit begroeiingstype mogelijk zijn. Het pionierskarakter van dit vegetatietype uit zich in de grote spreiding van de A<sub>v</sub> waarden.

Jong wilgenbos kan worden opgevat als wilgen struweel.

Tabel 4 Aangestroomd oppervlak jong wilgenbos

**jong wilgenbos**

<i>minimaal</i>	<i>gemiddeld</i>	<i>maximaal</i>	
0.011	0.051	0.10	(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )

### 4.3 Hardhoutooibos

De dominante soorten van hardhout ooibos in de Nederlandse uiterwaarden zullen zijn Gladde Iep, Gewone Es en de Zomereik (WL, 1998, den Ouden 1993). Gewone Esdoorn en Steel-iep komen ook voor.

Den Ouden heeft voor twee proefgebieden het aangestroomd oppervlak als functie van de waterdiepte geïnventariseerd (bijlage 1).

Het verloop van essen/iepenbos is redelijk constant met de hoogte en de spreiding ervan is niet groot. Dit is met name te wijten aan het feit dat door den Ouden slechts twee essen/iepenbossen zijn geïnventariseerd. In de onderste 1,5 meter zien we een verhoogde dichtheid. Dit is weer met name het gevolg van de aanwezigheid van dood hout in de onderlaag.

Voor de waarden van (den Ouden, 1993) is het aangestroomd oppervlak gebruikt bij een waterdiepte van 4 m. Van de aanvullende gegevens is geen hoogte bekend.

(Ritterbach, 1991: bijlage 1)

Taubergiessen

minmaal	0.022 (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
maximaal	0.062 (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
gemiddeld	0.037 (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )

Tabel 5 Aangestroomd oppervlak  
hardhoutooibos

hardhout ooibos

<i>minimaal</i>	<i>gemiddeld</i>	<i>maximaal</i>	
0.014	0.023	0.062	(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )

4.4 Struwelen

Struwelen komen in het Nederlandse rivierengebied veelal voor in de vorm van lintvormige hagen (WL 1998). Het is bekend dat meidoornhagen tijdens hoogwater veel drijvend vuil invangen (Klaassen en v/d Zwaard 1974), waardoor de stromingsweerstand toeneemt.

We onderscheiden wilgenstruwelen en doornstruwelen.

*Wilgenstruwelen*

Wilgenstruwelen bestaan voornamelijk uit Amandelwilg en katwilg. Onder natuurlijke omstandigheden komen wilgenstruwelen voor op lokaties waar zich in een eerder stadium Schietwilgen hebben kunnen vestigen. Veel struwelen zijn voormalige grienden of zijn aangeplant voor struweelvorming.

Jong wilgenbos heeft een vergelijkbare structuur als struweel. Uit de literatuur (den Ouden 1993 en WL 1998) zijn de volgende waarden afgeleid voor wilgenstruweel (inclusief jong wilgenbos)

Tabel 6 Aangestroomd oppervlak  
wilgenstruweel

wilgenstruweel

<i>kenmerk</i>	<i>minimaal</i>	<i>gemiddeld</i>	<i>maximaal</i>	
Av	0.011	0.13	0.5	(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
hoogte	1.5	5	10	(m)

*Doornstruwelen*

Meidoornstruwelen en Sleedoorn zijn in de Nederlandse uiterwaarden aanwezig als hagen. Natuurlijke doornstruwelen zijn schaars. Er bestaat slechts een meer indicatieve opname van het aanstromend oppervlak van meidoorn. Er is een indicatieve spreiding aangenomen van 50%.

Tabel 7 Aangestroomd oppervlak  
doornstruweel

doornstruweel

<i>kenmerk</i>	<i>minimaal</i>	<i>gemiddeld</i>	<i>maximaal</i>	
Av	0.08	0.17	0.35	(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
hoogte	3	4.5	6	(m)

4.5 Discussie

De verschillen tussen de gemiddelde waarden uit de inventarisaties en de op dit moment door Directie Oost Nederland gehanteerde waarden voor ooibos en struwelen (van Dixhoorn, 1999) zijn in onderstaande tabel samengevat.

Tabel 8    Verschillen

Aanstromend opp. A <sub>r</sub>	huidig	inventarisaties
zachthout ooibos	0.025	0.028 (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
hardhout ooibos	0.025	0.023
wilgen struweel	0.025	0.13
doorn struweel	0.025	0.17

De inventarisaties leveren voor zachthout ooibos en hardhout ooibos ongeveer dezelfde waarden als die nu worden gebruikt. Echter voor jong wilgenbos en voor struwelen leveren de inventarisaties aanzienlijk hogere waarden op voor het aangestroomd oppervlak.

