
mededeling
nummer **102**

ontharden in korrelreactoren



liiwa

mededeling
nummer **102**

ontharden in korrelreactoren

Rapport van de Werkgroep Ontharding
in korrelreactoren

Samengesteld door:
ing. A. Kostense

KIWA N.V.
Hoofdafdeling Speurwerk
Nieuwegein, oktober 1988

INHOUD	Blz.
VERANTWOORDING	3
SAMENVATTING	5
1. INLEIDING	7
2. WAT IS CENTRALE DEELONTHARDING?	11
3. ARGUMENTEN VOOR HET TOEPASSEN VAN DEELONTHARDING	13
3.1 Volksgezondheid	13
3.2 Economie	14
3.3 Milieubeheer	14
3.4 Gebruikscomfort	15
4. GRONDSLAGEN VAN HET ONTHARDEN IN KORRELREACTOREN	17
5. PROCESVARIABLEN DIE VAN BELANG ZIJN VOOR WERKING EN ONTWERP VAN KORRELREACTOREN	25
5.1 Het beoordelen van de werking van een korrelreactor	25
5.2 De invloed van procesvariabelen op de werking van eenkorrelreactor	28
5.2.1 Diameter van de korrels	29
5.2.2 De hoogte van het korrelbed in rust	31
5.2.3 De opwaartse snelheid	32
5.2.4 Het onthardingstraject	34
5.2.5 Keuze van het entmateriaal	37
5.2.6 Concentratie natronloog/kalkmelksuspensie	38
5.2.7 Temperatuur	39
6. ASPECTEN DIE BIJ DE CHEMICALIEKEUZE EEN ROL SPELEN	41
7. HET INPASSEN VAN ONTHARDING IN EEN BESTAAND ZUIVERINGSPROCES	49
8. TECHNISCHE UITVOERING VAN KORRELREACTOREN	55

8.1	Eisen waaraan een korrelreactor moet voldoen	55
8.2	Beschrijving van in bedrijf zijnde reactortypen	57
8.3	Ontwerpaspecten van korrelreactoren	72
8.3.1	De reactorbodem	72
8.3.2	Afvoer van onthard water uit de reactor	77
8.3.3	Aan- en afvoerleidingen	78
8.3.4	Watertoevoerpompen	79
8.4	Het dimensioneren van korrelreactoren	80
8.4.1	De capaciteit van een korrelreactor	80
8.4.2	Diameter van de korrelreactor	82
8.4.3	Hoogte van de korrelreactor	82
8.5	Onderzoek naar de werking van de verschillende reactortypen	83
8.5.1	Oppervlaktewater	83
8.5.2	Grondwater	84
9.	AANMAAK EN DOSERING VAN NATRONLOOG	85
9.1	Aanvoer	85
9.2	Opslag en verdunning	85
9.3	Verdunningswater voor natronloog	87
9.4	Dosering van natronloog	87
9.5	Kwaliteit van de natronloog	90
9.6	Veiligheid bij het werken met natronloog	90
10.	AANMAAK EN DOSERING VAN KALKMELK	91
10.1	Algemeen	91
10.2	Aanvoer van kalk	92
10.3	Opslag van kalk	92
10.4	Aanmaak van kalkmelk	94
10.5	Dosering van kalkmelk	96
11.	AFVOER VAN KORRELS EN TOEVOER VAN ENTMATERIAAL	99
11.1	De aftap van korrels	99
11.1.1	De opslag van korrels	100
11.1.2	Berekening van de globale korrelproduktie	101
11.2	Toevoer van entmateriaal	102
11.2.1	Opslag van entmateriaal	102

11.2.2	Desinfektie van entmateriaal	102
11.2.3	Spoelen van entmateriaal	104
11.2.4	Berekening van de hoeveelheid entmateriaal	104
12.	PROCESBEWAKING	107
13.	PROCESREGELING	109
14.	NABEHANDELING VAN HET ONTHARDE WATER	113
15.	ONDERHOUD EN BEDIENING	117
15.1	Spannenburg	117
15.2	Noordbergum	118
15.3	Wouw	119
16.	KOSTEN VAN ONTHARDING IN KORRELREACTOREN	121
16.1	Investeringskosten	121
16.2	Chemicaliekosten	125
16.3	Kosten entmateriaal	125
16.4	Energiekosten	126
17.	AFZETMOGELIJKHEDEN VAN ONTHARDINGSKORRELS	127
18.	LITERATUUR	129
	TABELLEN	131
	BIJLAGEN	

VERANTWOORDING

Deze mededeling is opgesteld door de Werkgroep Ontharding in korrelreactoren in opdracht van de Commissie Conditionering. De Werkgroep Ontharding bestaat uit de volgende leden:

- ir. H. Vaessen (N.V. Waterleiding Maatschappij Gelderland);
(voorzitter)
- ing. A. Kostense (KIWA N.V.);
(secretaris)
- dr. M. van Ammers (N.V. Waterleiding Friesland);
- ir. J. Bruyn (N.V. Waterleiding Maatschappij Oostelijk
Gelderland);
- ir. W.H. Dierx (N.V. Waterleiding Maatschappij Limburg);
- F. Houtepen (N.V. Waterleiding Maatschappij Noord-West-
Brabant);
- ir. P.C. Kamp (Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-
Holland);
- ing. P.M. de Visser (Gemeentewaterleidingen Amsterdam);
- ing. J. Zondervan (N.V. Waterleiding Friesland).

SAMENVATTING

Wanneer de pH van drinkwater wordt verhoogd, vermindert de afgifte van lood en koper door leidingmaterialen. Voor hard water leidt een dergelijke pH verhoging tot hinderlijke kalkafzetting, zodat het water dient te worden onthard. Een vermindering van het loodgehalte van het leidingwater is vooral van belang uit het oogpunt van volksgezondheid, terwijl een vermindering van het kopergehalte van belang is uit het oogpunt van milieubeheer.

Centrale ontharding kan op technisch en economisch verantwoorde wijze worden uitgevoerd in korrelreactoren. Korrelreactoren hebben als belangrijk kenmerk, dat met grote volumestroomdichtheden kan worden gewerkt en dat de kalkafzetting plaatsvindt in de vorm van korrels, waarvoor tot dusver goede afzetmogelijkheden bestaan.

Sinds 1970 wordt in de bedrijfstak onderzoek op het gebied van het ontharden in korrelreactoren uitgevoerd. Sinds 1983 voert het KIWA in het kader van het VEWIN-speurwerkprogramma aanvullend onderzoek op dit gebied uit. Het doel van deze mededeling is om de kennis die de waterleidingbedrijven en het KIWA in de loop der jaren op het gebied van het ontharden in korrelreactoren hebben opgebouwd te structureren en toegankelijk te maken voor bedrijven die het toepassen van ontharding overwegen.

In deze mededeling wordt ingegaan op de aspecten, die bij het realiseren van ontharding in de praktijk een rol spelen, zoals de keuze van de base waarmee ontharding wordt uitgevoerd, de plaats waar ontharding in een bestaand zuiveringsproces kan worden ingepast en de benodigde nabehandeling. In de mededeling wordt bovendien uitvoerig ingegaan op de technische aspecten van ontharding in korrelreactoren aan de hand van momenteel in bedrijf zijnde reactortypen. Ten slotte worden de economische aspecten van ontharding belicht.

1. INLEIDING

Aan het eind van de zestiger jaren was een toename te constateren van de vraag van de consument naar water met een lagere totale hardheid. Dit kwam voornamelijk tot uitdrukking in het toenemende aantal onthardingsapparaten dat door de verbruikers in eigen huis werd geplaatst. Aangezien aan het toepassen van particuliere ontharders bezwaren voor het milieu en bezwaren van hygiënische aard zijn verbonden, heeft het KIWA in 1968 de Commissie Centrale Ontharding ingesteld, die tot taak had na te gaan of ontharding door waterleidingbedrijven (centrale ontharding) op ruimere schaal gewenst was. In een in 1971 verschenen rapport beveelt deze Commissie centrale ontharding van leidingwater aan, "zowel op grond van milieuhygiënische en economische motieven als uit overwegingen van welbevinden". De Commissie geeft in het rapport aan, dat de uiteindelijke hardheid van het water bij voorkeur niet lager dient te zijn dan 2 meq/l (= 1 mmol/l = 5,6 °D) (KIWA, 1971).

In 1972 heeft de toenmalige minister van volksgezondheid en milieuhygiëne aan de Gezondheidsraad gevraagd om op basis van de op dat moment beschikbare gegevens een uitspraak te doen over de gezondheidsaspecten van centrale ontharding door waterleidingbedrijven. In 1975 heeft de Gezondheidsraad de overheid geadviseerd voorlopig af te zien van centrale ontharding in verband met mogelijke risico's voor de gezondheid. De uitspraak van de raad was gebaseerd op onderzoek waaruit in de eerste plaats een verband naar voren kwam tussen de hardheid van het water en de frequentie van het voorkomen van hart- en vaatziekten (Gezondheidsraad, 1975). Verder bepleit de Gezondheidsraad in het rapport met kracht het uitvoeren van nader onderzoek.

In 1982 constateert de Werkgroep Gezondheidsaspecten van Centrale Ontharding van Leidingwater in haar rapport, dat uit in Nederland uitgevoerd onderzoek is gebleken, dat het eerder aangetroffen verband tussen de totale hardheid van drinkwater en sterfte als gevolg van onder andere hart- en vaatziekten niet langer significant is (Werkgroep GCOL, 1982). Uit een in Engeland uitgevoerd onderzoek op dit gebied is gebleken, dat er alleen voor drinkwater

met een totale hardheid kleiner dan ongeveer 1,7 mmol/l sprake is van een correlatie. De Werkgroep GCOL concludeert dat er op basis van beide bevindingen geen gezondheidkundige bezwaren meer bestaan tegen het uitvoeren van centrale deelontharding tot een totale hardheid van ongeveer 1,7 mmol/l. De Werkgroep GCOL geeft in haar aanbevelingen bovendien aan, dat het magnesiumgehalte van het drinkwater mogelijk van belang is voor de volksgezondheid, zodat het magnesiumgehalte bij ontharding zoveel mogelijk onveranderd dient te blijven. De Werkgroep vermeldt in haar rapport verder, dat door het ontharden van hardere watertypen het metaaloplossend vermogen (met name voor lood en koper) verder kan worden verlaagd en pleit voor nader onderzoek op dit gebied. In het in 1983 gewijzigde Waterleidingbesluit staat de overheid de waterleidingbedrijven officieel toe het drinkwater tot een totale hardheid van minimaal 1,5 mmol/l (8,4 °D) te verlagen (Waterleidingbesluit, 1983).

In 1978 is van de door het KIWA opgerichte Commissie Methodieken Centrale Ontharding een mededeling verschenen waarin wordt ingegaan op de wijze waarop verlaging van de hardheid van leidingwater op technisch en economisch verantwoorde wijze kan worden uitgevoerd (KIWA, 1981). In deze mededeling benadrukt de Commissie Methodieken Centrale Ontharding de voordelen van het toepassen van centrale ontharding in korrel- of pelletreactoren. De belangrijkste voordelen zijn:

- in korrelreactoren kan met een hoge volumestroomdichtheid worden gewerkt (22-28 mm/s of 80-100 m/h), waardoor de onthardingsinstallatie compact kan worden gebouwd;
- korrelreactoren werken bedrijfszeker;
- de bij ontharding optredende kalkafzetting vindt plaats in de vorm van korrels, waarvoor afzetmogelijkheden bestaan.

In gebieden waar water met een zeer hoge hardheid wordt gewonnen, worden korrelreactoren sedert het begin van de zeventiger jaren toegepast. In deze installaties wordt onthard tot een hardheid van van 2-3 mmol/l. Na het van kracht worden van het gewijzigde Water-

leidingbesluit zijn door een aantal bedrijven onthardingsinstallaties in bedrijf genomen. Momenteel wordt van de totale Nederlandse drinkwaterproduktie van ongeveer 1 miljard m³ per jaar ongeveer 260 miljoen m³ onthard, waarvan 120-125 miljoen m³ in korrelreactoren. De verwachting is dat de geïnstalleerde capaciteit op korte en middellange termijn toeneemt.

Een aantal waterleidingbedrijven voert reeds geruime tijd onderzoek op proefinstallatie- en praktijkschaal uit op het gebied van ontharding in korrelreactoren. Het KIWA verricht sinds 1983 in het kader van het project "conditionering van drinkwater" in samenwerking met een aantal waterleidingbedrijven aanvullend onderzoek op dit gebied. Dit onderzoek wordt door het ministerie van volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer gesubsidieerd.

Het doel van deze mededeling is om de kennis die de waterleidingbedrijven en het KIWA in de loop der jaren op het gebied van het ontharden in korrelreactoren hebben opgebouwd te structuren en toegankelijk te maken voor bedrijven die het toepassen van ontharding overwegen. De mededeling richt zich hierbij voornamelijk op de technische en economische aspecten van het ontharden in korrelreactoren.

2. WAT IS CENTRALE DEELONTHARDING?

Onder centrale (deel)ontharding verstaat men het verlagen van de totale hardheid van drinkwater door waterleidingbedrijven. De totale hardheid van water is gedefinieerd als de som van het calcium- en magnesiumgehalte, uitgedrukt in mmol/l. Vaak wordt de totale hardheid nog opgegeven in Duitse hardheidsgraden (°D). Voor de omrekening van mmol/l naar Duitse hardheidsgraden geldt, dat 1 mmol/l gelijk is aan 5,6 Duitse hardheidsgraden (1 mmol/l = 5,6 °D).

De minimale waarde van de totale hardheid die volgens het Waterleidingbesluit na deelontharding is toegestaan, bedraagt 1,5 mmol/l (8,4 °D). Bij het verlagen van de totale hardheid van drinkwater wordt ernaar gestreefd het magnesiumgehalte niet te veranderen. In tabel 1 is een globaal overzicht gegeven van de totale hardheid van het drinkwater zoals het op dit moment wordt gedistribueerd.

Tabel 1 De hardheid van het drinkwater in Nederland

Totale hardheid		Totale drinkwater- produktie (%)
(mmol/l)	(°D)	
< 1,5	< 8,4	44
1,6 - 2,0	9 - 11	20
2,1 - 2,5	12 - 14	18
> 2,5	> 14	18
		____+ 100

Wanneer ontharding van drinkwater met een totale hardheid van > 2 mmol/l uit economisch oogpunt aantrekkelijk wordt geacht, komt naar

schatting nog 36% van de totale drinkwaterproduktie van ongeveer 1 miljard m³ per jaar voor ontharding in aanmerking.

3. ARGUMENTEN VOOR HET TOEPASSEN VAN DEELONTHARDING

Het toepassen van centrale deelontharding biedt voordelen uit het oogpunt van volksgezondheid, economie, milieubeheer en gebruikscomfort. De belangrijkste voordelen zijn de volgende:

3.1 Volksgezondheid

Uit het oogpunt van volksgezondheid zijn de voordelen:

- . verlaging van het loodgehalte van drinkwater.

Ontharding gaat gepaard met een toename van de pH en een verlaging van het waterstofcarbonaatgehalte van het drinkwater. Het gevolg hiervan is, dat er in voorzieningsgebieden waarin loden leidingen (zonder tinvoering) en/of loodbevattende soldeermaterialen aanwezig zijn, minder lood in het drinkwater oplost, waardoor het loodgehalte van het drinkwater aan de tapkraan vermindert. Dit geldt niet uitsluitend voor lood, maar ook voor zware metalen zoals cadmium, dat in soldeermaterialen wordt toegepast. Wanneer geen loden leidingen of loodbevattende soldeermaterialen in het voorzieningsgebied aanwezig zijn, vervalt dit argument. In verband met de schadelijke invloed van lood en cadmium op de gezondheid, zijn in het Waterleidingbesluit waarden voor lood en cadmium aangegeven die niet mogen worden overschreden;

- . vermindering van het aantal huishoudelijke waterontharders.

Wanneer een waterleidingbedrijf ontharding toepast, zal het installeren van huishoudelijke waterontharders (individuele ontharding) in de meeste gevallen overbodig zijn. Deze huishoudelijke waterontharders werken in het algemeen op basis van ionenwisseling. Aan het gebruik van dit water voor de consumptie zijn hygiënische bezwaren verbonden.

3.2 Economie

Het toepassen van deelontharding beoogt:

- . vermindering van het gebruik van synthetische wasmiddelen;
- . vermindering van het onderhoud aan geisers;
- . vermindering van het energieverbruik van geisers;
- . vermindering van slijtage van textiel.

