

1. Inleiding

Bij het ontwerpen van persleidingen voor afvalwater wordt bij de berekening gewoonlijk uitgegaan van een schone buis met een betrekkelijke lage weerstand. Men neemt daarbij aan dat deze weerstand niet zal veranderen en laag zal blijven doordat bij hogere afvoeren tijdens regenperioden de buiswand en de buisbodem zullen worden gereinigd van aangroei en afzetting.



IR. P. S. KAMMA
Hoogheemraadschap
West-Brabant



DR. IR. J. V. WITTER
Hoogheemraadschap
West-Brabant



IR. F. P. M. VAN ZIJL
Hoogheemraadschap
West-Brabant

Bij de beproeving voor oplevering is de buiswand van een nieuwe leiding nog schoon en de gemeten weerstand zal redelijk overeenkomen met de aangenomen waarde.

In de praktijk bij het Hoogheemraadschap West-Brabant blijkt echter dat in alle persleidingen van afvalwater die al enige jaren in bedrijf zijn, een slijm laag aanwezig is, waardoor meestal de weerstand van de leiding toeneemt. De watersnelheid is daarbij nauwelijks van invloed.

Aangroei in gesloten leidingssystemen komt niet alleen bij persleidingen voor afvalwater voor, maar ook in koel-systemen, drinkwaterleidingssystemen, in leidingssystemen voor allerlei industriële processen en bij het genereren van hydro-elektriciteit. Aangroei hoeft niet te resulteren in een toename van de ruwheid van de leiding [Huisman, 1969].

Door het Hoogheemraadschap West-Brabant is een aantal persleidingen voor afvalwaterwater doorgemeten en met camera's geïnspecteerd. De directe aanleiding voor dit onderzoek was de sterke terugval van de afvoercapaciteit van een aantal rioolgemalen.

In dit artikel willen we verslag doen van

Samenvatting

Bij een onderzoek door het Hoogheemraadschap West-Brabant naar de oorzaken van sterke daling in capaciteit van een aantal rioolgemalen is gebleken dat de persleidingen sterk vervuild waren door aangroei van een slijm laag. Inspectie van andere leidingen heeft aangetoond dat zich in alle persleidingen, ongeacht de stroomsnelheid, een slijm laag ontwikkeld had. Meestal geeft deze slijm laag extra weerstand. Geconcludeerd wordt dat het riskant is om de weerstand van een persleiding voor afvalwater te berekenen met een k-waarde van 0,2 mm als er geen voorzieningen worden getroffen om de leiding te kunnen schoonmaken.

het onderzoek en de consequenties van de onderzoekuitkomsten aangeven. In de huidige ontwerppraktijk van persleidingsstelsels voor afvalwater wordt meestal uitgegaan van een k-waarde van ongeveer 0,2 mm. Aan de hand van metingen zullen we laten zien dat deze veronderstelling risico's meebrengt. De vraag welke k-waarden dan wel gebruikt kunnen worden, is tot nog toe niet beantwoord. Elder [1986] merkt in dat verband op: 'Unfortunately, good field data (of friction coefficients) are very hard to get. Large-scale substantiation of the values of roughness for various surfaces has therefore never been fully achieved. This is especially true in the transition zone between smooth and fully-rough flow'.

Dit artikel poogt een bijdrage te leveren aan het opvullen van deze lacune. Ook zullen we ingaan op mogelijke oorzaken van de toename in ruwheid van persleidingen, nadat deze enige tijd in gebruik zijn. Vervolgens zullen we ingaan op de consequenties van de vervuiling van de persleidingen. Ter afsluiting zal een aantal conclusies, zowel over het ontwerp van persleidingsstelsels als over het beheer ervan, worden geformuleerd.

2. Onderzoek

Bij een drietal rioolgemalen, hier aangeduid met A, B en C, werd een aanzienlijke daling van capaciteit vastgesteld. Riool-gemaal B pompt afvalwater door een 600 mm persleiding met een lengte van 12,6 km. Acht km benedenstrooms injecteert rioolgemaal A afvalwater via een 450 mm persleiding met een lengte van 3 km in deze leiding. Elders in het gebied injecteert rioolgemaal C via een 600 mm persleiding met een lengte van 3,3 km in een grote 1500 mm persleiding naar de regionale zuiveringsinstallatie te Bath.