Hier dient echter wel een aantal kanttekeningen bij geplaatst te worden:

- Voor struwelen is het aantal inventarisaties beperkt, voor doornstruweel heeft men slechts één indicatieve waarde.
- Jonge wilgenbossen zijn hier ook als struweel opgevat.

In Duitse handboeken wordt vergelijking (7) aanbevolen om de representatieve Chezy waarde te bepalen. Voor A<sub>r</sub> wordt echter gebruik gemaakt van :

$$A_r = \frac{d_p}{a_x \cdot a_y}$$

(21)

met:

d<sub>p</sub> = in stromingsrichting geprojecteerde breedte van een begroeiingselement

a<sub>x</sub> = onderlinge afstand begroeiingselementen in stroomrichting

a<sub>y</sub> = onderlinge afstand begroeiingselementen dwars op stroomrichting

Deze representatieve waarden zijn om te rekenen naar een representatief aangestroomd oppervlak A<sub>r</sub>. In tabel 8 zijn de waarden, overgenomen uit ( DVWK 1991), gepresenteerd.

Tabel 9    Duitse benadering

begroeiingstype		d	a <sub>x</sub>	a <sub>y</sub>	A <sub>r</sub>
		m	m	m	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
wilgenstruweel	eenjarig	0.03	0.25-0.35	0.25-0.35	0.48-0.24
	volwassen	0.03-0.06	0.15-0.25	0.15-0.25	1.3-0.1
bomen	els:5 jarig	0.04-0.1	1.0-5.0	1.0-5.0	0.04-0.004
	els:volwassen	0.15-0.5	3.0-10.0	3.0-10.0	0.017-0.005
	alleen stam	0.5-1.0	10.0-20.0	10.0-20.0	0.005-0.0025
losstaande struiken	volwassen	3.5	3.5-10	3.5-10	0.29-0.035
boomgroepen	volwassen	1.0	10.0	10.0	0.01

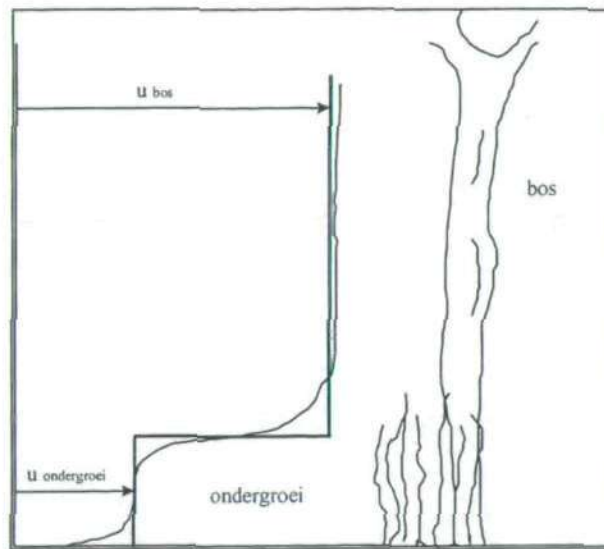
Voor wilgestruweel worden ook hier relatief hoge waarden gevonden voor het aangestroomd oppervlak. Verder blijkt hier ook dat de spreiding in A<sub>r</sub> waarden erg groot is.

## 5 Effekten van ondergroei

### 5.1 invloed van ondergroei

Natuurlijke bossen hebben afhankelijk van het lichtklimaat, vochtigheid en bodemsamenstelling in meer of mindere mate ondergroei. Het effect van ondergroei zal daarom aan vergelijking (7/11) toegevoegd moeten worden. In het algemeen heeft ondergroei een relatief hoog aanstromend oppervlak. De bodemruwheid kan daarom verwaarloosd worden. Indien we het snelheidsprofiel geschematiseerd weergeven zou dat er uitzien als in figuur 3.

Figuur 2 Geschematiseerd snelheidsverloop



In principe is voor de ondergroei vergelijking 4 van toepassing, met dien verstande dat ingeval van ondergroei de  $A_v$  van het bos en de  $A_v$  van ondergroei (resp.  $A_{vb}$  en  $A_{vo}$ ) opgeteld dienen te worden.

Er geldt dan voor het geval dat de waterdiepte < hoogte ondergroei:

$$q = \int_0^h u(z) \cdot dz = \int_0^h \frac{2 \cdot g \cdot i}{(A_{vo} + A_{vb}) \cdot C_d} \cdot dz \quad (14)$$

en voor de representatieve Chézy-waarde :

$$C_r = \frac{2 \cdot g}{(A_{vo} + A_{vb}) \cdot h \cdot C_d} \quad (15)$$

En voor waterdiepte > hoogte ondergroei:

$$q = \int_0^h u(z).dz = \int_0^k \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot i}{(A_{vo} + A_{vb}) \cdot C_d}} dz + \int_k^{h-k} \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot i}{A_{vb} \cdot C_d}} dz \quad (16)$$

en identiek met voorgaande voor de representatieve Chézy-waarde :

$$C_r = \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot g}{(A_{vo} + A_{vb}) \cdot C_d}} \cdot k + \sqrt{\frac{2 \cdot g}{A_{vb} \cdot C_d}} \cdot (h - k)}{h \cdot \sqrt{h}} \quad (17)$$

met:  $k$  = hoogte ondergroei (m)

en de gemiddelde snelheid kan voor beide gevallen worden uitgerekend met:

