

# Onderzoek naar pelletontharding op pompstation Castricum

## 1. Inleiding

Van de methodes die in aanmerking komen voor de ontharding van drinkwater staat het kristallisatieproces sterk in de belangstelling [1, 2].

Bij dit proces wordt calciumcarbonaat uit het behandelde water verwijderd door kristallisatie op een korrelvormig entmateriaal (pellets) in een gefluïdiseerd bed. Vorming van de voor kristallisatie benodigde carbonaationen wordt bereikt door dosering van een base, veelal natronloog.



IR. J. C. DIJXHOORN  
TH Delft



IR. B. KRAMER  
Provinciaal Waterleidingbedrijf  
van Noord-Holland



IR. J. C. VAN DIJK  
DHV Raadgevend Ingenieurs-  
bureau



IR. P. J. DE MOEL  
DHV Raadgevend Ingenieurs-  
bureau

Ter bestudering van de mogelijkheden van pelletontharding en de effecten op de waterzuivering van de bestaande duinpompstations heeft het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland in samenwerking met DHV Raadgevend Ingenieursbureau experimenteel onderzoek verricht op semi-technische schaal. Het onderzoek is uitgevoerd op het pompstation Castricum in de periode van augustus 1981 tot juni 1982 [3, 4].

In dit artikel worden de resultaten beschreven van dit onderzoek dat vooral was gericht op de optimalisatie van de pelletontharding ten aanzien van het chemicaliënverbruik.

## 2. Voorwaarden voor optimale kristallisatie

Chemische onthardingsprocessen kunnen worden onderscheiden in precipitatieprocessen en kristallisatieprocessen. Tabel I geeft ter vergelijking een aantal kenmerkende eigenschappen van beide processen. Voorwaarde voor een goed verlopen van het pelletonthardingsproces is dat entmateriaal aanwezig is op het moment dat over-

TABEL I - Vergelijking van precipitatie- en kristallisatie-ontharding.

eigenschap	precipitatie	kristallisatie
initiatie van neerslag	spontaan	op entmateriaal
gevormd neerslag	watervrijke vlokken	watervrije pellets
processnelheid	laag	hoog
oververzadiging effluent	aanzienlijk	beperkt

verzadiging aan calciumcarbonaat in het behandelde water ontstaat, dus direct na het mengen met de toegepaste base. Hierdoor blijft de oververzadiging steeds beperkt en zal geen spontane precipitatie van calciumcarbonaat optreden. Dergelijke geprecipiteerde deeltjes zijn zeer gering van afmeting en worden met de waterstroom mee uit de reactor gevoerd als 'carry over'.

Dit resulteert in een toename van de troebelheid van het effluent, alsmede een hogere resthardheid van het behandelde water.

Daarnaast is van belang dat de menging van base en water zelf zo snel en gelijkmatig mogelijk geschiedt. Kortsluitstromingen moeten daarom worden vermeden.

Voor de praktijkuitvoering impliceren deze voorwaarden de volgende eisen aan het ontwerp:

1. Toepassen van een constructie voor intensieve en gelijkmatige menging van het te behandelde water en de base.
2. Uitvoeren van de reactor zodanig dat het entmateriaal (met een zo groot mogelijk specifiek oppervlak) in de mengzone aanwezig is.
3. Uitvoeren van de reactor als propstroom-reactor.

## 3. Experimenteel onderzoek

### 3.1. Doel van het onderzoek

Te Castricum wordt infiltratiewater en

duinwater gewonnen via een stelsel vacuüm secundairs en enkele onderwaterpompen. Het verzamelde water ondergaat op het pompstation een cascadebeluchting en een snelfiltratie. Na dosering van een geringe hoeveelheid natronloog en chloordioxide wordt het reine water gedistribueerd. Met het oog op eventuele toepassing van pelletontharding heeft het onderzoek zich op de volgende factoren toegespitst:

- effect van pelletontharding op de waterkwaliteit;
- effect van de mate van ontharding (eventuele deelstroombehandeling);
- invloed van debietvariaties op het onthardingsresultaat;
- invloed van hoogte en samenstelling van het pelletbed;
- plaats van het onthardingsproces in de zuivering.