Het financiële voordeel dat voor de consument aan een verlaging van de hardheid van het leidingwater is verbonden, moet vooral worden gezocht in de vermindering van het gebruik van synthetische wasmiddelen en de vermindering van het energieverbruik. De verwachting is, dat het financiële voordeel dat ontharding voor de consument oplevert op jaarbasis groter is dan de kosten van ontharding, die hem via een tariefsverhoging worden doorberekend. Deze tariefsverhoging wordt in belangrijke mate bepaald door de schaal waarop het waterleidingbedrijf ontharding uitvoert.

3.3 Milieubeheer

Uit het oogpunt van milieubeheer zijn de voordelen:

- . verlaging van het kopergehalte van het slib van rioolwaterzuiveringsinrichtingen.

Evenals voor lood en andere zware metalen geldt, dat bij distributie van gedeeltelijk onthard water minder koper uit koperen waterleidingbuizen in het drinkwater oplost, waardoor het kopergehalte van het water aan de tapkraan vermindert. Dit leidt tot een vermindering van het kopergehalte van het slib van rioolwaterzuiveringsinrichtingen, waarin het koper zich concentreert.

Vanuit de Unie van Waterschappen wordt aandrang op de waterleidingbedrijven uitgeoefend om het kopergehalte van het leidingwater zodanig te verlagen, dat het kopergehalte in het slib voldoet aan de norm die geldt voor het toepassen van het slib in de landbouw. Behalve het kopergehalte vermindert door het toepassen van ontharding ook het gehalte aan zware metalen van het slib. De rijksoverheid stimuleert uit het oogpunt van volksgezondheid en milieubeheer een verdere verlaging van het lood- en kopergehalte van het leidingwater;

- . vermindering van de fosfaatbelasting van het milieu.

Door de vermindering van het gebruik van synthetische wasmiddelen vermindert de fosfaatbelasting van het milieu;

- . vermindering van de zoutbelasting van het milieu.

Huishoudelijke en industriële waterontharders die werken op basis van ionenwisseling worden met een zoutoplossing geregenereerd. Wanneer waterleidingbedrijven op grotere schaal deelontharding toepassen, vermindert de zoutbelasting van het milieu, doordat huishoudelijke en industriële waterontharders overbodig worden.

3.4 Gebruikscomfort

Behalve een mogelijk financieel voordeel levert het toepassen van centrale ontharding nog een aantal andere voordelen voor de consument op, zoals:

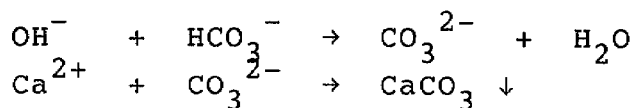
- . vermindering van de grauwsluier van wasgoed;
- . vermindering van de stugheid van wasgoed;
- . minder vlekken op planten, glaswerk en sanitair;
- . minder vliesvorming op thee;

. minder verstopping van douchekoppen.

Uit recentelijk door het KIWA uitgevoerd onderzoek is gebleken, dat de kalkafzetting in geisers in sommige gevallen toeneemt, wanneer centrale ontharding wordt toegepast. Deze voorlopige conclusie heeft ertoe geleid, dat aanvullend onderzoek op dit gebied wordt uitgevoerd.

4. GRONDSLAGEN VAN HET ONTHARDEN IN KORRELREACTOREN

De hardheid van water kan worden verlaagd door aan het water een base toe te voegen. Basen die voor toepassing in de praktijk in aanmerking komen, zijn natriumhydroxide (natronloog), calciumhydroxide (kalk) en natriumcarbonaat (soda). Wanneer aan water waarin calcium- en waterstofcarbonaationen aanwezig zijn, een base wordt toegevoegd, stijgt de pH van het water. Hierdoor wordt een deel van het waterstofcarbonaat omgezet in carbonaat. Naarmate meer base aan het water wordt toegevoegd, neemt het carbonaatgehalte verder toe, waardoor het oplosbaarheidsprodukt van calciumcarbonaat wordt overschreden. De volgende chemische reacties vinden plaats:



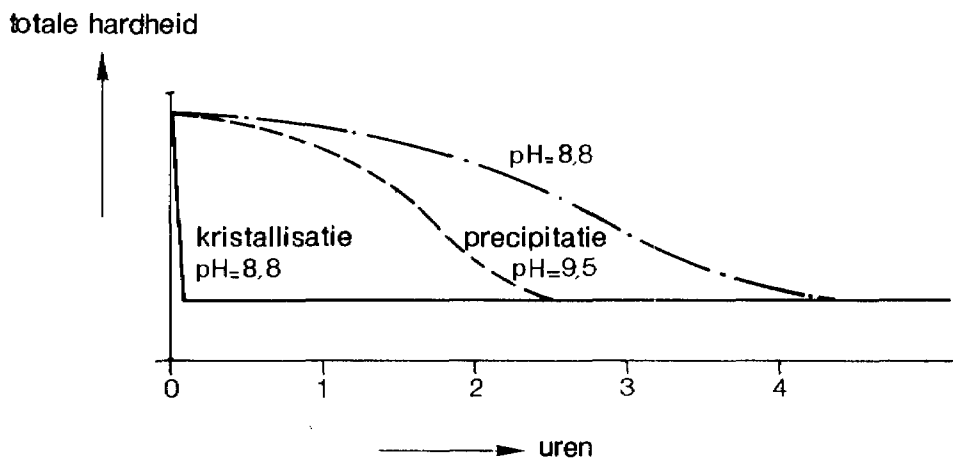
Uit de reactievergelijkingen blijkt, dat zich meer calciumcarbonaat afzet naarmate de hoeveelheid base, die aan het water wordt toegevoegd, toeneemt.

Het onthardingsproces verloopt sneller, wanneer de base met het water wordt gemengd in aanwezigheid van oppervlak (entmateriaal), waarop kristallisatie van calciumcarbonaat kan plaatsvinden. Bij dit kristallisatieproces kunnen drie opeenvolgende stappen worden onderscheiden:

- . de chemische reactie: $\text{OH}^- + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$;
- . transport van Ca^{2+} en CO_3^{2-} -ionen naar het kristallisatie-oppervlak;
- . inbouw van Ca^{2+} en CO_3^{2-} -ionen in het kristalrooster.

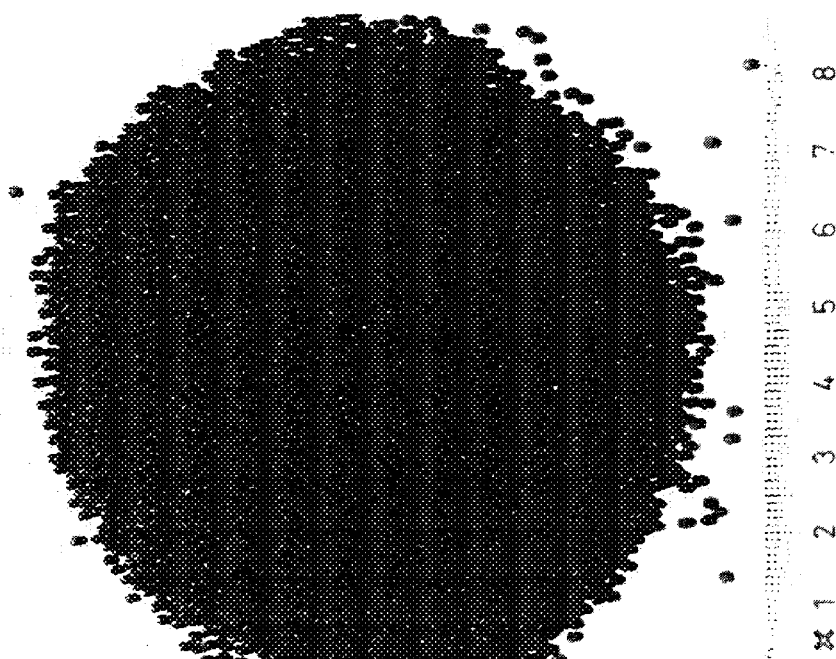
De inbouw van de calcium- en carbonaationen verloopt het traagst en is daardoor bepalend voor de snelheid waarmee het kristallisatieproces verloopt. Dit betekent dat de grootte van het korreloppervlak van essentieel belang is en dat de korreldiameter een

vrijheidsgraad is bij de optimalisatie van het onthardingsproces. In afbeelding 1 is de snelheid weergegeven waarmee de hardheid bij gelijke pH-waarde afneemt bij homogene nucleatie (vorming van waterrijke vlokken in de homogene waterfase) en bij heterogene nucleatie (kristallisatie op korrels entmateriaal).



Afbeelding 1 De snelheid van ontharding door precipitatie en kristallisatie (Graveland, 1987)

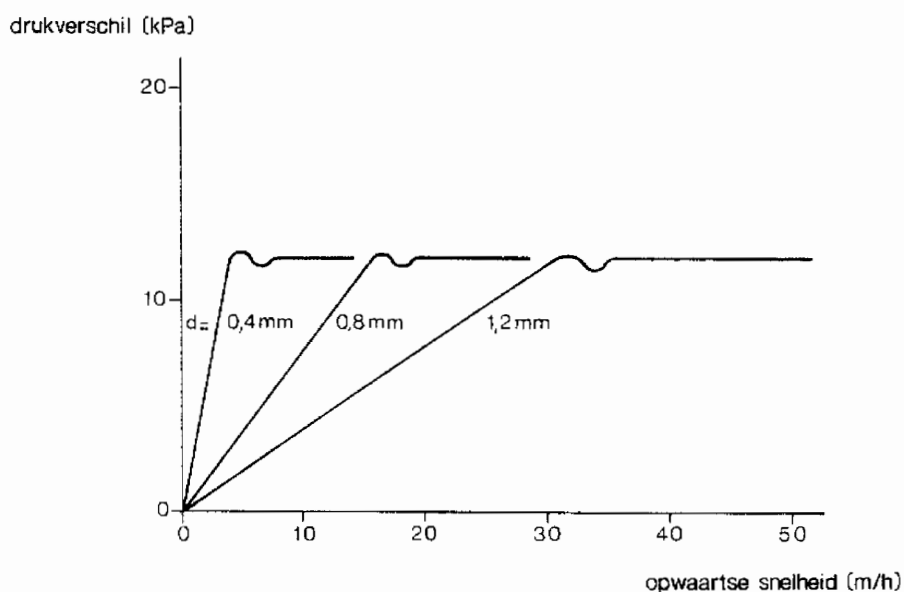
Ontharding door middel van homogene nucleatie wordt een precipitatieproces genoemd, terwijl ontharding door heterogene nucleatie een kristallisatieproces wordt genoemd. Het verloop van het precipitatieproces vergt uren, terwijl het kristallisatieproces binnen ongeveer tien seconden plaatsvindt. Precipitatie van calciumcarbonaat treedt pas op, wanneer de pH van het water na toevoeging van de base 1-1,5 hoger is dan de evenwichts-pH. Kristallisatie kan echter al plaatsvinden, wanneer de pH 0,3-0,4 eenheden hoger is dan de evenwichts-pH. De ontharding dient zodanig te worden uitgevoerd, dat tijdens de menging van de base met het water de pH-waarde waarbij precipitatie optreedt niet wordt overschreden of zodanig dat de tijdsduur waarin de overschrijding plaatsvindt zo kort mogelijk wordt gehouden.



Korrels, die bij ontharding in korrelreactoren worden gevormd

Dit is vooral van belang, wanneer met natronloog wordt onthard. Wanneer de pH-waarde waarbij precipitatie optreedt wordt overschreden, bestaat de kans dat kalkafzetting in de waterfase plaatsvindt, waardoor de troebelheid van het ontharde water toeneemt.

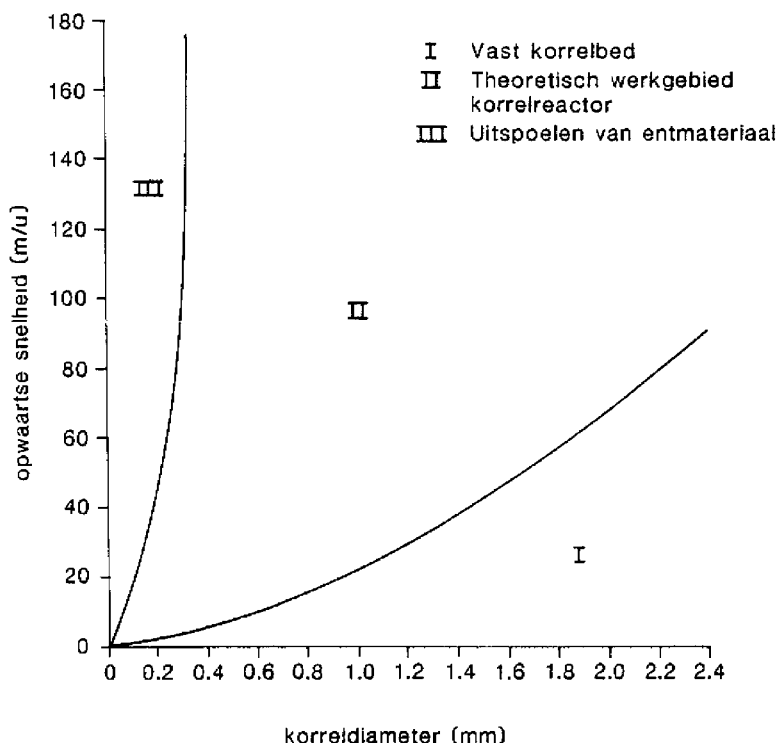
Bij het kristallisatieproces vindt kalkafzetting plaats op korrels entmateriaal. Om samenkitting van de korrels te voorkomen, moeten de korrels ten opzichte van elkaar in beweging zijn. In een korrelreactor wordt dit bereikt door het water, waaraan de base is toegevoegd, in opwaartse richting door een korrelbed te leiden, waardoor dit in zwevende of gefluidiseerde toestand wordt gebracht. Wanneer een korrelbed met toenemende snelheid in opwaartse richting wordt doorstroomd, neemt het drukverschil over het korrelbed in eerste instantie toe. Bij het overschrijden van een bepaalde waarde van de opwaartse snelheid blijft het drukverschil over het korrelbed verder constant. Het drukverschil over het korrelbed is dan gelijk geworden aan het schijnbare gewicht van het korrelbed, waardoor het korrelbed zich in zwevende toestand bevindt. In afbeelding 2 is het verloop van het drukverschil over het korrelbed als functie van de opwaartse snelheid weergegeven voor verschillende korreldiameters.



Afbeelding 2 Fluïdisatie bij opwaartse doorstroming van een korrelbed (temperatuur: 10 °C)

De minimale snelheid die nodig is om het korrelbed in zwevende of gefluïdiseerde toestand te brengen, wordt de minimum-fluïdisatiesnelheid genoemd. Wanneer de opwaartse snelheid lager is dan de minimum-fluïdisatiesnelheid bestaat de kans dat samenkitting van de korrels optreedt. De waarde van de minimum fluïdisatie-snelheid wordt bepaald door de korreldiameter en door de temperatuur van het water. De minimum-fluïdisatiesnelheid bedraagt bij een korreldiameter van 1 mm (dit is een waarde, waarbij de korrels in het algemeen uit de reactor worden verwijderd) ongeveer 25 m/h.

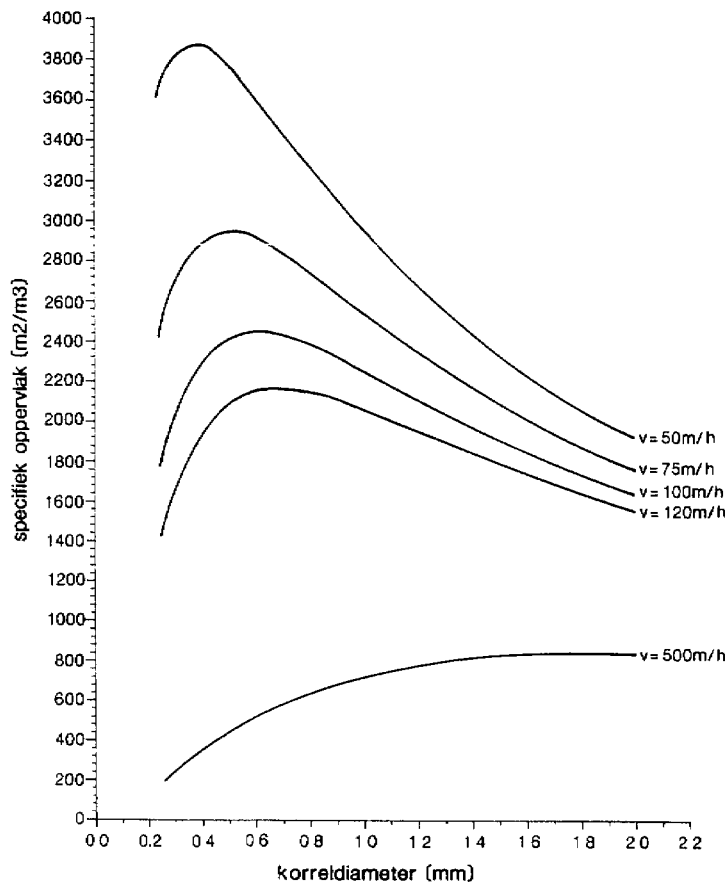
In afbeelding 3 is het theoretisch werkgebied van een korrelreactor weergegeven. Dit werkgebied wordt aan de onderzijde begrensd door de minimum-fluïdisatiesnelheid van de grootste korrels en aan de bovenzijde door de opwaartse snelheid waarbij de fijnste fractie van het entmateriaal uit de reactor wordt gespoeld.