Het onderzoek had tot doel om per gemaal de oorzaken van de capaciteitsdaling vast te stellen om meer inzicht te krijgen in de weerstand van het systeem en de optredende tegendruk op het injectiepunt. Daarbij zijn drie mogelijke oorzaken onderzocht: slijtage van

pompen, extra weerstand van de persleiding en verandering van persdruk op het injectiepunt. Door een druklijnmeting is van iedere persleiding de weerstand vastgesteld en is de persdruk op het afleverpunt nagegaan. De Q-H krommes van de pompen zijn nagemeten.

Uit dit onderzoek bleek dat sterke vervuiling van de leidingen A en B de hoofdoorzaak was van het teruglopen van de pompcapaciteit. Voor leiding A is dit in afbeelding 1 weergegeven. Bij rioolgemaal C was de toegenomen druk op het injectiepunt oorzaak van de terugval in capaciteit. De persleiding van rioolgemaal C bleek daarbij geen extra weerstand te hebben. De pompen van alle rioolgemalen vertoonden slechts lichte slijtage, wat slechts een geringe capaciteitsdaling tot gevolg had. Om het inzicht te verdiepen is vervolgens nog een vierde rioolgemaal D met een 160 mm PVC persleiding van 1 km lengte in het onderzoek betrokken. Ook op deze persleiding zijn een druklijnmeting en camera-inspecties uitgevoerd. De reden om deze leiding mee te beschouwen, is dat dit een kleine leiding betreft met relatief hoge snelheden. Bij deze leiding is de pompcapaciteit in de bedrijfsperiode niet afgenomen, omdat hier een verdringerpomp staat opgesteld. De leidingweerstand is wel toegenomen. Een volgende stap in het onderzoek was een visuele inspectie van het inwendige van de leidingen.

In tabel I zijn gegevens van de onderzochte rioolgemalen en persleidingen verzameld. De k-waarde (de equivalente zandruwheid) in de tabel is als volgt berekend: eerst is uit de druklijnmeting de helling van de druklijn bepaald. Daarmee is de weerstandsfactor berekend met de formule van Darcy-Weisbach:

$$\Delta H_w = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

waarin:

$$\Delta H_w = \text{drukverlies [m}^1\text{]}$$

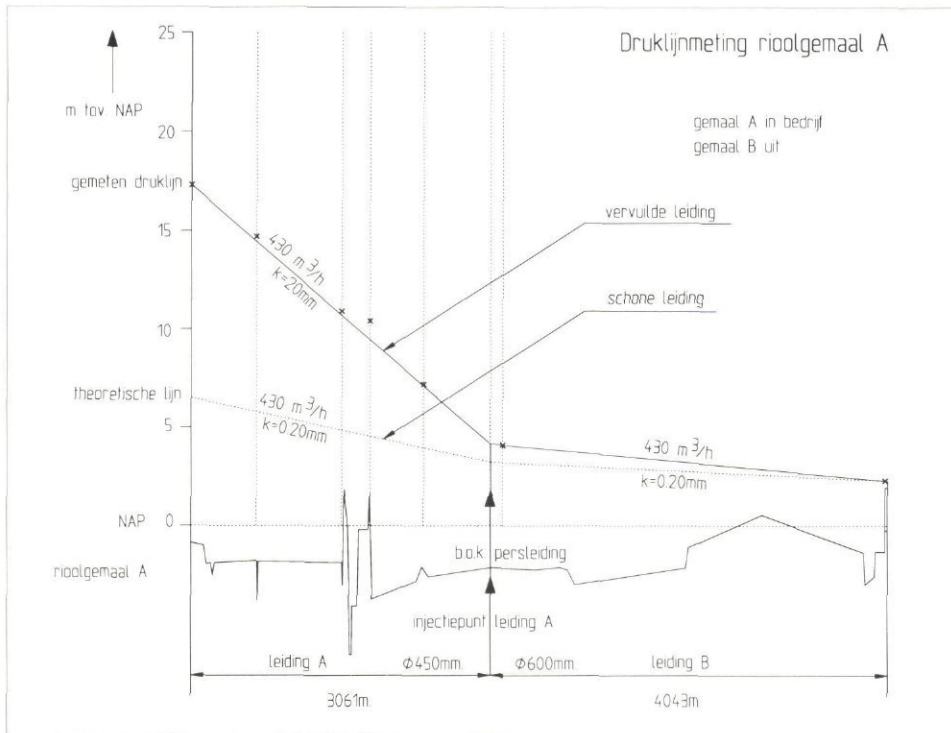
$$\lambda = \text{weerstandsfactor [-]}$$

$$L = \text{lengte persleiding [m}^1\text{]}$$

$$D = \text{(inw) diameter persleiding [m}^1\text{]}$$

$$v = \text{stromingssnelheid [m/s]}$$

$$g = \text{versnelling zwaartekracht [m/s}^2\text{]}$$



Afb. 1.