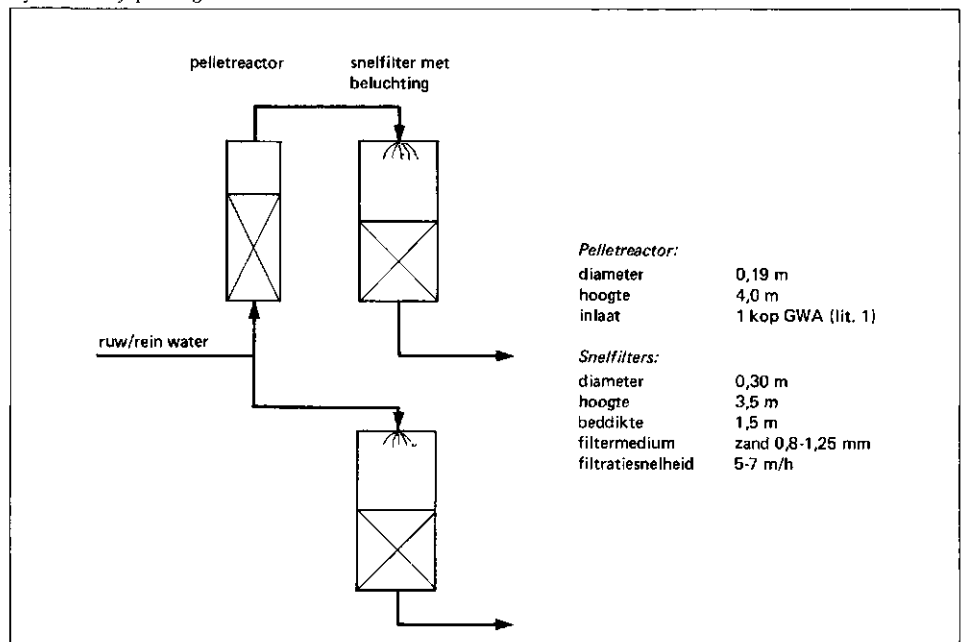
Omdat bij gebruik van kalk het waterstofcarbonaatgehalte van het reine water ver beneden de gewenste ondergrens van 2 mmol/l zou dalen is gekozen voor natronloog als base.

### 3.2. Proefopstelling en proefopzet

Afb. 1 geeft een schematisch overzicht van de gebruikte proefopstelling.

Van de vier procesvariabelen loogdosering, superfiële snelheid in de reactor, hoogte van het pelletbed en maximale pellet-

Afb. 1 - Proefopstelling.