Afbeelding 3 Het theoretisch werkgebied van een korrelreactor (temperatuur: 10 °C)

Doordat zich op de zwevende korrels entmateriaal kalk afzet, neemt de diameter van de korrels toe. De aangegroeide korrels worden periodiek uit de reactor verwijderd en vervangen door nieuw entmateriaal. De diameter van de korrels in het korrelbed is zoals blijkt uit afbeelding 3 aan grenzen gebonden. De bovengrens van de korreldiameter dient zodanig te zijn, dat bij de heersende opwaartse snelheid in de reactor nog expansie optreedt, waardoor samenkitting wordt voorkomen. De ondergrens van de korreldiameter wordt bepaald door de snelheid waarmee de korrels in de waterstroom uit de reactor worden meegevoerd. De toelaatbare onder- en bovengrens van de korreldiameter worden verder bepaald door het ontwerp van de reactor.

Het specifiek korreloppervlak in het onderste gedeelte van het korrelbed bepaalt de snelheid waarmee het onthardingsproces verloopt. Onder het specifiek oppervlak wordt het korreloppervlak per m^3 geëxpandeerd korrelbed verstaan. Het specifiek korreloppervlak wordt bepaald door de korreldiameter, de (schijnbare) opwaartse snelheid in het korrelbed en door de temperatuur van het water. Bij niet-homogene korrelbedden, waarin de spreiding in korreldiameter soms aanzienlijk is (bijvoorbeeld in korrelreactoren met een konisch ondergedeelte) kan bij een schatting van het specifiek oppervlak het best worden uitgegaan van de gemiddelde korreldiameter (d_{50}). In afbeelding 4 is bij een temperatuur van 12 °C het specifiek oppervlak als functie van de opwaartse snelheid weergegeven. Bij hogere temperaturen is het specifiek oppervlak groter dan de in de grafiek aangegeven waarden, terwijl bij lagere temperaturen het specifiek oppervlak kleiner is.



Afbeelding 4 Het specifiek korreloppervlak als functie van de korreldiameter en de opwaartse snelheid (temperatuur 12°C)

Uit afbeelding 4 volgt, dat het specifiek korreloppervlak kleiner wordt wanneer de korreldiameter of de opwaartse snelheid toeneemt.

Het stromingsbeeld in een gefluïdiseerd bed wordt in belangrijke mate bepaald door de vorm van de reactor en door de wijze waarop het te ontharden water in de reactor wordt geleid. Wanneer het water gelijkmatig over de doorsnede van de reactor wordt verdeeld, treedt in een volkomen cilindrische reactor bij de in de praktijk toegepaste snelheden homogene fluïdisatie op. De fluïdisatie is homogeen als bij snelheden hoger dan de minimum-fluïdisatiesnelheid de gemiddelde afstand tussen de korrels bij toenemende opwaartse

snellheid groter wordt (expansie van het korrelbed). Een gelijkmatige verdeling over de doorsnede van de reactor wordt bereikt door het water via een groot aantal invoerdoppen met voldoende weerstand in de reactor te leiden. Bij homogene fluïdisatie treedt in het korrelbed nauwelijks horizontale menging op. Dit betekent, dat een base alleen goed met het te ontharden water kan worden gemengd, wanneer deze via een groot aantal in de bodem aangebrachte doppen wordt ingevoerd.

Wanneer de waterstroom via een beperkt aantal invoerpunten wordt ingevoerd in een reactor die niet volkomen cilindrisch van vorm is, treedt heterogene fluïdisatie op. Dit wil zeggen dat een deel van het water via "kanalen" door (een deel van) het korrelbed stroomt.

5. PROCESVARIABLEN DIE VAN BELANG ZIJN VOOR WERKING EN ONTWERP VAN KORRELREACTOREN

De kwaliteit van het effluent van een korrelreactor wordt behalve door het ontwerp van de korrelreactor bepaald door een aantal procesvariabelen. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de invloed van een aantal relevante procesvariabelen op de werking van een korrelreactor. In hoofdstuk 8 wordt ingegaan op enige ontwerpaspecten van korrelreactoren.

5.1 Het beoordelen van de werking van een korrelreactor

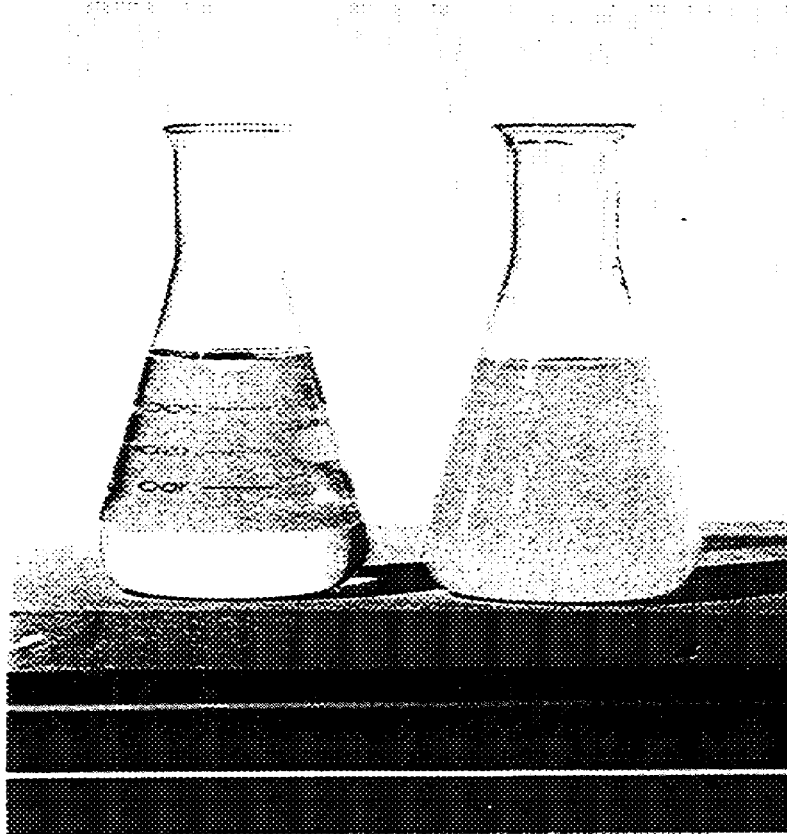
De werking van een korrelreactor kan worden beoordeeld aan de hand van de volgende grootheden:

- verandering van de watersamenstelling in de korrelreactor.

De werking van een korrelreactor kan worden beoordeeld aan de hand van de verandering van de totale hardheid, het waterstofcarbonaat/carbonaat- en het natriumgehalte (alleen bij ontharding met natronloog of soda), de soortelijke geleiding (alleen bij ontharding met kalkmelk), de troebelheid en de pH. Een aantal van deze parameters worden in het effluent van de korrelreactoren continu gemeten. Bij ontharding met kalkmelk is de afname van de soortelijke geleiding zo groot, dat deze als stuursignaal voor de kalkdosering kan worden gebruikt. Bij ontharding met natronloog is de afname van de soortelijke geleiding geringer.

- hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat in het effluent van de korrelreactor

In een korrelreactor vindt de onthardingsreactie niet volledig tot het evenwicht plaats, waardoor de pH-waarde van het ontharde water altijd enige tienden eenheden hoger is dan de evenwichtspH.



LARGE HOTPLATE



Troebeling na koken van onthard water

Dit betekent dat in het ontharde water altijd een (geringe) hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat aanwezig is. Om afzetting van calciumcarbonaat (naontharding) in de afvoerleidingen van de korrelreactoren en in de volgende zuiveringsstap (bijvoorbeeld in filters) tot een minimum te beperken, dient de hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat in het effluent van de reactor kleiner te zijn dan 0,1 mmol/l (10 mg/l) en bij voorkeur kleiner dan 0,05 mmol/l (5 mg/l). Deze waarden zijn minder kritisch wanneer deelstroomontharding wordt toegepast, waarbij het ontharde water met niet onthard water vóór de nabehandelingsinstallatie wordt gemengd of wanneer het afzetbaar calciumcarbonaat wordt verminderd door het doseren van zuur.

De werking van een korrelreactor wordt het best beschreven door de hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat, die in het effluent van de korrelreactor aanwezig is. De hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat kan worden berekend uit de pH, het calcium-, waterstofcarbonaat- en carbonaatgehalte, de temperatuur en de soortelijke geleiding van het water. Een computerprogramma voor het berekenen van de hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat is opgenomen in bijlage 1;

- verhoging van de troebelheid van het ontharde water na koken.

Bij ontharding met natronloog kunnen in de waterfase microscopisch kleine calciumcarbonaatkristallen worden gevormd (Van Ammers, 1982). Deze kristallen ontstaan, doordat de menging niet optimaal verloopt en/of doordat onvoldoende korreloppervlak aanwezig is op de plaats waar de natronloog met het water wordt gemengd. De concentratie waarin deze kristallen in het ontharde water aanwezig zijn, is zeer gering. Wanneer de vorming van calciumcarbonaatkristallen in de korrelreactor niet kan worden voorkomen, dienen deze in een volgend behandelingsproces uit het water te worden verwijderd. Bij grondwaterpompstations wordt hiertoe meestal vlokingsfiltratie (dosering van een geringe hoeveelheid vlokmiddel vóór snelfilters) toegepast. Wanneer de kristallen in de nabehandelingsinstallatie onvoldoende worden

verwijderd en in het leidingwater terechtkomen, geven ze aanleiding tot klachten van de consument over troebeling in het water na koken. Het is vrijwel zeker dat deze kristallen ook de kalkafzetting in warmtapwaterapparatuur bevorderen.

De troebelheid na koken van het ontharde water dient zo laag mogelijk te zijn. Door het KIWA is een meetmethode ontwikkeld om de troebelheid na koken op een reproduceerbare wijze te bepalen. Met behulp van deze meetmethode kan de vorming van calciumcarbonaatkristallen in de korrelreactor en de verwijdering daarvan in de volgende zuiveringsstap(pen) worden gevolgd. De meetmethode is in bijlage 2 beschreven;

- gehalte aan zwevende stof in het effluent van de korrelreactor.

Bij ontharding met kalkmelk neemt het gehalte aan zwevende stof in de korrelreactor in het algemeen toe tot 20-60 mg/l. De zwevende stof bestaat voornamelijk uit calciumcarbonaat (60-80%), calciumhydroxide (6-12%) en (afhankelijk van de plaats in het zuiveringsproces) ijzer(III)hydroxide. De zwevende stof wordt door filtratie uit het ontharde water verwijderd. Om de filters zo min mogelijk te belasten, dient het gehalte aan zwevende stof in het effluent van de korrelreactor zo laag mogelijk te zijn. Als maat voor het gehalte aan zwevende stof wordt vaak de troebelheid gebruikt. De troebelheid van het effluent van een goed werkende korrelreactor waarin met kalkmelk wordt onthard, bedraagt in het algemeen 20-40 FTE.

Bij ontharding met natronloog neemt het gehalte aan zwevende stof in de korrelreactor nauwelijks toe. De toename van de troebelheid bedraagt in het algemeen enige tienden FTE.

5.2 De invloed van procesvariabelen op de werking van een korrelreactor

De werking van een korrelreactor wordt bepaald door de volgende procesvariabelen:

- diameter van de korrels
- hoogte van het korrelbed in rust
- opwaartse snelheid
- onthardingstraject
- keuze van het entmateriaal
- concentratie van natronloog of kalkmelk
- watertemperatuur (bij ontharding van oppervlaktewater)

In tabel 5 zijn globale waarden van bovengenoemde procesvariabelen weergegeven voor de in Nederland in bedrijf zijnde onthardingsinstallaties. In de volgende paragrafen wordt (voor zover bekend) de invloed van deze procesvariabelen op de werking van de korrelreactor aangegeven.

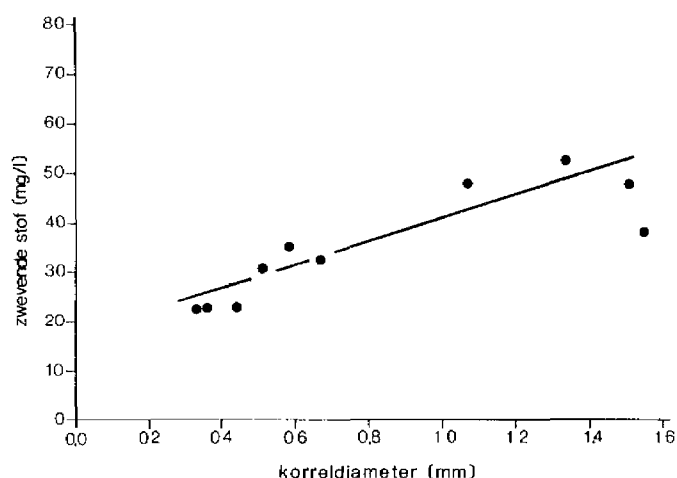
5.2.1 Diameter van de korrels

In hoofdstuk 4 is reeds vermeld, dat het specifiek oppervlak in het onderste gedeelte van het korrelbed de werking van de korrelreactor in belangrijke mate beïnvloedt. De grootte van het specifiek oppervlak wordt bepaald door de diameter van de afgetapte korrels, de opwaartse snelheid in het korrelbed en door de temperatuur.

Het specifiek korreloppervlak kan worden vergroot door een hoeveelheid te grote korrels uit de korrelreactor via een (meestal in de reactorbodem aangebracht) aftappunt uit de reactor te verwijderen. Bij de N.V. Waterleiding Friesland, waar korrelreactoren met een konisch ondergedeelte worden toegepast, bedraagt de korreldiameter, waarbij de korrels uit de reactoren worden verwijderd in het algemeen 1,0-1,2 mm (bij een temperatuur van 10 °C). Bij Gemeentewaterleidingen Amsterdam, waar cilindrische korrelreactoren in bedrijf zijn, worden de korrels in de wintermaanden afgetapt bij een gemiddelde diameter (d_{50}) van 0,8 mm en in de zomermaanden bij een gemiddelde diameter (d_{50}) van 1,1 mm.

Bij ontharding met kalkmelk is door de Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant bij een toename van de gemiddelde korreldiameter (d_{50}) van 0,45 tot 1,10 mm een toename van het gehalte aan zwevende

stof geconstateerd van 40-90 mg/l. Hierbij dient te worden opgemerkt, dat dit uitsluitend het geval is wanneer de korrels ook in het konische bovengedeelte van de reactor aanwezig zijn. Wanneer de korrels uitsluitend in het cilindrische gedeelte aanwezig zijn, verandert het zwevende stofgehalte nauwelijks bij het toenemen van de korreldiameter van 0,9 tot 1,2 mm. Uit de resultaten van het onderzoek van de WNWB volgt, dat de kwaliteit van het effluent tevens in belangrijke mate wordt bepaald door het ontwerp van de reactor. In afbeelding 5 is het verband tussen de korreldiameter en het gehalte aan zwevende stof weergegeven in een cilindrische proefreactor van het KIWA, waarin met kalkmelk wordt onthard.



Afbeelding 5 Het zwevende-stofgehalte als functie van de korreldiameter bij ontharding in een proefreactor met een diameter van 0,40 m met kalkmelk (hoogte korrelbed in rust: 2 m, onthardingstraject 0,8 mmol/l) (KIWA, 1987)

Uit afbeelding 5 blijkt, dat het gehalte aan zwevende stof bij constante korrelbedhoogte en toenemende korreldiameter een stijgende tendens vertoont.