Op grond van de gegevens in tabel I kan worden opgemaakt dat de stroming zich bevindt in het overgangsgebied tussen turbulente stroming langs een hydraulisch ruwe en een hydraulisch gladde wand.

De k-waarde kan worden herleid volgens de formule van Colebrook:

$$\lambda = \frac{0,25}{\left[\log \left[\frac{1}{0,4 \text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,7 \cdot D} \right] \right]^2}$$

waarin:
Re = Reynoldsgetal (dimensieloos)

TABEL I.

Rioolgemaal	A	B	C	D
Q Ontwerp m ³ /u	480	800	860	100
Q Gemeten m ³ /u	300	580	600	100
Persleiding m	3.060	12.600	3.360	1010
Diameter mm	450	600	600	160
Materiaal *	AC	AC/B	AC	PVC
V (DWA) m ¹ /s	0.30	0.26	0.16	0.75
V (RWA) m ¹ /s	0.85	0.8	0.85	1.5
λ ontwerp	·0163	·0151	·0152	·0178
k ontwerp mm	0.2	0.2	0.2	0.1
k berekend mm	20	1.4	0.2	0.9
vervuiling mm	20	10	1	2

* AC = Asbest-Cement B = Beton

Om de aard van de extra weerstand en vervuiling te kunnen vaststellen zijn de

persleidingen op hoge punten watervrij gemaakt en met rijdende videocamera's geïnspecteerd. Ter plaatse van de inspectiepunten is de vervuiling ook gemeten. Afbeelding 2 geeft een beeld van de verschillende typen van vervuiling.

3. Aard van de vervuiling

Op de buiswand van leiding A werd een slappe, yoghurtachtige slijmlaag aangetroffen met een zeer ruw oppervlak en een dikte van 15 tot 25 mm. Tijdens de camera-inspectie vielen spontaan grote stukken uit de kruin van de buis. Ook op de buiswand van leiding B werd een zachte slappe slijmlaag met een ruw oppervlak gevonden en een dikte van 5 tot 15 mm.

De dikke ruwe slijmlaag in leiding A gaf veel extra weerstand. Opvallend is dat de slijmlaag in leiding B ook een aanzienlijke dikte heeft, maar niet veel extra weerstand gaf. Weliswaar toont het oppervlak van de slijmlagen zich zeer ruw voor de camera, maar het is niet ondenkbaar dat door de waterstroom de zachte laag enigszins wordt 'gladgestreken'. De dikke slijmlaag geeft in de 450 mm leiding een veel grotere weerstandstoename dan in de 600 mm leiding.

In leiding C was een dunne slijmlaag aanwezig met een vrij glad oppervlak en een dikte van ongeveer 1 mm. Deze slijmlaag gaf geen extra weerstand in de leiding. Dit is opmerkelijk. In leiding D werd een slijmlaag met een dikte van 2 mm en een ruwe structuur aangetroffen. Een slijmlaag met deze dikte en structuur en een berekende k-waarde = 1 mm, wordt zeer veel aangetroffen in het beheersgebied. Dit is als het ware de 'normale vervuiling' van een persleiding.

Afb. 2 - Aangetroffen typen van vervuiling.

Afb.2a - leiding A

2b : leiding B



De betrekkelijk hoge snelheid van 1,5 m/s waarmee het water bij regenperiodes door de kleine 160 mm buis is gestroomd, heeft de wand niet schoon kunnen houden.

Voor het type van vervuiling dat bij het onderzoek is aangetroffen, kan globaal als vuistregel gehanteerd worden dat de dikte van een 'normale' slijmlaag groter of gelijk is aan 1 tot 7 maal de berekende k-waarde (de equivalente zandruwheid). Bij zeer slappe en dikke slijmlagen gaat dit niet meer op en kan de k-waarde gelijk of minder zijn dan de gemeten dikte van de slijmlaag.