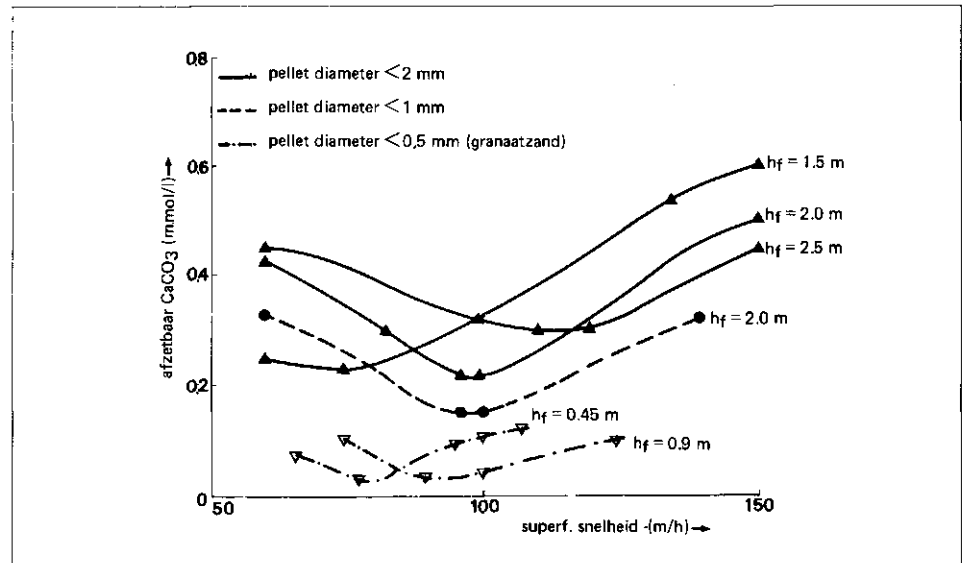


diameter werden er tijdens een proevenreeks drie constant gehouden. De bedhoogte werd in rusttoestand gemeten. Een gekozen bedhoogte werd gehandhaafd door onder uit de reactor pellets af te tappen. Doordat het pelletbed in gefluidiseerde toestand volledig geïncubateerd was, bevonden zich hier de grootste pellets. De afgetapte pellets werden gezeefd en de pellets met een diameter kleiner dan de gewenste maximale diameter werden in de reactor teruggevoerd. Zo nodig werd de pelletbedhoogte constant gehouden door aanvulling met nieuw entmateriaal. Als entmateriaal werd zilvertand met een diameter van 0,4 – 0,8 mm gebruikt. In een later stadium zijn proeven uitgevoerd met granaatzand als entmateriaal met een diameter van 0,1 – 0,25 mm. De metingen zijn uitgevoerd nadat per instelling een evenwichtssituatie tot stand was gekomen.

#### 4. Resultaten en discussie

##### 4.1. Ontharding

Tijdens het onderzoek was de samenstelling van het te ontharden water niet constant (zie tabel II) vanwege het bij- en afschakelen van verschillende duinsecundairs. Om desondanks de onthardingsresultaten onderling te kunnen vergelijken werd de effluentkwaliteit gekwalificeerd door de reken-grootheid 'afzetbaar CaCO<sub>3</sub>'. Dit is de hoeveelheid CaCO<sub>3</sub> die theoretisch zou moeten neerslaan om het kalk-koolzuur-evenwicht te bereiken [5]. Met deze grootheid wordt tevens de mate van oververzadiging gekwantificeerd. Het magnesiumgehalte van het water te Castricum ligt nagenoeg constant op ca. 12 mg/l ofwel 0,5 mmol/l. Voor een gewenste totale hardheid van 1,5 mmol/l (ontwerp Waterleidingwet) dient dan te worden onthard tot een calciumgehalte van ca. 1,0 mmol/l (40 mg/l). Om dit gehalte te verkrijgen is theoretisch een natronloog-dosering van 1,5 – 2,2 mmol/l NaOH vereist. Doordat de ontharding evenwel niet tot het theoretisch evenwicht plaatsvindt, is een grotere NaOH-dosering nodig. De extra



Afb. 2 - Oververzadiging als functie van superficiële snelheid, bedhoogte en pelletdiameter.

dosering komt op molaire basis nagenoeg overeen met het effluentgehalte 'afzetbaar CaCO<sub>3</sub>'.

In afb. 2 is de hoeveelheid 'afzetbaar CaCO<sub>3</sub>' bij een ontharding tot 1,0 mmol/l calcium weergegeven onder verschillende procesomstandigheden. Opgemerkt dient te worden dat de gegevens in deze afbeelding zijn gebaseerd op interpolaties van afzonderlijke metingen.