Zoals reeds is opgemerkt wordt de grootte van het korreloppervlak in stand gehouden door regelmatig korrels uit de reactor af te tappen. In praktijkinstallaties varieert de aftapfrequentie van twee maal per week (WNWB) tot enige malen per dag (GWA). Uit de meeste korrelreactoren wordt een zodanige hoeveelheid korrels afgetapt, dat de gemiddelde hoogte van het korrelbed in rust op een vaste waarde wordt gehouden. Bij het in bedrijf stellen van korrelreactoren dient de optimale korreldiameter proefondervindelijk te worden vastgesteld. Deze optimale korreldiameter neemt af bij een dalende watertemperatuur.

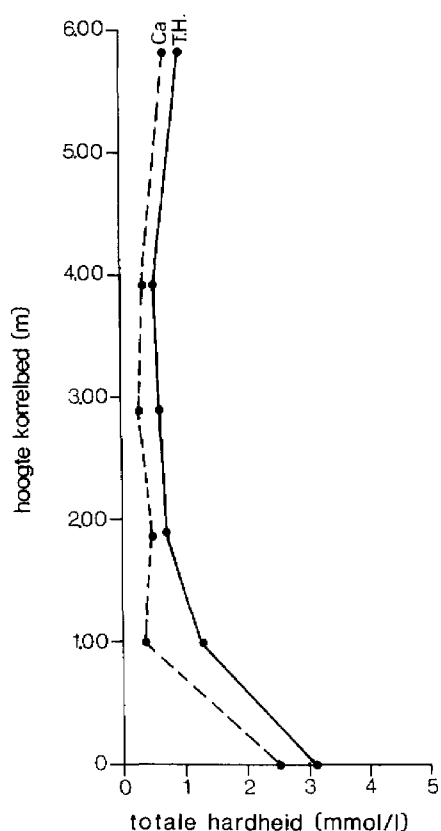
5.2.2 De hoogte van het korrelbed in rust

De hoogte van het korrelbed in de korrelreactoren met een konisch ondergedeelte waarin met natronloog wordt onthard, bedraagt ongeveer 3-3,5 m. In de cilindrische reactoren van Gemeentewaterleidingen Amsterdam wordt een (vaste) korrelbedhoogte van ongeveer 2 m toegepast.

De gemiddelde hoogte van het korrelbed in reactoren met een konisch ondergedeelte waarin met kalkmelk wordt onthard, bedraagt in de praktijkinstallaties ongeveer 3,5 m. In de cilindrische proefreactor van het KIWA, waarin met kalkmelk wordt onthard, zijn op een aantal lokaties met een korrelbedhoogte van 2 m een goede resultaten bereikt.

Onderzoek door N.V. Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant heeft aangetoond, dat de kwaliteit van het effluent van de korrelreactoren bij een constante gemiddelde korreldiameter (1 mm) niet verandert, wanneer de hoogte van het korrelbed in de reactor toeneemt van 3,5 tot 4,5 m. De minimaal benodigde bedhoogte is tot dusver niet vastgesteld. Wel is uit onderzoek met een korrelreactor in Seppe gebleken, dat het gehalte aan zwevende stof toeneemt, naarmate het korrelbed minder hoog wordt.

In het algemeen vindt de hardheidsverlaging plaats in de onderste 1-1,5 m van het geëxpandeerde korrelbed. In afbeelding 6 is het verloop van het onthardingsproces in een korrelreactor als functie van de hoogte van het geëxpandeerde korrelbed weergegeven.



Afbeelding 6 Het verloop van het onthardingsproces in een korrelreactor te Seppe (WNWB)

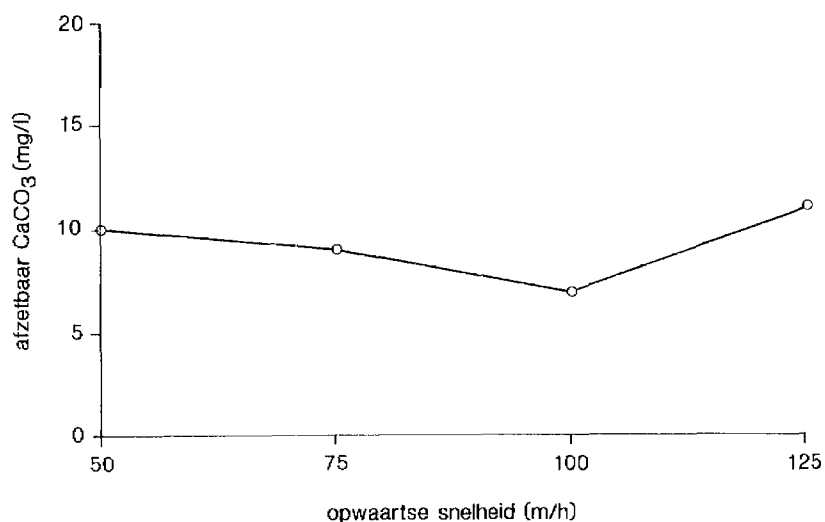
Het drukverschil over het geëxpandeerde korrelbed is bij benadering gelijk aan de hoogte van het korrelbed in rust. Bij verhoging van het korrelbed neemt het energieverbruik van het proces toe. De optimale hoogte van het korrelbed wordt tevens bepaald door het ontwerp van de korrelreactor en dient tijdens het opstarten van de reactoren proefondervindelijk te worden vastgesteld.

5.2.3 De opwaartse snelheid

De minimale waarde van de opwaartse snelheid in een korrelreactor wordt bepaald door de minimum-fluïdisatiesnelheid van de grootste korrels; de maximale waarde wordt bepaald door de kwaliteit van het effluent van de korrelreactor of door de snelheid waarmee het entmateriaal uit de reactor wordt gespoeld. In installaties waarin

met natronloog wordt onthard, bedraagt de opwaartse snelheid 80-125 m/h.

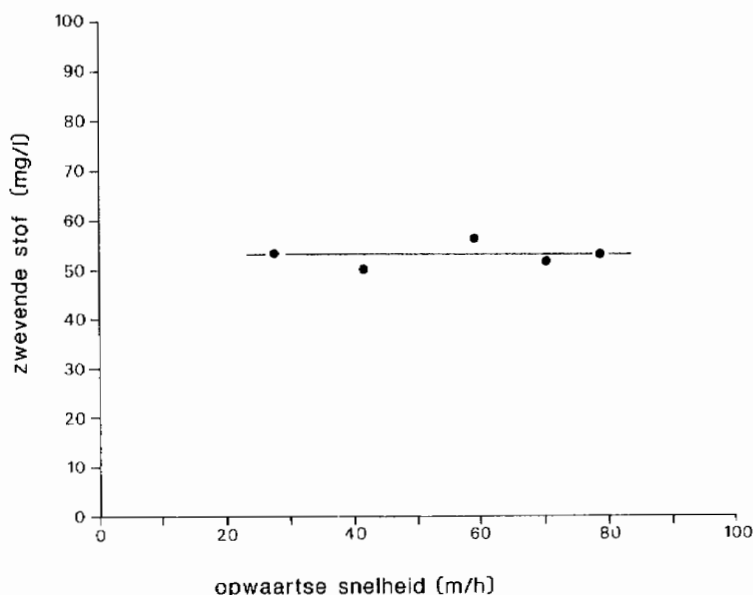
In afbeelding 7 is het verband tussen de opwaartse snelheid in het korrelbed en de hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat in het effluent van een proefreactor van het KIWA (diameter: 0,40 m) weergegeven, waarin voorfiltraat van het pompstation Oldenzaal met natronloog werd onthard. Uit deze afbeelding blijkt, dat de hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat in het effluent van de proefreactor nauwelijks verandert, wanneer de opwaartse snelheid toeneemt van 50 tot 125 m/h. Onderzoek door Gemeentewaterleidingen Amsterdam met een cilindrische korrelreactor op praktijkschaal bevestigt deze conclusie.



Afbeelding 7 De werking van een korrelreactor als functie van de opwaartse snelheid bij ontharding met natronloog (totale hardheid: 1,3 mmol/l) (KIWA, 1987)

De opwaartse snelheid in korrelreactoren waarin met kalkmelk wordt onthard ligt tussen 60 en 100 m/h. In afbeelding 8 is voor een korrelreactor van de N.V. Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant waarin met 1%-ige kalkmelk wordt onthard, het verband weergegeven tussen de opwaartse snelheid en het gehalte aan zweven-

de stof in het effluent. Uit deze afbeelding blijkt, dat bij variatie van de opwaartse snelheid tussen 30 en 80 m/h het gehalte aan zwevende stof in het effluent van de reactor niet verandert. Onderzoek door het KIWA met een proefreactor op een tweetal lokaties heeft aangetoond, dat bij een toename van de opwaartse snelheid tussen 50 en 100 m/h de kwaliteit van het reactoreffluent niet verandert.



Afbeelding 8 De werking van een korrelreactor als functie van de opwaartse snelheid bij ontharding met kalkmelk (totale hardheid: 1,0 mmol/l) (WNWB)

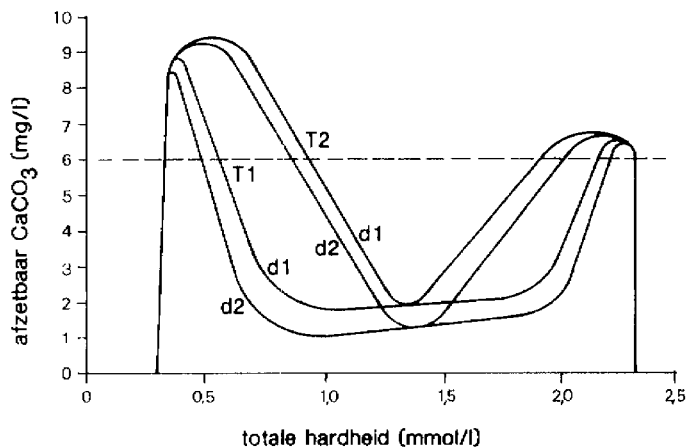
5.2.4 Het onthardingstraject

Het onthardingstraject van de in bedrijf zijnde korrelreactoren ligt tussen 0,7 en 2,7 mmol/l. Ontharding tot de wettelijk toegestane minimale totale hardheid van 1,5 mmol/l kan op twee manieren worden uitgevoerd:

- door het verlagen van de totale hardheid van de totale volumestroom van het pompstation tot de minimaal toegestane totale hardheid (hoofdstroomontharding);

- door het verlagen van een deel van de totale volumestroom van het pompstation tot een lagere totale hardheid dan 1,5 mmol/l, gevolgd door opmengen met niet-onthard water (via een omloopleiding) tot de gewenste waarde van de totale hardheid is bereikt (deelstroomontharding).

Voordat tot de bouw van een installatie kan worden overgegaan, dient in een proefinstallatie te worden vastgesteld, hoe het onthardingsproces als functie van het onthardingstraject verloopt. Door Gemeentewaterleidingen Amsterdam is een verband aangetoond tussen het onthardingstraject en de hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat in het effluent van de korrelreactoren (Graveland, 1987). Dit verband is in afbeelding 9 weergegeven.

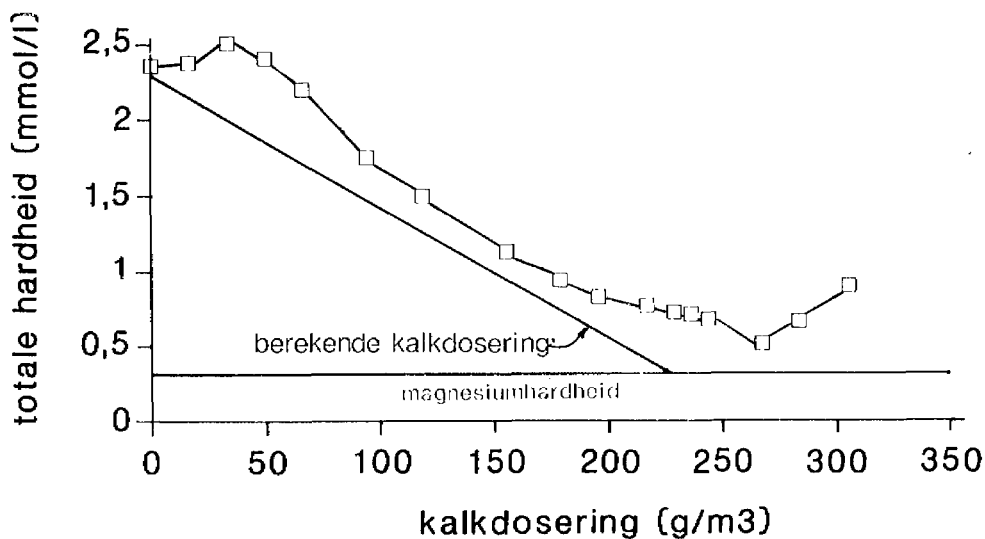


Afbeelding 9 De hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat als functie van de totale hardheid van het reactoreffluent bij ontharding met natronloog (bedhoogte in rust: 2 m, opwaartse snelheid: 80 m/h, $T_1 = 0,5^\circ\text{C}$, $T_2 = 3,0-3,5^\circ\text{C}$, $d_1 = 0,8-0,9$ mm, $d_2 = 0,6$ mm) (GWA)

Uit deze afbeelding volgt, dat de hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat bij een bepaalde waarde van de totale hardheid een minimum bereikt, waarvan de plaats wordt bepaald door de temperatuur van het water en waarvan de waarde wordt bepaald door de korreldiameter. Uit de afbeelding volgt tevens, dat een verlaging van de

totale hardheid pas optreedt, zodra de hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat een drempelwaarde overschrijdt. Dit betekent, dat een homogene pH over de doorsnede van de reactor van belang is.

In afbeelding 10 is voor onbelucht grondwater (SI=0), dat in de proefreactor van het KIWA met kalkmelk is onthard, het verband weergegeven tussen de kalkdosering en de totale hardheid van het effluent van de reactor. Uit deze afbeelding blijkt eveneens, dat een verlaging van de totale hardheid pas optreedt, wanneer de hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat een drempelwaarde overschrijdt. Uit dit onderzoek volgt tevens, dat de minimale waarde van de totale hardheid iets boven de magnesiumhardheid ligt.



Afbeelding 10 Ontharding van onbelucht ruwwater (SI=0) met 1%-ige kalkmelk (korrelbedhoogte in rust: 2 m, korrelgrootte: 1-1,2 mm) (KIWA, 1987)

Onderzoek op proefinstallatieschaal door het KIWA naar ontharding van onbelucht ruwwater met kalkmelk heeft aangetoond, dat het zwevende-stofgehalte in het reactoreffluent in het algemeen toeneemt, wanneer dieper wordt onthard. Bij de ontharding van reinwater bij het pompstation Zoelen bleef het zwevende-stofgehalte over het onderzochte onthardingstraject vrijwel constant. Bij het

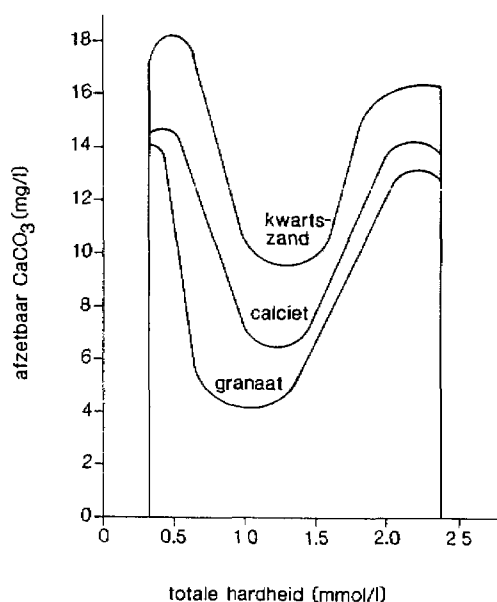
pompstation Altena te Wouw werd bij het ontharden van belucht ruwwater geen verschil in het zwevende stofgehalte vastgesteld bij toenemend onthardingstraject.

5.2.5 Keuze van het entmateriaal

In de praktijkreactoren wordt voornamelijk zand (soortelijke massa: 2700 kg/m^3) als entmateriaal toegepast. De meest voorkomende korreldiameters zijn 0,1-0,3 mm, 0,2-0,6 mm en 0,4-0,6 mm. Wanneer zand met een korreldiameter van 0,1-0,3 mm als entmateriaal wordt gebruikt, bedraagt het verbruik aan entmateriaal ongeveer 1-2% van de hoeveelheid afgetapte korrels. Bij gebruik van zand met een korreldiameter van 0,4-0,6 mm als entmateriaal bedraagt het verbruik ongeveer 10% van de hoeveelheid afgetapte korrels. Het toepassen van zand 0,1-0,3 mm als entmateriaal heeft het voordeel, dat de korrels bij een kleinere diameter uit de reactoren kunnen worden afgetapt. Bovendien is het zandgehalte van de gevormde korrels geringer ($< 2\%$), wat van belang kan zijn voor het afzetten van de korrels aan de industrie.