Dit wijkt af van de bevindingen van Brett [1980]. Uit een artikel over een slijmlaag in leidingen van een hydro-elektrische dam in Tasmanië, blijkt dat daar de k-waarde (effectieve zandruwheid) aanzienlijk groter was dan de dikte van de slijmlaag. Een reguliere toediening van chloor bleek daar effectief ter verwijdering van de slijmlaag, maar werd vanwege het milieu niet toegepast. In Szego *et al.* [1993] wordt een aantal simulatieberekeningen uitgevoerd naar de invloed van biofilm groei in gesloten leidingen.

Onderzoek naar de snelheid en mate van slijmaangroei in rioolleidingen is uitgevoerd door het Hydraulic Research Station in Engeland [1981].

Daarbij werden verschillende buistypen met lengtes van 13 tot 20 m beproefd. Uit deze experimenten is gebleken dat de slijm snel aangroeit en dat de resulterende veranderingen in ruwheid nogal variëren. Dit komt overeen met praktijkervaringen in West-Brabant.

4. Oorzaken van de vervuiling van persleidingen

Uit tabel I kan worden geconcludeerd dat in de beschouwde gevallen de minimum snelheid blijkbaar niet van grote invloed is op de vervuiling van de buiswand. Ook is er geen afzetting van zand op de bodem van de buizen aangetroffen. Dit komt overeen met ervaringen elders in het beheersgebied, waar soms ook zeer lage leidingsnelheden optreden.

Merkwaardig is het verschil tussen leiding C die nauwelijks is vervuild en leiding B met sterke vervuiling. De diameters en het materiaal van de leidingen zijn hetzelfde, de minimum stroomsnelheden zijn beide zeer laag en de snelheden bij rwa zijn ongeveer gelijk. Beide leidingen zijn ook even oud, ongeveer 10 jaar. De oorzaak van de verschillen in vervuiling moet blijkbaar gezocht worden in verschillen in samenstelling van het afvalwater.

Uit gegevens van de samenstelling van het afvalwater, verzameld in de jaren 1989 en 1990 (tabel 2), zou afgeleid kunnen worden dat het afvalwater in de zeer sterk vervuilde leiding A voedselrijker is geweest dan dat in leidingen B en C. De voedselrijkdom van het afvalwater bij lage leidingsnelheden is blijkbaar van grote invloed op de mate van vervuiling. Leiding D die ook vervuild is, heeft huis-houdelijk afvalwater afgevoerd.

TABEL II - Gemiddelde samenstelling (over 1989 en 1990) van het afvalwater in de beschouwde leidingen.

Samenstelling Afvalwater	A	B	C	D
CZV mg/l	113	714	673	550
N _{ki} mg/l	47	62	48	47
P _{totaal} mg/l	12	9,0	7,6	6

5. Consequenties van vervuiling van persleidingen

Uit dit onderzoek en andere ervaringen in het beheersgebied van West-Brabant is gebleken dat in alle persleidingen voor afvalwater een slijmlaag wordt gevormd die mogelijk extra weerstand kan geven. Hoe wordt dit verschijnsel nu in de praktijk ervaren? Bij de keuze van pompen voor afvalwater wordt gewoonlijk uitgegaan van een bedrijfsperiode van 10 tot 15 jaar. Voor het ontwerp van een persleiding wordt gekeken naar een periode van 40 jaar of langer. De stroom afvalwater neemt in deze bedrijfsperiode toe en het ontwerp houdt daar rekening mee. De pompcapaciteit wordt afgestemd op het afvalwateraanbod aan het eind van de bedrijfsperiode. In het begin zullen de pompen altijd een overcapaciteit hebben. De capaciteitsdaling door vervuiling van de leiding wordt gewoonlijk niet erg nauwkeurig gevolgd en wordt geaccepteerd zolang het afvalwateraanbod kan worden verpompt.