Afb. 2 laat zien dat voor elke gekozen combinatie van bedhoogte en pelletdiameter een optimale superficiële snelheid bestaat. De optimale superficiële snelheid is voor een kleinere bedhoogte lager dan voor een grotere bedhoogte. Dit verschijnsel laat zich verklaren door de minder gelijkmatige fluidisatie bij lagere snelheid en hogere bedhoogte, resulterend in dode zones in de reactor en een slechtere menging. Bij hogere snelheden ontstaan kortsluitstromingen veroorzaakt door de schietstromen vanaf de waterinlaatconstructie. Dergelijke schietstromen worden door de grotere hydraulische weerstand van hogere bedden beter uitgevlakt dan het geval is bij lagere bedhoogten. Hierdoor wordt voor grotere bedhoogten een hogere optimale snelheid

gevonden. Daarnaast speelt ook de grotere verblijftijd in het bed bij een grotere bedhoogte een rol.

Afb. 2 toont voorts het effect van de maximale pelletdiameter. Bij een bedhoogte van 2,0 m is de hoeveelheid 'afzetbaar CaCO<sub>3</sub>' voor een pelletdiameter van 1 mm ongeveer 0,1 mmol/l lager dan voor een pelletdiameter van 2 mm.

Een zeer lage oververzadiging, beneden 0,05 mmol/l, kan worden bereikt bij een maximale pelletdiameter van 0,5 mm. Om bij een dergelijke diameter in voldoende mate aangroei van de pellets mogelijk te maken, is als entmateriaal granaatzand gebruikt met een diameter van 0,1 – 0,25 mm. Door de grote dichtheid van granaatzand (4.100 kg/m<sup>3</sup>) zijn ook bij een dergelijke diameter nog hoge superficiële snelheden mogelijk, zij het bij een lagere bedhoogte in rust. De goede resultaten met granaatzand werden reeds eerder gevonden bij experimenten verricht bij Gemeentewaterleidingen Amsterdam.

Bij een kleinere pelletdiameter is in de loog-water mengzone een groter specifiek kristallisatie-oppervlak beschikbaar. Hierdoor heeft de bij de menging ontstane oververzadiging directe afzetting van CaCO<sub>3</sub> op het kristaloppervlak tot gevolg. Precipitatie treedt dan niet op, hetgeen resulteert in een lage resthardheid en lage troebelheid in het effluent. De geringere effluent-troebelheid bij kleinere maximale pelletdiameter is te zien in afb. 3. Ter vergelijking is hier tevens de effluent-troebelheid weergegeven die werd verkregen bij ontharding van rein water. Hierbij kan worden opgemerkt dat voor rein water de influent-troebelheid lager is, terwijl daarnaast de in het ruwe water aanwezige troebelheidsveroorzakende deeltjes als kristallisatie-

TABEL II - Samenstelling van het te ontharden water.

parameter		ruw water	rein water
temperatuur	°C	8 - 9	11
geleidbaarheid	mS/m	71 - 78	84
pH		7,5 - 7,6	7,8
HCO <sub>3</sub>	mg/l	193 - 233	205
CO <sub>2</sub>	mg/l	7 - 22	5,1
Ca	mg/l	92 - 107	96
Mg	mg/l	10 - 14	11
totale hardheid	mmol/l	2,7 - 3,0	2,9
Fe	mg/l	0,8 - 1,8	0,05
Mn	mg/l	0,07 - 0,25	0,01
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	0,3 - 0,6	0,05
PO <sub>4</sub> -P (ortho)	mg/l	0,01 - 0,1	0,04
KMnO <sub>4</sub> -verbruik	mgO <sub>2</sub> /l	5,6 - 8,3	6,5
troebelheid	FTU	3 - 10	0,1

kernen fungeren en daardoor de troebelheid extra verhogen.

Overigens is de troebelheid na ontharding van rein water zodanig dat nafiltratie is vereist.

Voor een relatief hoge eindhardheid is de hoeveelheid 'afzetbaar  $\text{CaCO}_3$ ' onafhankelijk van de grootte van het onthardingstraject, ofwel NaOH-dosering. Bij een diepere ontharding neemt echter de oververzadiging toe, zoals te zien is in afb. 4. Daarnaast is waargenomen dat bij een diepere ontharding ook een scherper optimum voor de superfiële snelheid optreedt. Afb. 4 toont aan dat een vergaande ontharding en daarmee de mogelijkheid om slechts een deelstroom te ontharden, alleen bij gebruik van granaatzand perspectieven biedt.