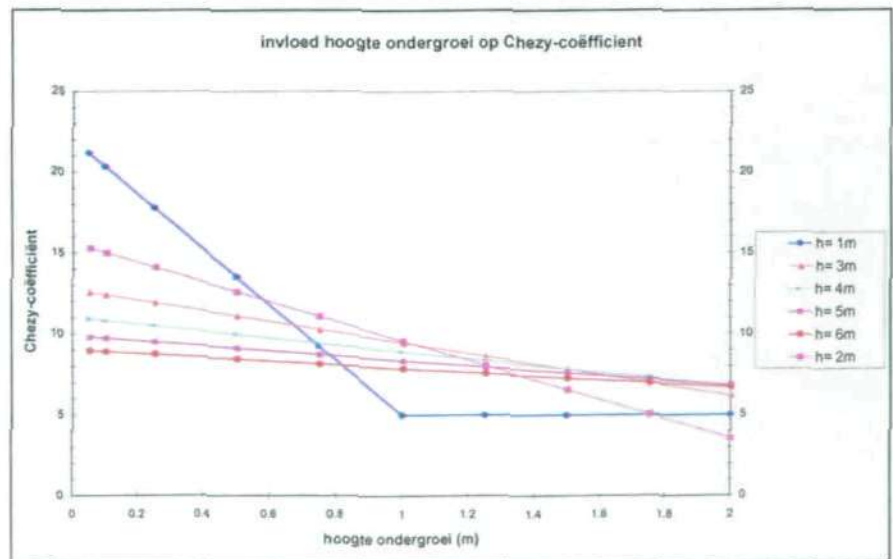
$$\bar{u} = h \cdot C_r \cdot \sqrt{h \cdot i} \quad (18)$$

Indien we omgevallen bomen, dode takken ook tot de "ondergroei" rekenen, dan is het aanstromend oppervlak van ondergroei vrij groot t.o.v. het aangestroomde oppervlak van het ooibos zelf. Uit een analyse van bovenstaande vergelijkingen (figuur 4 en 5) blijkt dat bij een wat grotere aanstromend oppervlak, de hoogte van de ondergroei veel belangrijker wordt dan de grootte van het aanstromend oppervlak ervan. In de figuren is de gevoeligheid van de representatieve Chézy-coëfficiënt voor de hoogte van de ondergroei en het aangestroomd oppervlak  $A_v$  onderzocht t.o.v. de volgende basiskarakteristieken:

aanstromend oppervlak ondergroei:	$A_{vo} =$	0.5	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> /m')
aanstromend oppervlak bos	$A_{vb} =$	0.027	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> /m')
hoogte ondergroei	$k =$	0.5	(m)
drag coëfficiënt	$C_d =$	1.5	(-)
waterdiepte	$h =$	4	(m)

In figuur 4 is de gevoeligheid voor de hoogte van de ondergroei weergegeven.

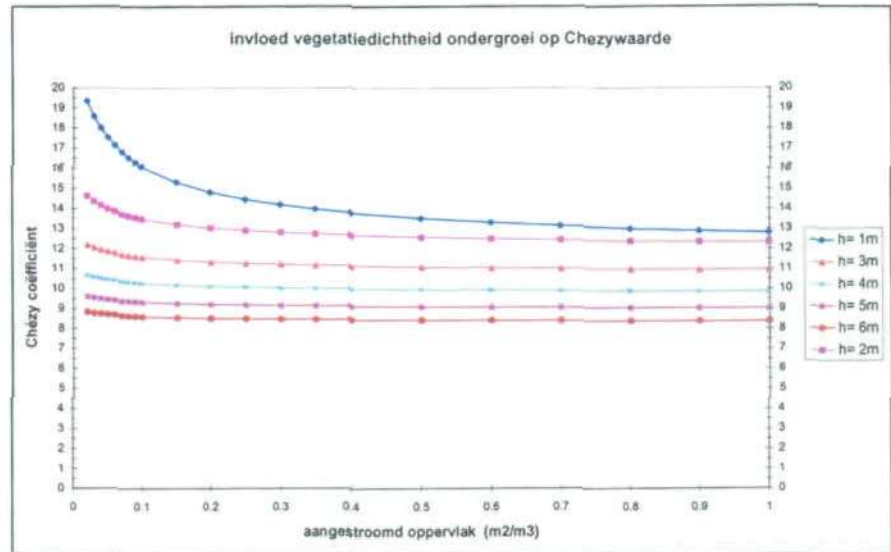
Figuur 3 Invloed hoogte ondergroei



De hoogte van de ondergroei is daarbij gevarieerd van 0 - 2 m.