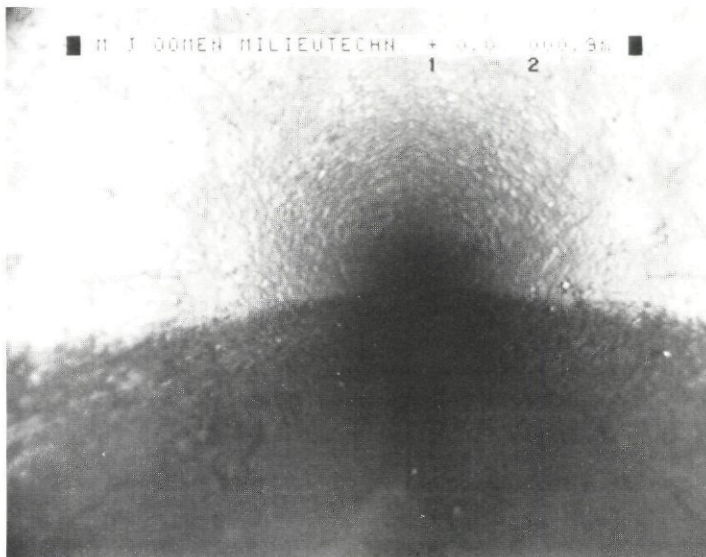
De vervuiling van een leiding wordt een serieus probleem als de pompcapaciteit sterk is gedaald en het aanbod van afvalwater niet meer verwerkt kan worden.

Ook bij het dimensioneren van pompen voor een leiding die al lange tijd in gebruik is, is dit een probleem. Meting aan zo'n leiding kan aan het licht brengen in welke mate de leiding vervuild is. De vervuiling bestaat gewoonlijk uit een zachte slijmlaag die eenvoudig verwijderd kan worden door foampigs e.d. De vraag is alleen of de situatie van de leiding zich leent voor het lanceren en opvangen van deze pigs en of het schoonmaken de moeite loont.

2c : leiding C



2d : leiding D



6. Leiding schoonmaken of niet

Als de weerstandstoename door vervuiling gering is, zoals bij een korte persleiding, zal al gauw besloten worden om de leiding niet schoon te maken. De weerstandstoename kan worden opgevangen door het plaatsen van krachtiger pompen. De keuze om een leiding schoon te maken hangt ook af van andere factoren:

- is er een mogelijkheid om op eenvoudige wijze de cleaning pig in te brengen en op te vangen. Bij grote leidingdiameters, of bij injecterende leidingen is dit vaak een probleem;
- zijn er pompen in de handel voor de verhoogde weerstand van het systeem. De combinatie lage capaciteit en grote opvoerhoogte ligt voor afvalwaterpompen in een probleemgebied. Door de grote doorlaat die de waaier moet hebben om verstoppingsvrij te kunnen werken, is de druk die de pomp opbouwt niet groot. Hogere drukken worden bereikt door het toerental op te voeren, iets dat niet bepaald favoriet is bij beheerders van rioolgemalen;
- zijn de waterslagvoorzieningen nog toereikend voor de verhoogde drukken;
- is de voeding en de trafo nog geschikt voor pompen met zwaardere motoren;
- is de leiding wel geschikt voor de hoge drukken die nodig zijn om de extra weerstand te overwinnen. Ook kan het voorkomen dat de verhoogde druk in de leiding problemen oplevert voor drukrioleringen die op de leiding zijn aangesloten.

Bij de keuze voor schoonmaken moeten de kosten voor het installeren van een lanceer- en opvanginrichting en het (periodiek) schoonmaken van de leiding worden vergeleken met verhoogde energiekosten voor het overwinnen van de extra weerstand van de leiding en investeringskosten voor krachtiger pompen, eventuele kosten voor een zwaardere voeding, en vergroting van de waterslagvoorziening en vervangen of verzwaren van de leiding. De afweging zal per geval gemaakt moeten worden.

7. Het ontwerpen

Bij het ontwerp van een transportsysteem voor afvalwater moet men rekening houden met een slijmlaag die altijd wordt gevormd op de binnenwand van de persleiding. De weerstand die deze slijmlaag geeft kan variëren naar plaats en tijd. In de praktijk valt er heel weinig te voorspellen, behalve dat de slijmlaag bijna altijd extra weerstand zal geven. De aangroei kan snel gaan, binnen drie maanden kan een laagdikte van 1 mm gevormd worden.

In het beheersgebied van West-Brabant is

gebleken dat de weerstand van deze slijmlaag overeenkomt met $k = 1$ mm of een nog hogere k -waarde. Bij uitzondering geeft de slijmlaag geen extra weerstand.