Naast hardheid wordt in de pelletreactor ook ijzer en mangaan verwijderd. Het ijzergehalte neemt doorgaans af tot een waarde van 0,7 – 0,8 mg/l, het mangaangehalte tot 0,01 – 0,1 mg/l.

#### 4.2. Filtratie

In het snelfilter na de pelletreactor vindt een verdere verlaging van de hardheid plaats. De

TABEL III – Invloed van verschillende procescondities op het natronloogverbruik. ( $\text{Ca}_{\text{inf}} = 2,25 \text{ mmol/l}$ ,  $v = 100 \text{ m/h}$ ).

diameter entmateriaal (mm)	maximale pelletgrootte (mm)	bedhoogte (m)	NaOH-verbruik voor ontharding tot	
			Ca = 1,0 mmol/l (mg/l)	Ca = 0,5 mmol/l (mg/l)
0,4 – 0,8	2,0	2,0	64 (62) <sup>2</sup>	– <sup>1</sup> (101) <sup>2</sup>
0,4 – 0,8	1,0	2,0	58	92
0,1 – 0,3	0,5	0,9	52	74

<sup>1</sup> troebelheid effluent meer dan 5 FTU.

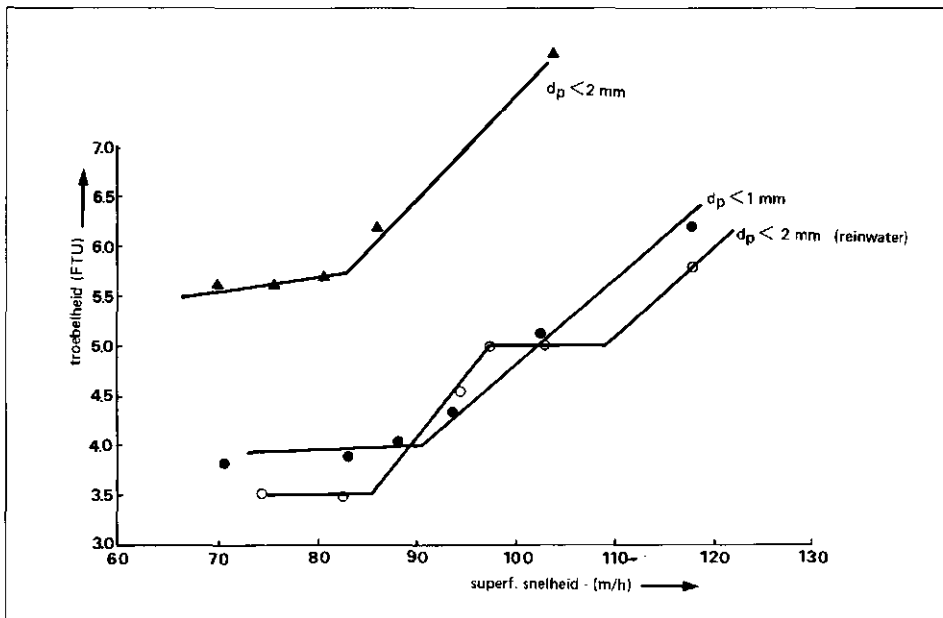
<sup>2</sup> bij ontharding van rein water.

hoeveelheid afzetbaar  $\text{CaCO}_3$  na filtratie bedraagt 0,05 – 0,15 mmol/l afhankelijk van het gehalte afzetbaar  $\text{CaCO}_3$  in het influent en afnemend over de looptijd van het filter. De in het snelfilter afgevangen componenten blijken door terugspoelen vrijwel volledig te worden verwijderd. Alleen bleek het gehalte aan calciumcarbonaat in de bovenlaag van het snelfilter na 3 maanden bedrijfstijd te zijn opgelopen tot bijna 2% op basis van drogestofgehalte. Visuele inspectie leerde dat dit calciumcarbonaat voornamelijk als gruisdeeltjes en een enkele cluster aanwezig was. Hierbij dient te worden opgemerkt dat inherent aan de uitgevoerde experimenten de reactor lange periodes niet optimaal is bedreven.