In figuur 5 is de gevoeligheid van de grootte van het aangestroomd oppervlak van de ondergroei weergegeven. Het aangestroomd oppervlak is daarbij gevarieerd van 0 - 1 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

Figuur 4 Invloed grootte aangestroomd oppervlak



## 5.2 Discussie

Er is nooit specifiek onderzoek uitgevoerd naar de weerstandskarakteristieken van ondergroei in ooibos. Waarschijnlijk zal het van bos tot bos en van plaats tot plaats sterk verschillen. Daarnaast speelt het beheer ook een belangrijke rol: *ligt er bijvoorbeeld veel dood hout of juist niet. Het is dus lastig om inschattingen te maken van die karakteristieken.*

Het is verstandig om er voorlopig van uit te gaan dat het aanstromend oppervlak van ondergroei (inclusief dood hout) relatief groot is.

In figuur 5 is te zien dat voor waarden  $A_o > 0.2 \text{ m}^2/\text{m}^3$  de representatieve Chézy waarde nauwelijks meer toeneemt (ter vergelijking: riet heeft een aangestroomd oppervlak gemiddeld van ongeveer 1).

Voorlopig zal worden uitgegaan van een waarde tussen de 0.2 en 0.5. Voor de grootte van de effecten maakt het nauwelijks iets uit of er nu voor 0.2 of voor 0.5 wordt gekozen, dit geldt zeker bij de grote waterdiepten die onder maatgevende omstandigheden voorkomen.

Het effect van de **hoogte** van de ondergroei op de ruwheid is aanzienlijk (figuur 4).

Ook hier is de keuze, bij gebrek aan informatie, lastig. Vooralsnog wordt ervan uit gegaan dat zachthoutooibos (vochtige omstandigheden) hogere ondergroei heeft als hardhoutooibos.

Ook hier wordt tot het tegendeel is vastgesteld aangeraden uit te gaan van de volgende hoogte van de ondergroei:

zachthout ooibos:	0.4	m
hardhoutooibos:	0.25	m
struweel:	0.10	m

## 6 Verificatie

### 6.1 Inleiding

Gegeven de in de hoofdstukken 3, 4 en 5 aanbevolen waarden voor Cd, aangestroomd oppervlak en ondergroei kunnen m.b.v. van vergelijking 17 en 18 verificaties worden uitgevoerd op in de natuur gemeten situaties. Helaas zijn er nauwelijks bruikbare metingen beschikbaar en worden natuurmetingen gekenmerkt door grote onnauwkeurigheden. De mogelijkheden tot verificatie zijn dus beperkt.

### 6.2 Verificatie

Petryk & Bosmaïjan (1975)

Door Petryk & Bosmaïjan zijn voor 4 verschillende "ooibossen" de Manning waarde bepaald als functie van de hoogte. De "ooibossen werden" als volgt omschreven:

**Sadorus:** Een geulsectie met onregelmatige taluds en bodemhoogte. 1/3 van de sectie is bedekt met wilgen, de rest is bedekt met onkruid, wilgen en populieren. Het bladerdek is dicht.

**Mc.Gehee, Ark:** De geulsectie heeft onregelmatige taluds en bodemhoogte. De gehele sectie is gevuld met grote wilgen en Amerikaanse populier. De bomen staan vol in blad.

**St Francis River Floodway:** De geulsectie heeft een vlakke bodem. De vegetatie bestaat voornamelijk uit eik, rubberboom en cypres. Er is weinig ondergroei op enkele omgevallen dode bomen na. De metingen zijn zowel onder zomer als winteromstandigheden uitgevoerd.

**Kaskaskia channel:** De taluds van de geul zijn zeer dicht begroeid met bomen. Delen zijn bedekt met lang riet en wilgenstruiken. De vegetatie staat vol in blad: zomercondities.

De metingen zijn verricht bij een groot aantal verschillende waterdiepten. Onder de veronderstelling (!) dat het aanstromend oppervlak van de ondergroei  $0.3 \text{ m}^2/\text{m}^3$  is kan via een eenvoudige iteratie het aanstromend oppervlak van het bos en de hoogte van de ondergroei worden teruggerekend uit vergelijking (17). In principe komt de iteratiemethode neer op het zoeken naar een dusdanige combinatie van de hoogte van ondergroei en het aangestroomd oppervlak dat zowel de laagst als de hoogst gemeten Chézy waarden goed worden gesimuleerd met vergelijking (17).

In onderstaande tabel zijn de resultaten weergegeven.