Gemeentewaterleidingen Amsterdam voert momenteel een onderzoek uit, waarbij granaatzand (soortelijke massa: 4100 kg/m^3) en gebroken korrels als entmateriaal worden gebruikt in plaats van zand (soortelijke massa: 2700 kg/m^3). Door de grotere soortelijke massa van granaatzand kan een kleinere korreldiameter worden gebruikt dan die van het huidige entmateriaal (zand: 0,4-0,6 mm) zonder dat het entmateriaal uit de reactor wordt gespoeld. Hierdoor kunnen de korrels bij een kleinere diameter uit de reactoren worden afgetapt dan momenteel het geval is, waardoor de hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat in het effluent van de reactoren vermindert. Wanneer granaatzand wordt gebruikt, vermindert het verbruik aan entmateriaal van ongeveer 10% tot ongeveer 1% van de hoeveelheid afgetapte korrels. Hoewel de prijs per ton voor granaatzand aanzienlijk hoger is dan die voor zand, wordt door het geringere verbruik een vermindering van de totale kosten verwacht.

In afbeelding 11 is voor de door Gemeentewaterleidingen Amsterdam onderzochte entmaterialen het verband aangegeven tussen de totale hardheid en de hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat in het effluent van de korrelreactor (Graveland, 1987).



Afbeelding 11 De invloed van het entmateriaal op de werking van de korrelreactor (GWA)

Uit afbeelding 11 blijkt, dat door het gebruik van granaatzand als entmateriaal de hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat in het effluent van de korrelreactor vermindert, doordat de korrels met een kleinere diameter uit de reactor zijn afgetapt. Onderzoek door N.V. Waterleiding Friesland heeft aangetoond, dat het vervangen van het momenteel gebruikte entmateriaal (zand 0,1-0,3 mm) door gebroken, uitgezeefde korrels geen duidelijke technische en economische voordelen biedt.

5.2.6 Concentratie natronloog/kalkmelksuspensie

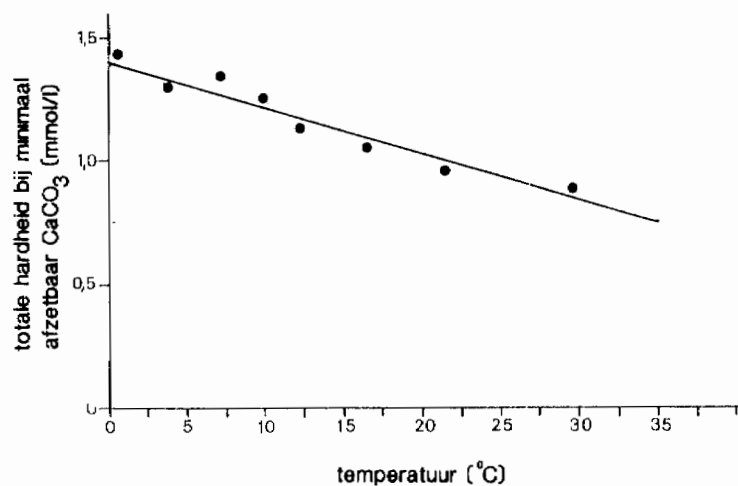
Door de Gemeentewaterleidingen Amsterdam is vastgesteld, dat de samenstelling van het ontharde water niet wordt beïnvloed door een toename van de concentratie van de natronloog van 2,5 tot 25%. De

concentratie van de natronloog ligt voor de praktijkinstallatie tussen 25 en 50%. De invloed van de loogconcentratie in het gebied tussen 25 en 50% is niet onderzocht.

De in de praktijk toegepaste concentraties van de kalkmelksuspensie ligt tussen 1 en 2,5%. Onderzoek door NWB heeft aangetoond, dat door een toename van de kalkmelkconcentratie van 0,8 tot 2,5 % het gehalte aan zwevende stof niet verandert. De hoogte van het zwevende-stofgehalte in het reactoreffluent wordt behalve door de samenstelling van het aanmaakwater en van de poederkalk tevens bepaald door de kalkmelkconcentratie en de kalkmelkdosering.

5.2.7 Temperatuur

Bij hogere temperaturen bevindt zich door het grotere specifiek korreloppervlak in het algemeen minder afzetbaar calciumcarbonaat in het effluent van de korrelreactor dan bij lagere temperaturen. Gemeentewaterleidingen Amsterdam heeft aangetoond, dat bij de ontharding van oppervlaktewater met natronloog de totale hardheid, waarbij de minimale hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat in het ontharde water aanwezig is bij toenemende temperatuur afneemt (Graveland, 1987). Dit is in afbeelding 12 weergegeven.



Afbeelding 12 De totale hardheid bij de minimale hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat als functie van de watertemperatuur (GWA)

6. ASPECTEN DIE BIJ DE CHEMICALIEKEUZE EEN ROL SPELEN

De hardheid van het water kan worden verlaagd door aan het water een base toe te voegen. De basen die in aanmerking komen, zijn natronloog (natriumhydroxide), kalk (calciumhydroxide) en soda (natriumcarbonaat). Voordat men met het ontwerpen van een onthardingsinstallatie kan beginnen, moet eerst worden onderzocht met welke base de ontharding het best kan worden uitgevoerd. Hierbij spelen de volgende aspecten een rol:

- samenstelling van het ontharde water;
- kosten;
- storings- en onderhoudsgevoeligheid;
- bedrijfsmatige aspecten.

In dit hoofdstuk wordt op bovengenoemde aspecten nader ingegaan.

- Samenstelling van het ontharde water.

De samenstelling van het ontharde water moet voldoen aan de door de Commissie Conditionering geformuleerde richtlijnen met betrekking tot afgifte door en aantasting van leidingmaterialen en het voorkomen van afzettingen. Deze aanbevelingen, die tot stand zijn gekomen na evaluatie van in 1978 door de Commissie Methodieken Centrale Ontharding geformuleerde aanbevelingen, zijn:

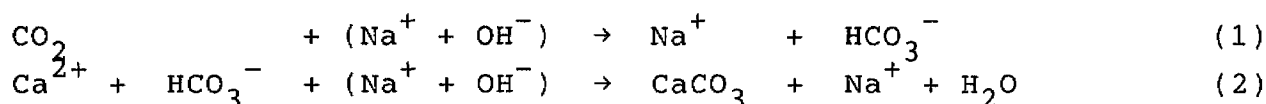
- $7,8 \text{ en } (0,38 \text{ TAC} + 1,5 [\text{SO}_4^{2-}] + 5,3) < \text{pH} < 8,3$
- $\text{TAC} > 2 \text{ mol/m}^3$ (TAC = totaal anorganisch koolstofgehalte);
- $-0,2 < \text{SI} < +0,3$ (SI = Langelier Verzadigingsindex).
- $([\text{Cl}^-] + 2[\text{SO}_4^{2-}]) / \text{TAC} < 1$

Onder het totaal anorganisch koolstofgehalte wordt de som van de concentraties van koolstofdioxide, waterstofcarbonaat en carbonaat verstaan. Wanneer de pH van het water tussen 7,8 en 8,3 ligt, is het totaal anorganisch koolstofgehalte ongeveer gelijk aan het waterstofcarbonaatgehalte.

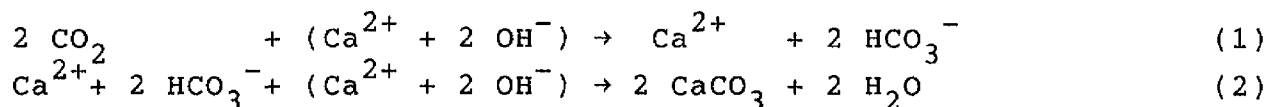
Bovengenoemde aanbevelingen hebben betrekking op een distributiesysteem waarin koper, lood, gietijzer, messing, asbestcement en cementmortel aanwezig zijn. Wanneer geen loden leidingen of loodbevattende soldeermaterialen in het voorzieningsgebied aanwezig zijn, gelden aangepaste criteria. Voor deze criteria wordt verwezen naar de mededeling "Optimale samenstelling van drinkwater" (KIWA, 1988).

Wanneer een base aan het water wordt toegevoegd, vindt eerst een ontzuringreactie (verwijdering van agressief koolstofdioxide) plaats (1) en vervolgens een onthardingsreactie (2). De bruto-reactievergelijkingen zijn:

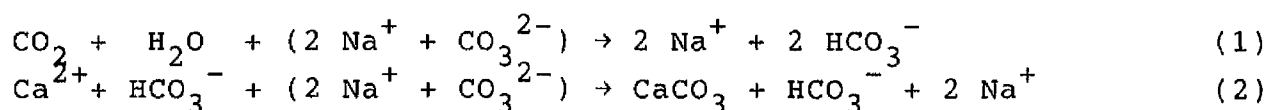
- natriumhydroxide



- calciumhydroxide



- natriumcarbonaat



Uit deze reactievergelijkingen volgt, dat bij ontharding met calciumhydroxide, natriumhydroxide en natriumcarbonaat per mmol/l toegevoegde base de totale hardheid met 1 mmol/l en het waterstofcarbonaatgehalte respectievelijk met 2, 1 en 0 mmol/l afneemt. Dit houdt in dat de verhouding tussen de waterstofcarbonaathardheid en de totale hardheid van het te ontharden water van belang is voor de keuze van de base die voor de ontharding wordt gebruikt. Voor oppervlaktewater bedraagt deze verhouding gemiddeld 0,5 en voor grondwater gemiddeld 1,0, zodat oppervlaktewater

in het algemeen met natronloog of soda kan worden onthard, terwijl grondwater met natronloog of kalk kan worden onthard. Het magnesiumgehalte neemt in een korrelreactor nauwelijks af. Een afname van het magnesiumgehalte is echter uit het oogpunt van volksgezondheid ongewenst.

De samenstelling van met natronloog, kalkmelk of soda onthard water kan nauwkeurig worden bepaald met behulp van door het KIWA ontwikkelde rekenprogramma's. Het is hierbij van belang rekening te houden met in de toekomst de verwachten wijzigingen in de watersamenstelling.

Behalve aan bovengenoemde criteria dient de watersamenstelling te voldoen aan de in het Waterleidingbesluit aangegeven waarden, die niet mogen worden overschreden, of die uitsluitend mogen worden overschreden indien ontheffing wordt verleend. De voor onthard water relevante normen zijn:

- totale hardheid > 1,5 mmol/l (8,4 °D);
- $[Na^+]$ < 120 mg/l;
- koperconcentratie na 16 uur stilstand < 3 mg/l (zie tekst);
- plateauwaarde lood < 200 µg/l (zie tekst).

De in het Waterleidingbesluit aangegeven koperconcentratie, die redelijkerwijze niet mag worden overschreden, bedraagt 3 mg/l na zestien uur stilstand. Voor koperen leidingen met een niet te grote diameter komt de koperconcentratie na zestien uur stilstand overeen met de plateauwaarde, die door middel van de koperen-buizenproef is bepaald.

De in het Waterleidingbesluit aangegeven waarde voor lood, die niet mag worden overschreden, bedraagt 50 µg/l na verversing van het leidinggedeelte waaruit het monster is genomen. In het VEWIN-advies voor de aanpak van het probleem "lood in drinkwater" wordt voorgesteld deze richtlijn als volgt te interpreteren: de gemiddelde inname van lood via het drinkwater mag niet meer bedragen dan 100 µg per dag. Bij een gemiddelde consumptie van twee liter water per dag betekent dit, dat de concentratie kleiner dan 50

$\mu\text{g/l}$ dient te zijn. Uit recent onderzoek is gebleken, dat dit het geval is wanneer de plateauwaarde voor lood, bepaald door middel van de loden-buizenproef, $< 200 \mu\text{g/l}$ bedraagt.

Wanneer uit de berekeningen blijkt, dat de hardheidsverlaging met meer dan één base kan worden uitgevoerd, spelen bij de besluitvorming de volgende aspecten een rol:

- . vermindering van de afgifte van koper en lood door leidingmaterialen.

Door het toepassen van ontharding vermindert de afgifte van koper, lood en andere zware metalen door leidingmaterialen. De plateauwaarden van koper en lood kunnen worden bepaald door middel van een koperen- of loden-buizenproef, óf kunnen worden berekend met behulp van de uit het landelijk koper- en loodonderzoek afgeleide formules (KIWA, 1988). De plateauwaarde voor koper wordt bepaald door de pH en het totaal anorganisch koolstofgehalte van het water, terwijl de plateauwaarde voor lood voornamelijk wordt bepaald door de de pH van het water. Wanneer een watertype met kalkmelk wordt onthard, vermindert de plateauwaarde voor koper en lood sterker dan wanneer hetzelfde water met natronloog of soda wordt onthard. Dit is toe te schrijven aan het lagere waterstofcarbonaatgehalte en de (hierdoor veroorzaakte) hogere (evenwichts)-pH van het met kalkmelk ontharde water.

- . natriumgehalte van het ontharde water.

Wanneer water met natronloog of soda wordt onthard, neemt het natriumgehalte van het water toe. Bij ontharding met kalk is dit niet het geval. Het beleid van de overheid is erop gericht om het natriumgehalte van het water zo laag mogelijk te houden.

- kosten:

- . investeringskosten onthardings- en nabehandelingsinstallatie.

De investeringskosten voor een installatie waarin met kalkmelk wordt onthard, zijn in het algemeen iets hoger dan die voor een installatie waarin met natronloog (of soda) wordt onthard;

. chemicaliekosten.

De globale chemicaliekosten per mmol/l hardheidsverlaging (exclusief ontzuring) bedragen voor ontharding met natronloog, kalk en soda respectievelijk f 0,024, f 0,014 en f 0,053 per m³ onthard water;

. onderhouds- en bedieningskosten.

De kosten van onderhoud en bediening zijn voor een installatie waarin met kalkmelk wordt onthard hoger dan voor een installatie waarin met natronloog (of soda) wordt onthard;

. kosten verwerking van afvalstoffen

De hoeveelheid korrels die bij ontharding met kalkmelk wordt gevormd, is ongeveer twee maal zo groot als de hoeveelheid die bij ontharding met natronloog of soda wordt gevormd. Wanneer voor de korrels gunstige afzetmogelijkheden bestaan, heeft dit in het algemeen geen nadelige financiële consequenties.

Het met kalkmelk ontharde water heeft een zwevende-stofgehalte, dat aanzienlijk hoger is dan het met natronloog of soda ontharde water. Het zwevende-stofgehalte van met kalkmelk onthard water bedraagt in het algemeen 20-60 mg/l. Wanneer ontharding met natronloog wordt toegepast, is het soms noodzakelijk om vóór de snelfilters ijzer(III)chloride te doseren (circa 0,5 mg/l als Fe). Bij het begroten van de kosten van spoelwaterverwerking dient hiermee rekening te worden gehouden;

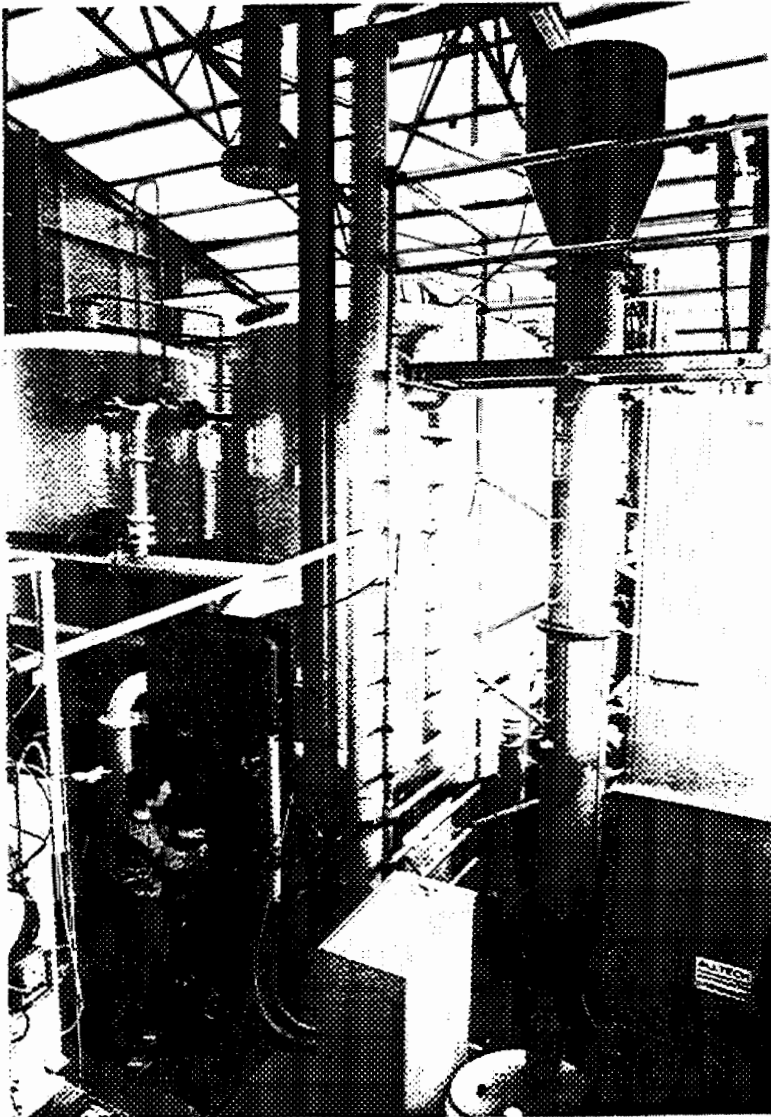
- storingsgevoeligheid/onderhoudsgevoeligheid.