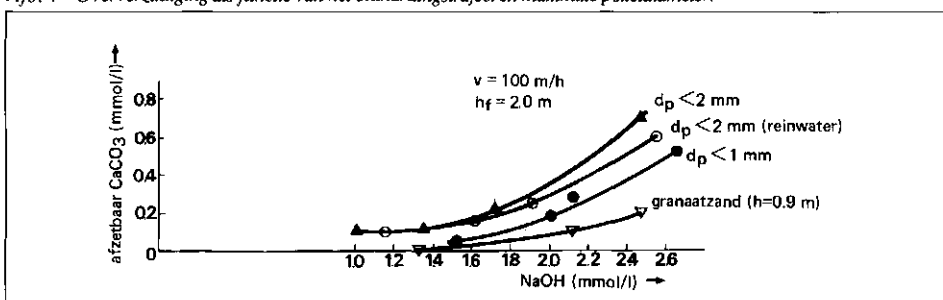
De looptijd van het snelfilter na de pelletreactor was groter dan die van het referentiesnelfilter (60 uur, resp. 48 uur) ondanks een grotere drogestofbelasting van het eerstgenoemde filter. Deze drogestofbelasting bestond echter voornamelijk uit calciumcarbonaat, terwijl het referentiefilter zwaarder werd belast met ijzer. Het amorf karakter van de ijzervlok heeft zoals mocht worden verwacht een groter negatief effect op de filterlooptijd dan de meer kristallijne  $\text{CaCO}_3$ -deeltjes.

De filtraattoebelheid is voor beide filters nagenoeg gelijk. Wel blijkt dat een beter onthardingsproces, verkregen bij een kleinere korrel diameter, eveneens een lagere filtraattoebelheid geeft.

Afb. 3 – Troebelheid na ontharding als functie van superfiële snelheid en maximale pelletediameter voor behandeling van ruw- en rein water.



Afb. 4 – Oververzadiging als functie van het onthardingstraject en maximale pelletediameter.



#### 4.3. Na-ontharding

Centrale ontharding blijkt soms in de praktijk van de drinkwatervoorziening problemen te kunnen geven ten aanzien van na-ontharding. Met name bij koken van het ontharde water is in enkele gevallen een sterk toegenomen troebeling waargenomen [2].

Onderzocht is of deze situatie ook te verwachten is bij ontharding te Castricum. Hiertoe zijn de gevolgen van koken van het thans gedistribueerde water vergeleken met onthard ruw water en onthard rein water na snelfiltratie. Tegelijkertijd is onderzocht of een zuurdosering de eventuele na-ontharding kan verminderen. Gebleken is dat door koken de troebelheid van het ontharde water met ongeveer 0,1 FTU toeneemt tot 0,25 FTU. Het koken leidt niet tot een afname van het calciumgehalte, zelfs niet na een standtijd van 72 uur. Dit in tegenstelling tot het niet ontharde water waarbij door ontharding tengevolge van het koken het calciumgehalte afnam met 20 mg/l. Bovendien nam de troebelheid toe met 8 FTU.

Een zuurdosering van 0,2 meq/l had uitsluitend effect op de troebelheid na koken van niet onthard water. De toename van de troebelheid bedroeg dan evenwel nog steeds 3 FTU.

#### 5. Optimalisatie van de ontharding

Optimalisatie van de pelletontharding kan zich richten op aspecten die voornamelijk de dimensies van de reactoren beïnvloeden (superfiële snelheid, bedhoogte) als op

aspecten die het chemicaliënverbruik bepalen.

Gezien de geringe invloed welke de grootte van de onthardingsreactoren hebben op de totale kosten voor de ontharding is een scherpe optimalisatie ten aanzien van reactordimensies niet erg winstgevend. Bovendien kan met het oog op de debiet-fluctuaties een zekere mate van flexibiliteit gewenst zijn.