Tabel 10 Petryk & Bosmaïjan

verificatie	Petryk & Bosmaïjan		
waterdiepte (m)	C gemeten (via n-manning) afgelezen uit grafiek	C berekend (verg.17)	
Sadorus III			$k_{\text{ondergroei}} = 0.3$ $A_{\text{vb}} = 0.06$
1.22	12	12.1	
1.83	10.1	10.2	
2.44	8.8	9	
3.05	8.0	8.1	
Mc.Gehee Ark			$k_{\text{ondergroei}} = 0$ $A_{\text{vb}} = 0.034$
1.22	8.9	10.3	
1.83	10.2	11.2	
2.44	12.6	12.6	
3.05	15.8	14.5	
3.66	19.9	17.8	
St Francis river floodway			$k_{\text{ondergroei}} = 0.25$ $A_{\text{vb}} = 0.06$
1.22	11.7	11.7	
1.83	10.1	10.0	
2.44	8.9	8.9	
3.05	8.0	8.0	
Kaskaskia channel (zomer)			$k_{\text{ondergroei}} = 0.33$ $A_{\text{vb}} = 0.0278$
1.22	15.9	15.9	
1.83	14.4	14.0	
2.44	12.9	12.6	
3.05	11.5	11.5	
St Francis river floodway (winter)			$k_{\text{ondergroei}} = 0$ $A_{\text{vb}} = 0.059$
2.44	7.9	8.1	
3.05	8.5	8.5	
3.36	9.7	9.5	

Benini (1979)

In opdracht van het Ministerio Dell' Agricoltora E Della Foreste zijn hydraulische metingen uitgevoerd in wilgen en populieren bossen alsmede in (natuurlijk beheerd) grasland (benini 1979, italiaans)

De metingen bestonden uit metingen van de snelheidsprofielen boven en benedenstrooms van de proeflocaties. De metingen zijn uitgevoerd in de periode oktober -februari. In navolgende is, in navolging van benini, gebruik gemaakt van het gemiddelde van de bovenstroomse en benedenstroomse snelheid. Voor de ondergroei is in de berekening van de Chézy-waarden de volgende aanname gedaan:

$$\begin{aligned} k_{\text{ondergroei}} &= 0.5 \text{ m} \\ A_{\text{vo}} &= 0.3 \text{ m}^2/\text{m}^3 \end{aligned}$$

De Chézy waarden zijn berekend met vergelijking 17. Hierbij is het aangestroomd oppervlak Avb zodanig bepaald dat de berekende Chézy waarde gelijk is aan de gemeten waarde.

Tabel 11 Benini (1979)

Lokatie	karakt.	U gem	i	R	Chézy gemeten	Avb	Chézy berekend
Torricella del Pizzo	wilg	0.0805	0.000147	0.88	7.1	0.18	7.1
Controcurva di Casal	wilg	0.31	0.00016	2.18	16.6	0.015	16.4
Comunalia Coltaro	populier	0.35	0.000191	1.45	21.0	0.011	21.2
Isola S.Giorgio	wilg	0.168	0.000172	2.02	10.0	0.046	10.0
Agiolo di Gasalmaggiore	populier	0.211	0.000111	1.18	18.5	0.015	18.5
Viadana	gras	0.499	0.00018	1.9	27.0		
Buzzoletto	populier	0.447	0.000164	2.15	23.8	0.007	24.0
Isola S.Giorgio	gras	0.425	0.00017	1.4	27.5		
Controcurva Casalmaggiore	wilg	0.237	0.000165	1.67	14.3	0.024	14.1
Buzzoletto	populier	0.314	0.000183	0.8	26.0	0.005	25.8

Twee metingen van de snelheidsvertikalen per proefgebied is volstrekt onvoldoende. Aan de gemiddelde waarde die zijn afgeleid voor wilgen en populieren kan wel enige betekenis worden gehecht, omdat de steekproefgrootte daarvan groter is.

gemiddeld aanstromend oppervlak wilgen: 0.06625 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>  
gemiddeld aanstromend oppervlak populieren: 0.0095 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

#### Tisza (Cirkel:1991)

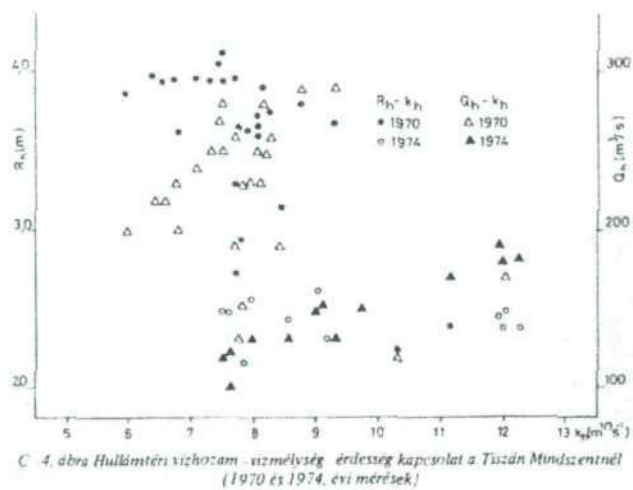
In de Tisza, een zijrivier van de Donau in Hongarije, zijn bij een tweetal hoogwaters in 1970 en 1974 waarnemingen van waterstanden en snelheden/debieten verricht. Hieruit zijn kenmerkende ruwheidsparements voor de aanwezige bosvegetatie berekend met de formule van Manning/Strickler:

$$u = k_n \cdot R^{1/6} \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

De resultaten zijn in figuur 6 weergegeven. De figuur is afkomstig uit een (hongaarsstalige) publicatie van VITUKI, een hongaars waterloopkundig instituut. Door Cirkel is niet aangegeven of het zomeromstandigheden zijn of winteromstandigheden.

Opvallend is de grote puntenwolk, iets dat nog eens benadrukt dat veldmetingen met grote onnauwkeurigheden omgeven zijn. In tabel 11 zijn de gevonden ruwheidswaarden voor 4 waarden van de hydraulische straal afgelezen uit de grafiek en gemiddeld:

Figuur 5 Metingen Tisza (hongaarse publicatie)



Tabel 12 Tisza

verificatie	metingen Tisza			
waterdiepte (m)	k <sub>n</sub> afgelezen uit grafiek	gem. Chezy-afgeleid uit grafiek	Chezy- berekend vergelijking 17	k <sub>ondergroei</sub> = 0.50m Avb = 0.031
	m <sup>1/3</sup> /s	m <sup>1/2</sup> /s	m <sup>1/2</sup> /s	
2	9	10.1	12	
2.5	10	11.6	11.2	
3.0	9.5	9	10.5	
3.5	8	9.9	9.9	
4	7.5	9.4	9.4	

6.3 Resultaat verificatie

De spreiding in het aangestroomd oppervlak van ooibos is vrij groot. Dat blijkt uit de veldinventarisaties maar ook uit de waarden die zijn afgeleid uit hydraulische metingen.

Bij Petryk & Bosmaïjan worden, onder de eerder genoemde aannamen, waarden afgeleid voor het aanstromend oppervlak die variëren van 0.028 - 0.06 m2/m3 onder zomeromstandigheden . En voor de hoogte van de ondergroei waarden tussen 0-0.33m

De meting onder winteromstandigheden liet een nagenoeg zelfde aangestroomd oppervlak zien als de meting onder zomeromstandigheden , alleen de hoogte van de ondergroei ging van 0.25 => 0. Dit is niet onlogisch omdat uit de vegetatiebeschrijving mag worden opgemaakt dat het een "hardhout" ooibos betrof met vooral stammen in de waterlaag.

De metingen van Benini laten gemiddeld een hoog aangestroomd oppervlak zien bij de wilgen. Ook dit is niet onlogisch omdat uit de publicatie kan worden opgemaakt dat de wilgen hier ook als struwelen voorkwamen. Voor populieren

productiebos werd een laag aangestroomd oppervlak gevonden. Dat is ook in lijn met de verwachting.

De metingen langs de Tisza laten waarden zien die in lijn liggen met de waarden die uit de inventarisaties zijn verkregen. Voor de hoogte van de ondergroei wordt hier 0.5 m afgeleid en voor het aangestroomd oppervlak 0.031 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

Gegeven het feit dat de metingen van Petryk & Bosmaïjan grotendeels onder zomercondities zijn uitgevoerd, de waarden van Benini deels de waarden voor struweel representeren kan uit de verificatie aan veldmetingen worden afgeleid dat de eerder gedane veronderstellingen van het aanstromend oppervlak en hoogte van de ondergroei in orde van grootte goed zijn.

Aanbevolen wordt te werken met de volgende vegetatie-karakteristieken:

Tabel 13 Aanbevolen karakteristieken

type	$A_{vb}$	$A_{vs}$	h-ondergroei
	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	m
zachthout ooibos	0.028	0.3	0.4
hardhoutooibos	0.023	0.3	0.25
wilgenstruweel	0.13	0.3	0.1
doornstruweel	0.17	0.3	0.1

Met vergelijking 17 is het verloop van de Chézy waarde met de waterdiepte goed te reproduceren.