Een belangrijk voordeel van ontharding met natronloog (of soda) is, dat de technische uitvoering van het proces eenvoudiger is

dan bij ontharding met kalkmelk. Hierdoor is ontharding met natronloog (of soda) minder storings- en onderhoudsgevoelig dan ontharding met kalkmelk;

- bedrijfsmatige aspecten, zoals een geleidelijke toename van het natriumgehalte van het water in de afgelopen jaren.

In Nederland wordt ontharding met natronloog of kalkmelk op bedrijfsschaal toegepast. Ontharding met soda wordt tot dusver niet toegepast en is uitsluitend van belang voor watertypen waarvan het waterstofcarbonaatgehalte in de buurt van de aanbevolen waarde ligt.



Proefinstallatie voor onderzoek naar ontharding met kalkmelk bij
het pompstation Zoelen (KIWA)

7. HET INPASSEN VAN ONTHARDING IN EEN BESTAAND ZUIVERINGS PROCES

Bij de meeste pompstations dient het onthardingsproces in een bestaand zuiveringsproces te worden ingepast. Bij deze inpassing dient er rekening mee te worden gehouden, dat het in korrelreactoren ontharde water moet worden nabehandeld door het (eventueel na dosering van ijzer(III)chloride of zuur) door snelfilters te leiden. Op deze nabehandeling wordt in hoofdstuk 14 uitvoeriger ingegaan. Aangezien de factoren die het verloop van het onthardingsproces beïnvloeden onvoldoende bekend zijn, is het aan te bevelen onderzoek op proefinstallatieschaal uit te voeren alvorens tot de bouw van een praktijkinstallatie over te gaan.

Bij het inpassen van ontharding (inclusief nabehandeling) in een bestaand zuiveringsproces doen zich bij pompstations waarin grondwater wordt behandeld vaak de volgende keuzemogelijkheden voor:

- ontharding van het huidige reinwater.

Een voordeel van deze keuzemogelijkheid is, dat in geval van storing aan de onthardingsinstallatie niet-onthard water van drinkwaterkwaliteit kan worden gedistribueerd. Een nadeel van deze optie is, dat naast de bouw van een onthardingsinstallatie de bouw van een filterinstallatie noodzakelijk is, waardoor de investeringskosten aanzienlijk hoger worden;

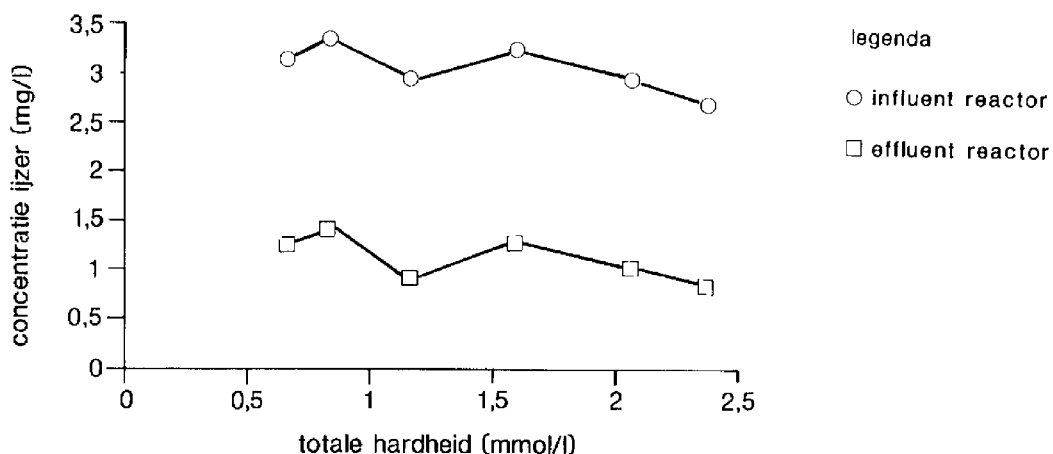
- ontharding van het filtraat van de voorfilters bij pompstations met twee filtratiestappen.

Een voordeel van deze keuzemogelijkheid is, dat de nabehandeling van het ontharde water in de bestaande filters kan worden uitgevoerd, waardoor de investeringskosten lager worden. Voor een goede werking van deze filters is het soms noodzakelijk het filtermateriaal in de nafilts te vervangen. Een ander voordeel is, dat het (rest) ijzer- en mangaangehalte van het voorfiltraat

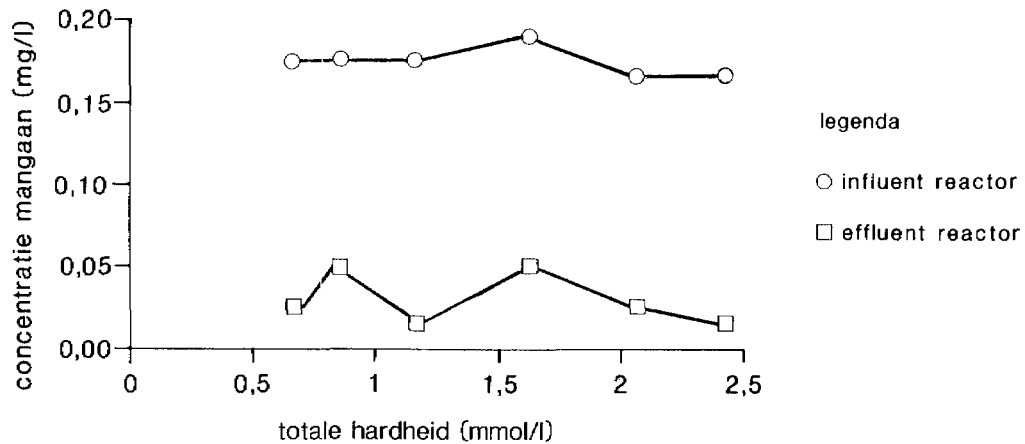
in de korrelreactoren verder afneemt. Een nadeel van deze keuzemogelijkheid is, dat in geval van storing in de onthardingsinstallatie de nafilts via een omloopleiding voorfiltraat krijgen aangeboden dat een iets hoger ijzer- en mangaangehalte heeft dan het ontharde water. De kans bestaat dat het enige tijd duurt voordat de kwaliteit van het effluent van de nafilts zodanig is, dat het aan de eisen voldoet die ten aanzien van het ijzer- en mangaangehalte zijn gesteld;

- ontharding van belucht of onbelucht ruwwater.

Een derde mogelijkheid om ontharding in korrelreactoren in een zuiveringssysteem in te passen is het ontharden van het ruwwater van het pompstation. Een voordeel van deze optie is, dat in veel gevallen de bestaande filters (eventueel in aangepaste vorm) kunnen worden toegepast. En ander voordeel is, dat bij ontharding van onbelucht (anaeroob) grondwater in een korrelreactor het ijzer- en mangaangehalte van het water aanzienlijk vermindert. In de afbeeldingen 13a en 13b is het ijzer- en mangaangehalte weergegeven van onbelucht ruwwater, dat in een proefreactor met kalkmelk is onthard.



Afbeelding 13a De verwijdering van ijzer in een proefreactor waarin met kalkmelk wordt onthard (KIWA)



Afbeelding 13b De verwijdering van mangaan in een proefreactor waarin met kalkmelk wordt onthard (KIWA)

Uit deze afbeeldingen volgt, dat het ijzergehalte in de reactor met 60-65% en het mangaangehalte met 80-90% afneemt. Bij het ontharden van onbelucht ruwwater met natronloog zijn door het KIWA verwijderingspercentages voor ijzer en mangaan gemeten van respectievelijk 60-90% en 75-90%.

Nadelen van deze keuzemogelijkheid zijn:

- het chemicalieverbruik is hoger wanneer in het water agressief koolstofdioxide aanwezig is;
- in geval van storing in de onthardingsinstallatie wordt niet onthard water met een hoger ijzer- en mangaangehalte (na beluchting) aan de filterinstallatie wordt aangeboden, waar door de mogelijkheid bestaat dat de kwaliteit van het leidingwater gedurende een bepaalde tijd niet voldoet aan de eisen gesteld ten aanzien van het ijzer- en mangaangehalte;
- er kan bacteriegroei optreden, indien in het (onbelucht) ruwwater methaan aanwezig is.

Bij de ontharding van zuurstofhoudend ruwwater zijn door het KIWA verwijderingspercentages voor ijzer en mangaan van respectievelijk 0% en 70-80% gemeten en door de N.V. Waterleidingmaatschappij Noord-West-Brabant respectievelijk 30-36 en 67 %.

Onderzoek door een aantal waterleidingbedrijven en door het KIWA heeft aangetoond, dat bij de ontharding van onbelucht ruwwater in korrelreactoren soms geen korrels of korrels van een slechte kwaliteit worden gevormd. De oorzaak van dit verschijnsel is niet geheel duidelijk. Wanneer men ontharding van onbelucht ruwwater overweegt, is onderzoek op proefinstallatieschaal dringend aan te bevelen.

Bij het inpassen van ontharding in een zuiveringsproces voor oppervlaktewater wordt ontharding vaak aan het begin van het zuiveringsproces (vóór de vlokvorming) uitgevoerd (Weesperkarspel, Leiduin, Wijk aan Zee). Een andere mogelijkheid is om het effluent van de vlokvormings- en vlokverwijderingsinstallatie te ontharden en het ontharde water door de bestaande snelfilters te leiden. Behalve het ijzer- en mangaangehalte vermindert in een korrelreactor het fosfaatgehalte en het gehalte aan zware metalen van het water. Door het KIWA zijn verwijderingspercentages van orthofosfaat van ongeveer 80% gemeten. Gemeentewaterleidingen Amsterdam heeft aangetoond, dat het onthardingsproces bij een fosfaatgehalte > 0,5 mg/l minder goed verloopt.

Gemeentewaterleidingen Amsterdam heeft aan de hand van de samenstelling van de korrels in Leiduin vastgesteld, dat (zware) metalen in de korrels worden ingebouwd. In tabel 2 is dit aan de hand van de samenstelling van de korrels geïllustreerd.

Tabel 2 Samenstelling van korrels in Leiduin

(zware) metalen	mg/kg
calciumcarbonaat	980.000
magnesium	2.400
ijzer	2.300
mangaan	420
koper	< 5
lood	24
kwik	0,037
seleen	0,064
arseen	4,8
cadmium	< 10

8. TECHNISCHE UITVOERING VAN KORRELREACTOREN

Een onthardingsinstallatie waarin met natronloog of kalk wordt onthard, bestaat uit de volgende onderdelen:

- twee of meer korrelreactoren (in het buitenland één of meer korrelreactoren);
- opslag- en doseerinstallatie voor de base;
- installatie voor het aftappen en opslaan van korrels;
- installatie voor het opslaan, behandelen en toevoeren van het entmateriaal.

In dit hoofdstuk worden een aantal technische aspecten van korrelreactoren behandeld. In de volgende hoofdstukken wordt op de overige onderdelen van de onthardingsinstallatie ingegaan.

8.1 Eisen waaraan een korrelreactor moet voldoen

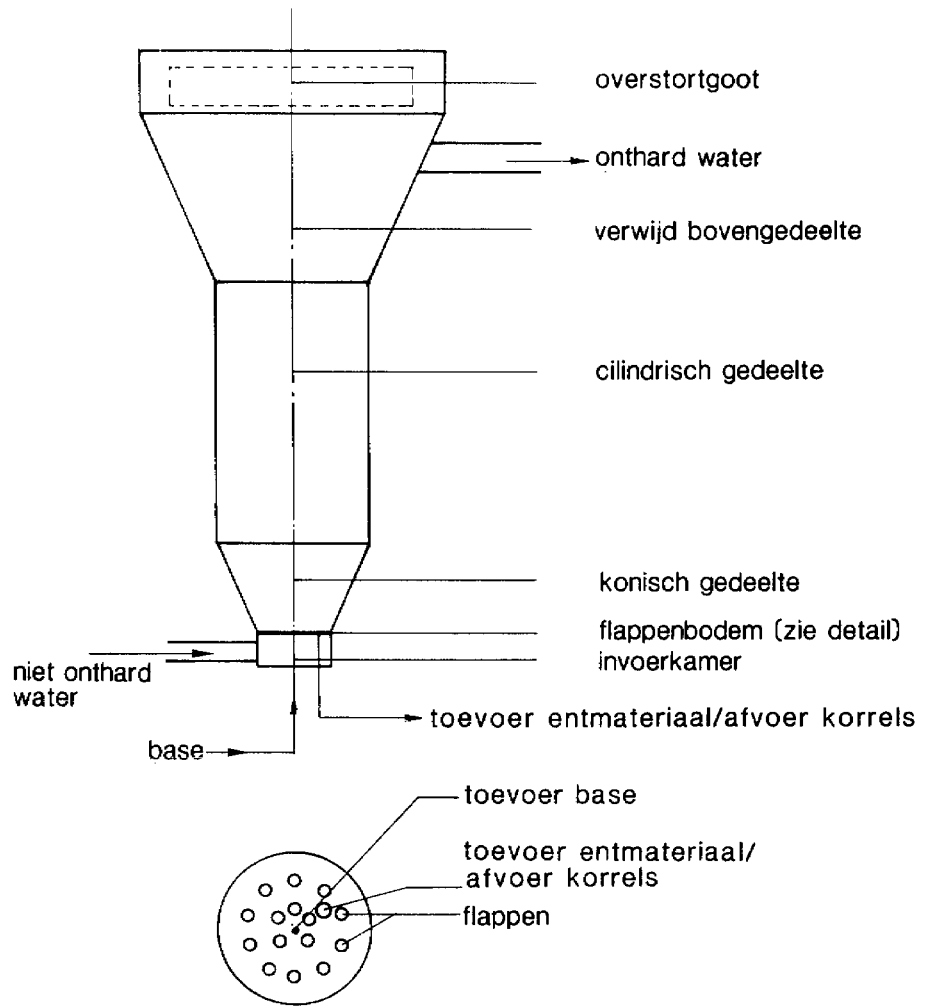
Het ontwerp van een korrelreactor moet aan de volgende eisen voldoen:

- goede menging van de base met het te ontharden water in aanwezigheid van een zo groot mogelijk specifiek korreloppervlak.

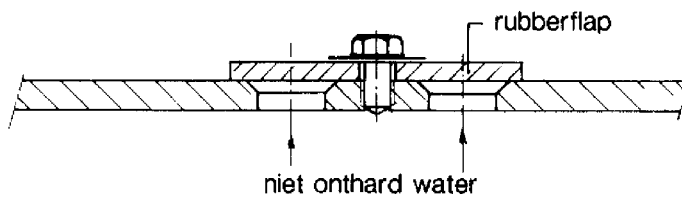
Dit is van belang voor een optimaal verloop van de onthardingsreactie;

- goede verdeling van het te ontharden water en de base over de reactordoorsnede.

Het reactorontwerp dient zodanig te zijn, dat de pH over de doorsnede van de korrelreactor gelijk is en dat geen kortsluitstromingen in de reactor optreden. Wanneer dit het geval is, kan een grotere hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat in het ontharde water worden verwacht;



DETAIL FLAPPENBODEM



Afbeelding 14 Cilindrische korrelreactor met conisch onder-
gedeelte en flappenbodem

- minimale storings- en onderhoudsgevoeligheid.

Dit is het geval, wanneer:

- . geen vervuiling van de invoerpunten voor het te ontharden water optreedt;
- . geen overmatige kalkafzetting bij de invoerpunt(en) voor de base en op de wand van de reactor optreedt;
- . geen verstopping optreedt bij het stilzetten van de reactor.

- eenvoudig onderhoud.