Uit het onderzoek blijkt dat, bij een zekere bedhoogte, pelletontharding over een range van 75 – 125% van de optimale superficiële snelheid slechts in beperkte mate afhankelijk is van de snelheid. Deze gevoeligheid kan nog worden verminderd door het aanpassen van de bedhoogte (zie afb. 2).

De totale kosten voor de ontharding worden met name bepaald door de chemicaliën-kosten. Optimalisatie van de ontharding dient zich dan ook met name te richten op het natronloogverbruik. Bij een optimaal natronloogverbruik zal ook de eventuele na-ontharding beperkt blijven. In tabel III is voor verschillende procescondities het natronloogverbruik gegeven voor een gewenste graad van ontharding in een pelletreactor.

Gebaseerd op de kostprijs voor natronloog van 0,07 ct/m<sup>3</sup> onthard water per mg/1-dosering, blijkt de invloed van de pelletdiameter op de natronloogkosten ongeveer 0,5 – 1 ct/m<sup>3</sup> onthard water te bedragen bij ontharding tot 1,0 mmol/l calcium.

Bij ontharding tot 0,5 mmol/l calcium behoeft slechts 70% van de totale waterstroom onthard te worden om een calciumgehalte van 1,0 mmol/l in het reine water te verkrijgen. Uit de gegevens in tabel III is af te leiden dat het totale loogverbruik bij een dergelijke 'split-treatment' 10–15% hoger is dan bij behandeling van de gehele produktie, bij een maximale pelletdiameter van 1,0 mm. Bij een maximale pelletdiameter van 0,5 mm is split-treatment evenwel mogelijk zonder een verhoging van het totale loogverbruik. Opgemerkt dient te worden dat hierbij geen rekening is gehouden met de na-ontharding in de snelfilters. De conclusie ten aanzien van split-treatment wordt hierdoor echter niet wezenlijk beïnvloed.

## 6. Conclusies

Op basis van het verrichte onderzoek kunnen de volgende conclusies worden geformuleerd:

- Pelletontharding blijkt binnen een range van 75 – 125% van de optimale snelheid weinig gevoelig te zijn voor veranderingen in superficiële vloeistofsnelheid. Door variatie van de bedhoogte is deze ongevoeligheid nog te vergroten.
- Pelletontharding blijkt aanmerkelijk beter te verlopen bij een kleinere maximale pelletdiameter. Bij een maximale pellet-

diameter van 0,5 mm kan bij ontharding van het onderzochte duin/infiltratiewater een oververzadiging in het effluent worden bereikt van slechts 0,05 mmol/l.

c. Pelletontharding blijkt voor ontharding op het pompstation Castricum een gunstige invloed te hebben op de looptijd van de nageschakelde snelfilters door de gedeeltelijke verwijdering van ijzer.

d. Een optimaal verlopend pelletonthardingsproces blijkt slechts in beperkte mate te resulteren in afzettingen in de nageschakelde snelfilters.

e. Troebelheid na pelletontharding is zodanig dat nafiltratie vereist is om te voldoen aan de waterkwaliteitseisen.

f. Ontharding en filtratie van het duin/infiltratiewater heeft geen hinderlijke na-ontharding tot gevolg.

## Symbolenlijst

- $d_p$  = maximale pelletdiameter  
 $h_f$  = bedhoogte in rust  
 $v$  = superficiële vloeistofsnelheid  
 $Ca_{inf}$  = calciumgehalte influent

## Literatuur

- Graveland, A., Prinsen Geerligts, W. L. en Soleman, M. A. A. *Centrale hardheidscorrectie door kristallisatie*. H<sub>2</sub>O (6) 1973, nr. 15, p. 382
- Van Ammers, M. *De zuivering in het nieuwe Spannenburg*. H<sub>2</sub>O (15) 1982, nr. 18, p. 487.
- Maurits, W. *Ontharding met pelletreactor te Castricum*. Stageverslag TH Delft ST, 1981.
- Dijkhoorn, J. C. *Pelletontharding bij het PWN pompstation Castricum*. Afstudeerverslag TH Delft CT, 1982.
- Het kalk-koolzuurevenwicht opnieuw bezien*. Interne DHV-publicatie, 1982, 118 blz.