## 7 Conclusies en aanbevelingen

### 7.1 Conclusies

- De huidige methode om de stromingsweerstand van ooibos en struweel te bepalen is nog steeds up to date. De enige beperking is dat in de methode geen rekening wordt gehouden met de invloed van ondergroei op de stromingsweerstand
- Door toepassing van vergelijking 17 en 18 wordt de invloed van ondergroei wel meegenomen en wordt het verloop van de Chézy-waarde met de waterdiepte goed gesimuleerd. Dit blijkt uit vergelijking met hydraulische metingen van Petryk & Bosmaijjan en metingen langs de Tisza (Cirkel 1991)

$$C_r = \frac{\frac{2 \cdot g}{(A_{vo} + A_{vb}) \cdot C_d} \cdot k + \frac{2 \cdot g}{A_{vb} \cdot C_d} \cdot (h - k)}{h \cdot \sqrt{h}} \quad (17)$$

$$u = h \cdot C_r \cdot \sqrt{h \cdot i} \quad (18)$$

- De belangrijkste parameters in vergelijking 17 zijn:
  - weerstandscoefficiënt  $C_d$
  - aangestroomd oppervlak van ooibos/struweel en ondergroei
  - hoogte van de ondergroei

*weerstandscoefficiënt  $C_d$*

- De weerstandscoefficiënt  $C_d$  is afhankelijk van eigenschappen van de vegetatie en eigenschappen van de waterstroming. Hierdoor kan de weerstandscoefficiënt variëren. In het algemeen bevindt de waarde zich tussen de 1 en de 2 onder de omstandigheden die in de Nederlandse uiterwaarden gelden.
- Voor de weerstandscoefficiënt  $C_d$  wordt de waarde 1.5 aanbevolen. Dit is in overeenstemming met aanbevelingen in Duitse handboeken.

*aangestroomd oppervlak van ooibos/struweel en ondergroei*

- De vegetatiekarakteristieken van ooibos en struweel vertonen veel spreiding. Dit blijkt zowel uit veldinventarisaties van vegetatiekarakteristieken als uit de uit hydraulische metingen afgeleide karakteristieken.
- Bij waarden van het aangestroomd oppervlak van ondergroei  $> 0.2 \text{ m}^2/\text{m}^3$  neemt de effectieve Chézy-coëfficiënt nauwelijks meer toe met de grootte van het aangestroomd oppervlak.

- Ondergroei heeft een belangrijk effect op de stromingsweerstand. Dit effect is het sterkst bij kleine waterdiepten.
- Vooral de hoogte van de ondergroei is een belangrijke parameter voor het berekenen van het effect van ondergroei. Het aangestroomd oppervlak is belangrijk beneden de grens van ongeveer 0.2 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Boven deze grens heeft stijging van het aangestroomd oppervlak nauwelijks invloed meer op de stromingsweerstand. Verondersteld wordt dat het aangestroomd oppervlak inclusief dood hout snel leidt tot waarden >0.2 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>
- Op basis van veldinventarisaties van het aangestroomd oppervlak, een kwalitatieve analyse van de invloed van ondergroei en een beperkt aantal verificatiemetingen wordt aanbevolen de navolgende vegetatiekarakteristieken te gebruiken.

type	A <sub>vb</sub>	A <sub>vo</sub>	h-ondergroei
	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	m
zachthout ooibos	0.028	0.3	0.4
hardhoutooibos	0.023	0.3	0.25
wilgenstruweel	0.13	0.3	0.1
doornstruweel	0.17	0.3	0.1

## 7.2 Aanbevelingen

De betrouwbaarheid van de aanbevolen vegetatiekarakteristieken is nog beperkt. Dit wordt vooral veroorzaakt door een gebrek aan verificatie-metingen onder natuurlijke omstandigheden. Daarom wordt aanbevolen om:

- \* de internationale literatuur bij te houden en nieuwe informatie toe te voegen aan een database voor verificatie.
- \* na te gaan in hoeverre het uitvoeren van metingen in ooibos onder Nederlandse omstandigheden een bijdrage kan leveren aan een betere onderbouwing.

# Referenties

.....  
BWK, 1997

Grundlagen für stationäre, eindimensionale Wasserspiegellagenberechnungen  
Berichte 2/1997

Cirkel, R.J.; (1991)

Hydraulische ruwheid van ooibossen. Vergelijking van gemeten en berekende ruwheden.

RIZA werkdocument 91.133x

Dixhoorn, R. van; (1999)

Vegetatietypen natuurontwikkelingsprojecten  
interne memo

Dorst, C.J. (1995)

Wilgen als oeverbescherming in kribvakken.

Afstudeerrapport TU Delft, faculteit der Civiele Techniek

DVWK (1991)

Merkblätter zur Wasserwirtschaft

Hydraulische Berechnung von Fließgewässern

DK 551.51/54 Fließgewässer

Kaiser, W. (1984)

Fließwiderstandsverhalten in Gerinnen mit durchströmten Ufergehölzzonen.