Wanneer in een korrelreactor na verloop van tijd toch vervuiling en/of kalkafzetting optreedt, moet deze snel en op eenvoudige wijze kunnen worden verwijderd.

8.2 Beschrijving van in bedrijf zijnde reactortypen

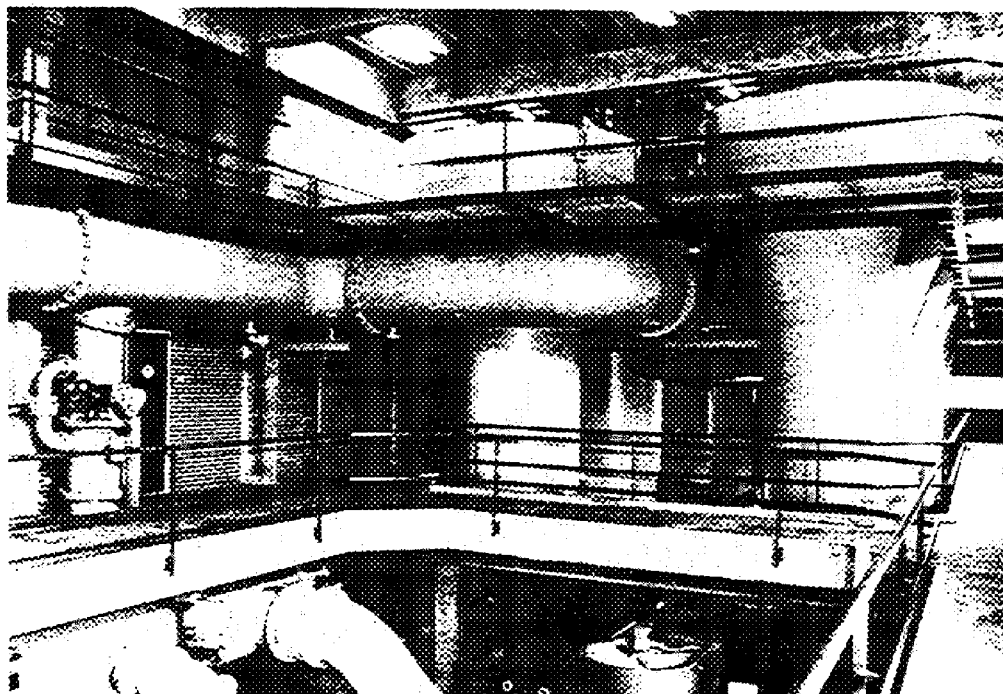
In Nederland zijn verschillende typen korrelreactoren in bedrijf, te weten:

- cilindrische korrelreactor met konisch ondergedeelte en flappenbodem;
- cilindrische korrelreactor met konisch ondergedeelte en tangentiële invoer;
- cilindrische korrelreactor met konisch ondergedeelte en centrale invoerleiding;
- cilindrische korrelreactor met Amsterdamse bodem;
- cilindrische korrelreactor met PWN-bodem.

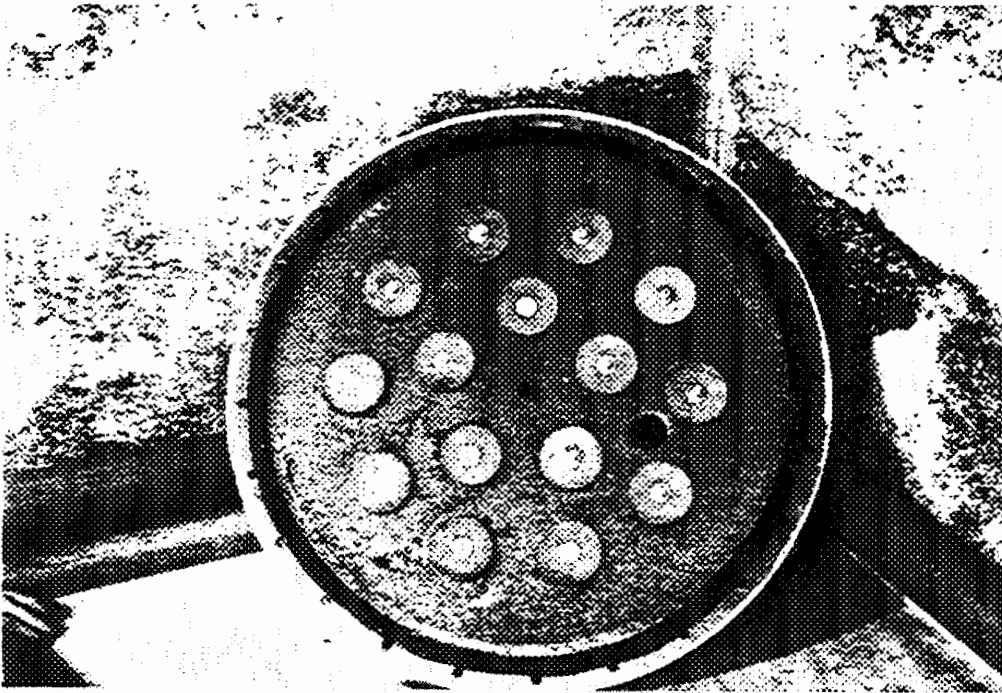
In deze paragraaf worden bovengenoemde reactortypen nader beschreven.

- Cilindrische korrelreactor met konisch ondergedeelte en flappenbodem.

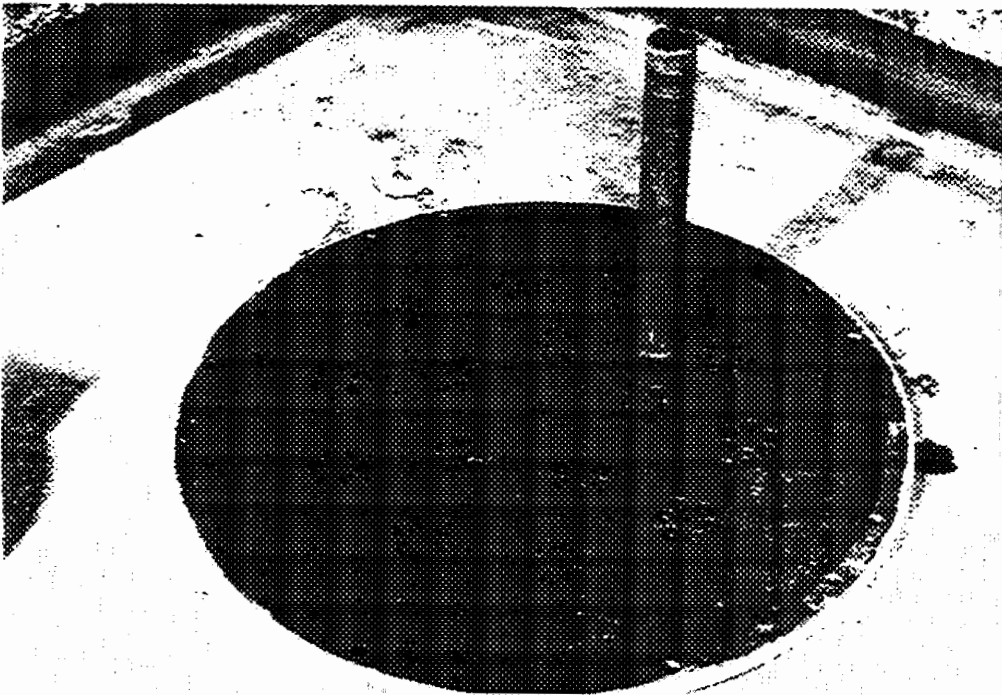
In afbeelding 14 is een cilindrische korrelreactor met een konisch ondergedeelte en een flappenbodem afgebeeld. Het principe van deze reactor is als volgt. Een pomp(groep) leidt het te ontharden water in een invoerkamer, die zich onder de reactorbodem (flappenbodem) bevindt. In deze reactorbodem zijn een aantal combinaties van zes gaten (diameter 21 mm) aangebracht die door een flap van pararubber zijn afgedekt (diameter 95 mm). De reactorbodem verdeelt het te ontharden water over de reactordoorsnede. De voor de ontharding benodigde base wordt via een enkelvoudig invoerpunt, dat zich in het hart van de flappenbodem bevindt, in de reactor geleid.



Cilindrische korrelreactoren met konisch ondergedeelte en flappenbodem voor ontharding met natronloog bij het pompstation
Spannenburg (WLF)



Flappenbodem (bovenaanzicht)



Flappenbodem (onderaanzicht)



Cilindrische korrelreactoren met konisch ondergedeelte en
flappenbodem voor ontharding met kalkmelk bij het pompstation
Noordbergum (WLF)

Het invoerpunt voor de base dient bij voorkeur zodanig te zijn ontworpen, dat het in geval van verstopping op eenvoudige wijze kan worden doorgestoken (Spannenburg). De menging van de base met het te ontharden water onder in de reactor vindt plaats als gevolg van het door het konische ondergedeelte veroorzaakte stromingspatroon.

De gevormde korrels worden via een enkelvoudig aftappunt in de reactorbodem uit de reactor verwijderd. Het aftappunt voor de korrels wordt meestal ook gebruikt voor het inbrengen van het entmateriaal. Het aftappen van korrels en het toevoeren van entmateriaal wordt uitgevoerd, wanneer de korrelreactor in bedrijf is.

Cilindrische korrelreactoren met een konisch ondergedeelte en een flappenbodem komen uitsluitend in open uitvoering voor. Hierbij wordt het ontharde water uit de reactor afgevoerd via een (wel of niet vertande) overstortgoot, die in het verwijde bovengedeelte van de reactor is aangebracht.

Cilindrische korrelreactoren met konisch ondergedeelte en flappenbodem zijn sinds 1978 in bedrijf voor ontharding met natronloog (Woerden, Hazerswoude, Nijmegen en Spannenburg) en sinds 1984 voor ontharding met kalkmelk (Noordbergum). De totale produktie van de reactoren bedraagt ongeveer 40 miljoen m³/jr). Tabel 3 geeft een overzicht van pompstations waar korrelreactoren van dit type worden toegepast. Tabel 4 geeft een overzicht van enige ontwerpgegevens.

De onderhoudsgevoeligheid van een cilindrische korrelreactor met konisch ondergedeelte en een flappenbodem is gering. Bij het pompstation Spannenburg bedraagt de periode tussen twee onderhoudsbeurten ten minste vier jaar. Een praktijkprobleem dat zich in een aantal gevallen voordoet, is dat door de hoge stroomsnelheden slijtage aan de reactorwand optreedt bij de overgang van de

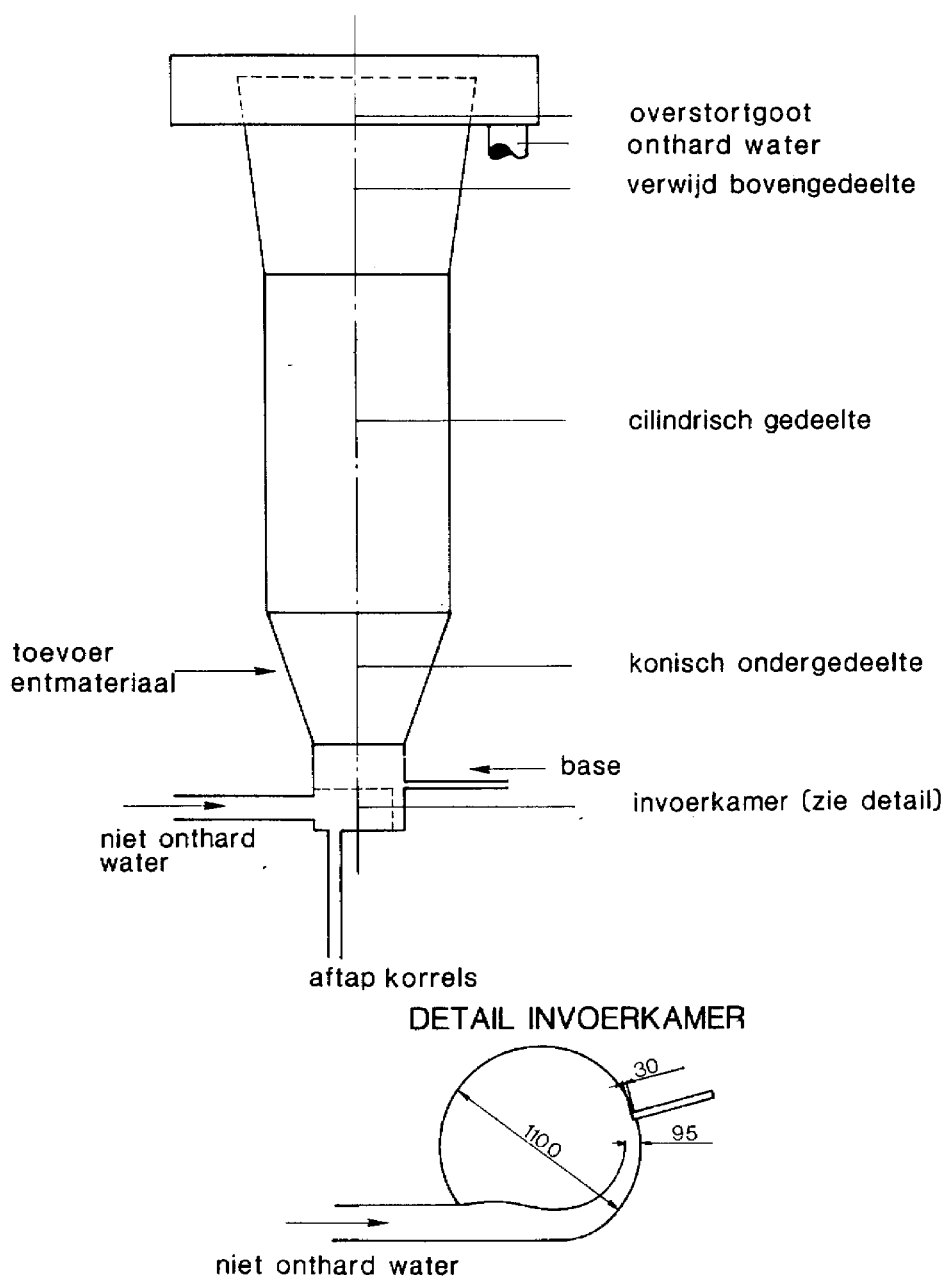
reactorbodem naar het konische ondergedeelte. Het konische ondergedeelte is van een dikker plaatstaal vervaardigd.

- Cilindrische korrelreactor met konisch ondergedeelte en tangentiële waterinvoer

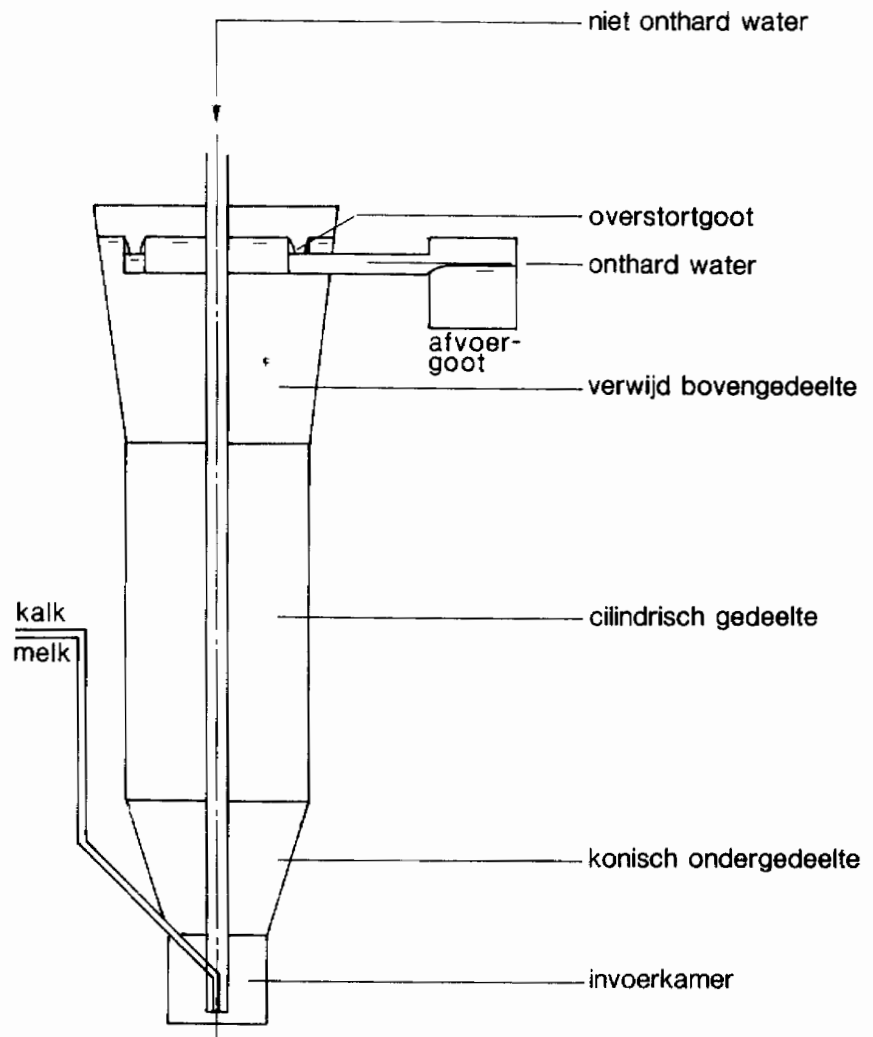
In afbeelding 15 is een cilindrische korrelreactor met konisch ondergedeelte en tangentiële waterinvoer schematisch weergegeven. Een pomp(groep) leidt het te ontharden water tangentieel in de mengkamer van de korrelreactor. In de mengkamers van de reactoren te Wouw en Seppe is voor een goede menging een geleideschot aangebracht. In de omgeving van het geleideschot wordt de voor de ontharding benodigde base geïnjecteerd (snelheid van het water ter plaatse: 3-4 m/s) en met het te ontharden water gemengd. In de mengkamer van de reactoren te Alphen a/d Rijn bevindt zich eveneens een geleideschot.