## Bezinking, mineralisatie en opwoeling

### ● Slot van pagina 323

dagelijks aangevoerde hoeveelheid op weekdagen; in de winter lopen deze percentages door de aanmerkelijk vertraagde mineralisatie op tot 20–30% van de dagelijks aangevoerde vuilvracht op weekdagen.

## Slotbeschouwing

Het is duidelijk dat bovengenoemde conclusies alleen gelden voor het betreffende rioleringsgebied te Breda. De karakteristieken ten aanzien van het afvalwater, aard van het rioolstelsel, uitgestrektheid van het afwaterende gebied en dergelijke zijn specifiek, waardoor de uitkomsten van dit onderzoek niet zonder meer betrokken kunnen worden op andere rioolstelsels. Het verdient aanbeveling een dergelijke analyse ook voor andere stelsels uit te voeren, teneinde ook kwantitatief inzicht te verkrijgen in de effecten van de verschillende vuilastparameters die de vuiluitworp uit gemengde rioleringsystemen bepalen. Verwacht wordt dat wanneer meerdere

rioolstelsels op analoge wijze worden geanalyseerd, essentiële gegevens omtrent de vuiluitworp uit rioolstelsels beschikbaar zullen komen. Dit zal een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan het op basis van kosten en effectiviteit optimaliseren van rioolstelsels en daardoor aan een 'verantwoorde' bescherming van de ontvangende oppervlaktewateren.

## Dankwoord

Veel dank is verschuldigd aan het Hoogheemraadschap West-Brabant voor het ter beschikking stellen van het gegevensbestand. De inspanning van de heer ir. R. E. M. van Oers is in deze bijzonder op prijs gesteld.

## Referentie

- Baker, R. J. and Nelder, J. A. (1978). *GLIM manual*. Numerical Algorithms Group, Oxford.



## Agenda

20 juni - 8 juli 1983, Amsterdam:

1st International Summer Programme on Health Services Evaluation 'The Evaluation of Drinking Water and Sanitation Projects'. Inl.: Dr. J. M. V. Oomen, Koninklijk Instituut voor de Tropen, Mauritskade 63, 1092 AD Amsterdam.

4 - 7 juli 1983, York, UK: Third River Management Conference. Inl.:

D. H. Newsome, 7th Floor, Reading Bridge House, Reading, Berkshire RG1 5PS, UK.

12 - 14 juli 1983, London, UK: World Water '83, The World Problem, The first of a series of three congresses (1983, 1986, 1989) in support of the United Nations International Drinking Water Supply and Sanitation Decade 1981 - 1990.

Inl.: Richard West, World Water Congress '83, County House, 10 Little Portland Street, London, W1N 5DF, UK.

14 - 20 augustus 1983, Boston, USA: Third International Symposium on Anaerobic Digestion. Inl.: Third Int. Symp. Anaerobic Digestion, 99 Erie Street, Cambridge, MA 02139 USA.

24 - 26 augustus 1983, Kopenhagen, Denemarken: Specialised Seminar 'Rain Fall as the Basis for Urban Run-off Design and Analysis'. Inl.: Prof. Poul Harremoës, Department of Sanitary Engineering, Building 115C, Technical University of Denmark, DK-2800 Lyngby, Denmark.

6 - 8 september 1983, Londen, UK: International Symposium on the Sources, Transport Pathways, Properties and Effects of Highway Pollution. Inl.: Dr. R. Hamilton, Urban Pollution Research Centre, Middlesex Polytechnic Queensway, Enfield, Middlesex, EN3 4SF, UK.