Het ontwerpen van een leidingsysteem op een $k = 0,2$ mm is dus een riskante zaak. Het is verstandig om eenvoudige voorzieningen aan te brengen om de leiding te kunnen schoonmaken. Een T-stuk met de diameter van de leiding en een afsluiter om het mogelijk te maken om een lanceerketel op de leiding te monteren is vaak al voldoende. Soms is het opvangen van de pigs een probleem. Als het regelmatig schoonmaken van de leiding bezwaarlijk is kan in het ontwerp worden uitgegaan van een hogere k -waarde van bijvoorbeeld $k = 0,5$ mm. Bij leidingen die niet schoongemaakt kunnen worden zal de k -waarde in de praktijk vaak liggen tussen 1 en 1,5 mm. Herhaalde metingen aan leidingen in West-Brabant hebben dit uitgewezen. Bij hergebruik van een bestaande leiding zal eerst door een druklijnmetering de weerstand van de leiding moeten worden vastgesteld. Als deze hoog is, zal overwogen moeten worden om de leiding schoon te maken.

8. Conclusies

- Er moet bij het ontwerpen van persleidingen voor afvalwater rekening worden gehouden met de vorming van een slijmlaag in de leiding, ongeacht de stroomsnelheid in de leiding. Deze slijmlaag kan extra veel weerstand veroorzaken. De dikte van de slijmlaag kan in tijd en plaats variëren.
- Ontwerpen onder aanname van een weerstand van $k = 0,2$ mm is een riskante zaak als er geen voorzieningen worden gemaakt om de leiding te kunnen reinigen.
- De voedselrijkdom van het water is een belangrijke factor bij het ontstaan van dikke slijmlagen met grote weerstand. De watersnelheid is minder van belang.
- De dikte van 'normale' slijmlagen is 1 tot 7 maal de k -waarde die berekend kan worden uit de druklijnmetering van een vervuilde leiding.

Literatuur

- Brett, T. M., (1980). *Head-loss measurements on hydroelectric conduits*. Journal of the Hydraulics Division 106: 173-190.
- Elder, R. E. (1986). *Advances in hydraulic engineering practice: the last four decades and beyond*. Journal of the Hydraulics Division 112: 74-89.
- Huisman, L. (1969). *Stromingsweerstand in leidingen*. Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen Mededeling nr. 14.
- Hydraulic Research Station (1981). *Tests on slimed sewers*. Hydraulic Research Station, Wallingford.
- Szego, S., Cinnella, P and Cunningham, A. B. (1993). *Numerical simulation of biofilm processes in closed conduits*. Journal of Computational Physics 108: 246-263.



Werkgroep
Ecologisch
Waterbeheer

Themamiddag: Handleiding beekherstel 'Beken stromen'

Op 3 mei 1995 zal aansluitend aan de Algemene Ledenvergadering van de Werkgroep Ecologisch Waterbeheer de subgroep Beekherstel een themamiddag verzorgen over beekherstel. De Algemene Ledenvergadering en de themamiddag zal worden gehouden in het Provinciehuis Utrecht in Utrecht. De subgroep is bezig een Handboek Beekherstel te schrijven, getiteld 'Beken Stromen'. De afronding van het produkt, mogelijk gemaakt met behulp van STOWA-financiering, bevindt zich thans in een eindfase. Op de themamiddag zal dit handboek centraal staan.

Hierbij ligt de nadruk op het laatste hoofdstuk 'Leidraad voor ecologisch beekherstel'. In dit hoofdstuk is getracht op korte en bondige wijze een stappenplan te geven voor beekherstel. Een zestal personen uit de praktijk van het waterbeheer is gevraagd om een bijdrage te leveren aan de themamiddag. Deze praktijkmensen zullen vanuit hun discipline de leidraad uit het handboek belichten met het oog op vooral de bruikbaarheid ervan voor beekherstelprojecten.

Nadere inlichtingen: secretaris WEW;
B. van der Wal, Hoogheemraadschap van Delfland, telefoon 015 - 60 83 40.



Nederlandse Vereniging
voor Waterbeheer NVA

Wateroverlast door Rijn en Maas

Het Koninklijk Instituut van Ingenieurs (afdeling Waterbeheer) organiseert samen met de Nederlandse Vereniging voor Waterbeheer NVA (programmagroepen 4 en 5) een symposiumdag over de wateroverlast, veroorzaakt door de Rijn en de Maas in de afgelopen jaren (december 1993, januari/februari 1995).

Het symposium zal plaatsvinden op 28 april 1995 in de Reehorst in Ede. Op de dag zal 's ochtends om te beginnen geschetst worden, wat er in die maanden hydrologisch en meteorologisch precies aan de hand is geweest en hoe de over-