Wasserbau Mitteilungen nr.23

Klaassen, G.J.; Zwaard, J.J. van der (1974)

Roughness coefficients of vegetated flood plains

Journal of Hydraulic Research 12; blz. 42-63

Li, R.M. ; Shen, H.S. (1973)

Effect of tall vegetation on flow and sediment

Lindner, K. (1982)

Der Strömungswiderstand von Pflanzenbeständen

Mitteilungen ,Leichtweiss-Institut für Wasserbau

TU Braunschweig, Heft 75

Ouden, J.B. den (1993)

Het aangestroomd oppervlak van geïnundeerde ooibossen in diverse ontwikkelingsstadia

IBN-DLO, IBN rapport 039

Petryk, S.; Bosmaïjan, G. (1975)

Analysis of flow through vegetation

Journal Hydraulic Division, ASCE, 101(HY7)

Sokolov, Y.N. (1980)

Hydraulic Resistance of Floodplains

---

Water resources (English Translation); 7(6)  
Translated from Vodnye Resursy, No6

Tsujimoto, T.; Kitamura, T. (1990)  
Velocity profile of flow in vegetated bed channels  
KHL Progressive Report, June 1990  
Hydraulic Laboratory, Kanazawa University

Waterloopkundig Laboratorium (1998)  
Verkenning naar de hydraulische ruwheid van rivierecotypen  
T2068

---

# Bijlagen

---

# 1 Inventarisaties ooibossen/struwelen

Volwassen wilgenbos (bron: den Ouden (1993))

	cumulatief aangestroomd oppervlak (m2/m2)					
hoogteinterval	0-0.5	0-1	0-2	0-3	0-4	0-5
wilgenreservaat Zuidelijk Flevoland	99	188	272	351	504	661
Kekerdome (1986)	228	302	369	491	651	812
Kekerdome (1993)	186	252	322	392	490	548
Groenlanden 1986	398	640	866	1083	1496	1897
Groenlanden 1993	291	471	635	793	1093	1381
gemiddeld	240	371	498	622	847	1060
maximaal	398	640	866	1083	1496	1897
minimaal	99	188	272	351	490	548
	aangestroomd oppervlak (m2/m3)					
hoogte	0.5	1	2	3	4	5
gemiddeld	0.048	0.037	0.033	0.031	0.028	0.027
maximaal	0.08	0.064	0.058	0.054	0.05	0.047
minimaal	0.02	0.019	0.018	0.018	0.016	0.014

Essen -iepenbos (hardhout ooibos) (bron: den Ouden 1993)

	cumulatief aangestroomd oppervlak (m2/m2)					
hoogteinterval	0-0.5	0-1	0-2	0-3	0-4	0-5
Rhinau	115	198	313	465	735	1039
Ranspurk	215	285	349	410	545	695
gemiddeld	165	242	331	438	640	867
maximaal	215	285	349	465	735	1039
minimaal	115	198	313	410	545	695
	aangestroomd oppervlak (m2/m3)					
hoogte	0.5	1	2	3	4	5
gemiddeld	0.033	0.024	0.017	0.015	0.016	0.017
maximaal	0.040	0.029	0.018	0.016	0.018	0.021
minimaal	0.023	0.020	0.016	0.014	0.014	0.014

jong wilgenbos (bron: WL 1998)

	cumulatief aangestroomd oppervlak (m2/m2)					
hoogteinterval	0-0.5	0-1	0-2	0-3	0-4	0-5
Graaf		1300	1950	2600	3900	5200
Wilgenreservaat	99	188	272	351	504	661
Duursche Waarden		1200	1800	2400	3600	4800
Dorst		110	165	220	330	440
gemiddeld		700	1047	1393	2048	2775
maximaal		1300	1950	2600	3900	5200
minimaal		110	220	330	440	550
	aangestroomd oppervlak (m2/m3)					
hoogte	0.5	1	2	3	4	5
gemiddeld		0.07	0.052	0.046	0.051	0.056
maximaal		0.13	0.098	0.087	0.098	0.104
minimaal		0.011	0.011	0.011	0.011	0.011

#### Inventarisatie van Ritterbach (1991)

Taubergiessen

type	no. proefvlak	aangestroomd opp.
<b>Bannwaldflächen</b> (schermbos)		m2/m3
zachthout	DQ2	0.027
zachthout	DQ3	0.036
hardhout	DQ4	0.038
zachthout/hardhout	DQ5	0.047
zachthout	DQ6	0.021
hardhout	DQ7	0.031
hardhout	DQ8	0.026
hardhout	DQ9	0.022
hardhout	DQ10	0.062
<b>Schonwaldflächen</b>		
zachthout	DQ4	0.023
hardhout	DQ5	0.055
hardhout	DQ6	0.026
hardhout	DQ7	0.033
hardhout	DQ9	0.040
hardhout	DQ10	0.029

Taubergiessen	aantal	minimaal	gemiddeld	maximaal
zachthout	4	0.021	0.027	0.036
hardhout	11	0.022	0.037	0.062