De korrels worden afgetapt via een aftappunt, dat zich in de mengkamer bevindt. Het aftappunt voor de korrels wordt in het algemeen niet gebruikt voor de toevoer van entmateriaal. Dit reactortype wordt toegepast voor ontharding met kalkmelk (Wouw, Seppe) en voor ontharding met natronloog (Alphen a/d Rijn, Ridderkerk tot 1988). In Duitsland zijn eveneens een aantal korrelreactoren van dit type in bedrijf, waarin uitsluitend met kalkmelk wordt onthard.

Cilindrische korrelreactoren met konisch ondergedeelte en tangentiële invoer komen voor in open uitvoering (Wouw) en als drukreactor (Alphen a/d Rijn, Ridderkerk). Bij de reactoren te Wouw wordt het ontharde water afgevoerd via een overstortgoot, die aan de buitenzijde van de reactoren is aangebracht.



Afbeelding 15 Cilindrische korrelreactor met konisch ondergedeelte en tangentiële waterinvoer



Afbeelding 16 Cilindrische korrelreactor met konisch ondergedeelte en centrale invoerleiding

- Cilindrische korrelreactor met konisch ondergedeelte en centrale invoerleiding

In afbeelding 16 is een cilindrische korrelreactor met konisch ondergedeelte en centrale invoerleiding schematisch weergegeven. Een pomp(groep) leidt het te ontharden water via een toevoerleiding, die in het hart van de korrelreactor is gemonteerd, in de mengkamer van de reactor. In deze mengkamer wordt de voor de ontharding benodigde base toegevoegd.

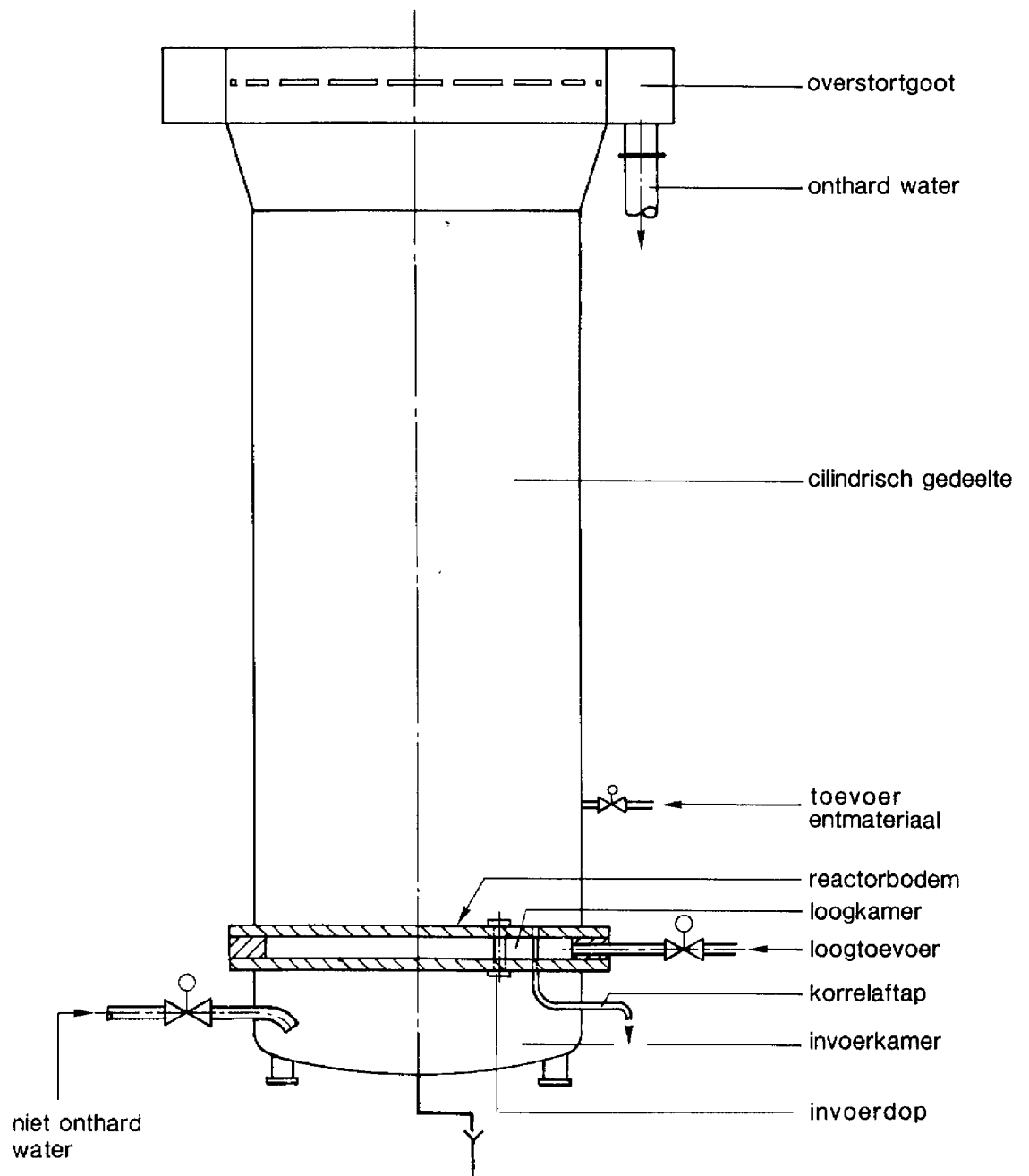
De korrels worden afgetapt via een aftappunt dat zich in het konische ondergedeelte van de reactor op enige afstand boven de bodem bevindt. Het entmateriaal wordt boven in de korrelreactor toegevoerd.

Dit reactortype werd tot voor kort toegepast voor ontharding met kalkmelk te Wouw, maar is inmiddels vervangen door een reactortype met tangentiële invoer.

Een praktijkprobleem dat zich met het beschreven type korrelreactor voordeed, was dat na verloop van tijd op de bodem van de korrelreactor een (ongelijkmatige) ringvormige kalkafzetting ontstond, die voorkeurstroming in de reactor veroorzaakte.

- Cilindrische korrelreactor met Amsterdamse bodem

In afbeelding 17 is een cilindrische korrelreactor met Amsterdamse bodem afgebeeld. Het principe van deze reactor is als volgt. Een pomp(groep) leidt het te ontharden water in de invoerkamer van de reactor, die onder de reactorbodem is aangebracht. De reactorbodem verdeelt het te ontharden water en de voor de hardheidsverlaging benodigde hoeveelheid natronloog over de reactordoorsnede. In de reactorbodem bevinden zich een groot aantal gecombineerde invoerdoppen voor water en natronloog. Het aantal invoerdoppen bedraagt 36 per m^2 reactordoorsnede. In afbeelding 18 is een invoerdop schematisch weergegeven.



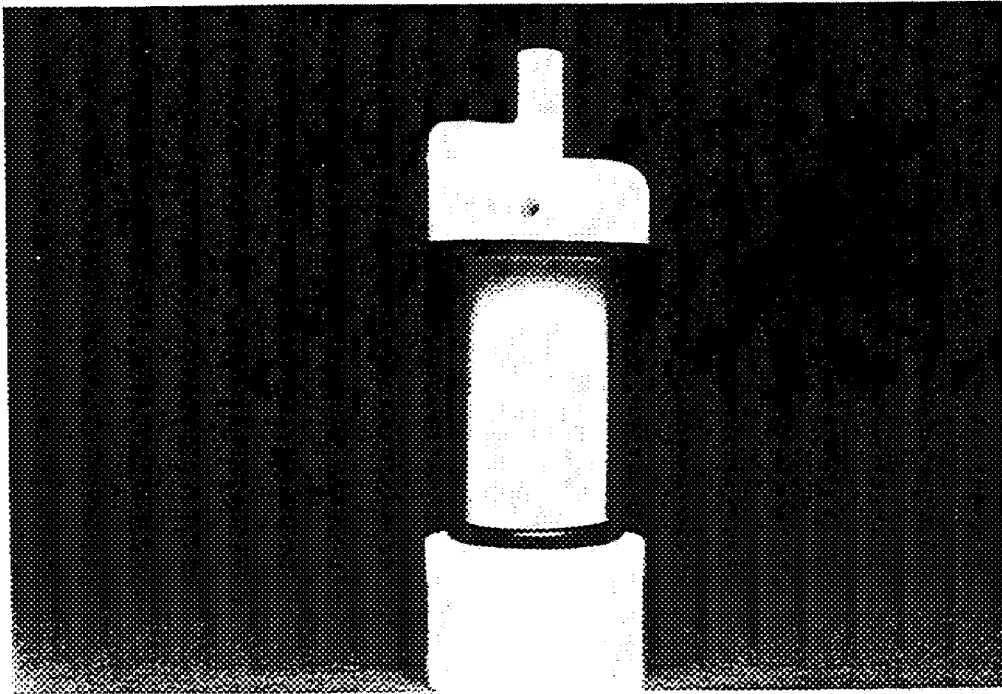
Afbeelding 17 Cilindrische korrelreactor met Amsterdamse bodem

Door het grote aantal invoerdoppen voor water en de cilindrische vorm treedt in de korrelreactor homogene fluïdisatie op. Dit betekent dat in de reactor nauwelijks horizontale menging optreedt. De natronloog wordt met het te ontharden water gemengd door deze zo goed mogelijk over de reactordoorsnede te verdelen (groot aantal invoerdoppen) en een goede menging per invoerdop te realiseren. De invoerdoppen zijn zodanig ontworpen, dat een goede verdeling van water en loog is gekoppeld aan een geringe verstoppingsgevoeligheid. De toevoer van natronloog vindt plaats vanuit een loogkamer, waarin de druk constant is. Het ontharde water wordt via een overstort met schuine vertanding afgevoerd naar een afvoergoot, die zich in het bovengedeelte van de reactor bevindt. De diameter van het bovengedeelte van de reactor bedraagt slechts 1,16 maal de diameter van het cilindrische gedeelte.

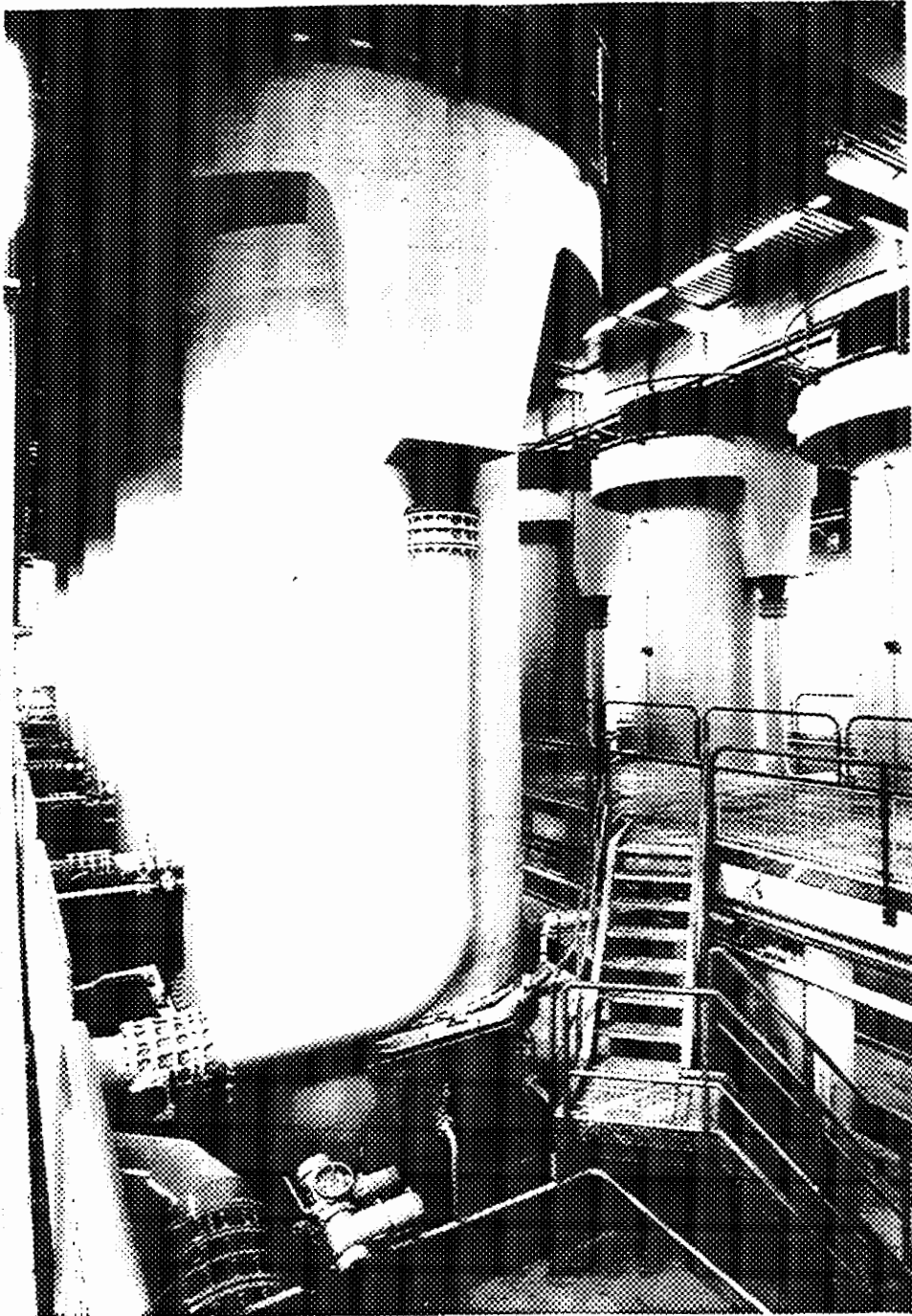
De korrels worden intermitterend uit de reactor afgetapt via een viertal in de bodem aangebrachte aftappunten. De aftap van korrels via een enkelvoudig aftappunt is ongewenst, omdat door de geringe horizontale toevoer van korrels kegelvorming in het korrelbed optreedt. Om het loogverlies tijdens het aftappen van korrels te beperken, wordt door de invoerdoppen rondom de vier aftappunten voor korrels geen natronloog gedoseerd. Het entmateriaal wordt via een apart op 1 m afstand boven de bodem aangebracht invoerpunt ingebracht.

Cilindrische korrelreactoren met Amsterdamse bodem zijn onder andere in bedrijf bij de pompstations Leiduin en Weesperkarspel van Gemeentewaterleidingen Amsterdam (totale produktie 85 miljoen m³/jr). Voordat het reactortype in de praktijk werd toegepast, heeft Gemeentewaterleidingen Amsterdam gedurende meer dan vijf jaar onderzoek uitgevoerd met een korrelreactor op praktijkschaal bij het pompstation Weesperkarspel. De reactoren zijn speciaal ontwikkeld voor het ontharden van oppervlaktewater met natronloog.

Tabel 3 geeft een overzicht van de pompstations waar cilindrische reactoren met Amsterdamse bodem worden toegepast. Tabel 4 geeft een overzicht van een aantal ontwerpgegevens van deze reactoren.



Invoerdop voor water en natronloog van een cilindrische
korrelreactor met Amsterdamse bodem
(foto: Govert H. Vetten, Amsterdam)



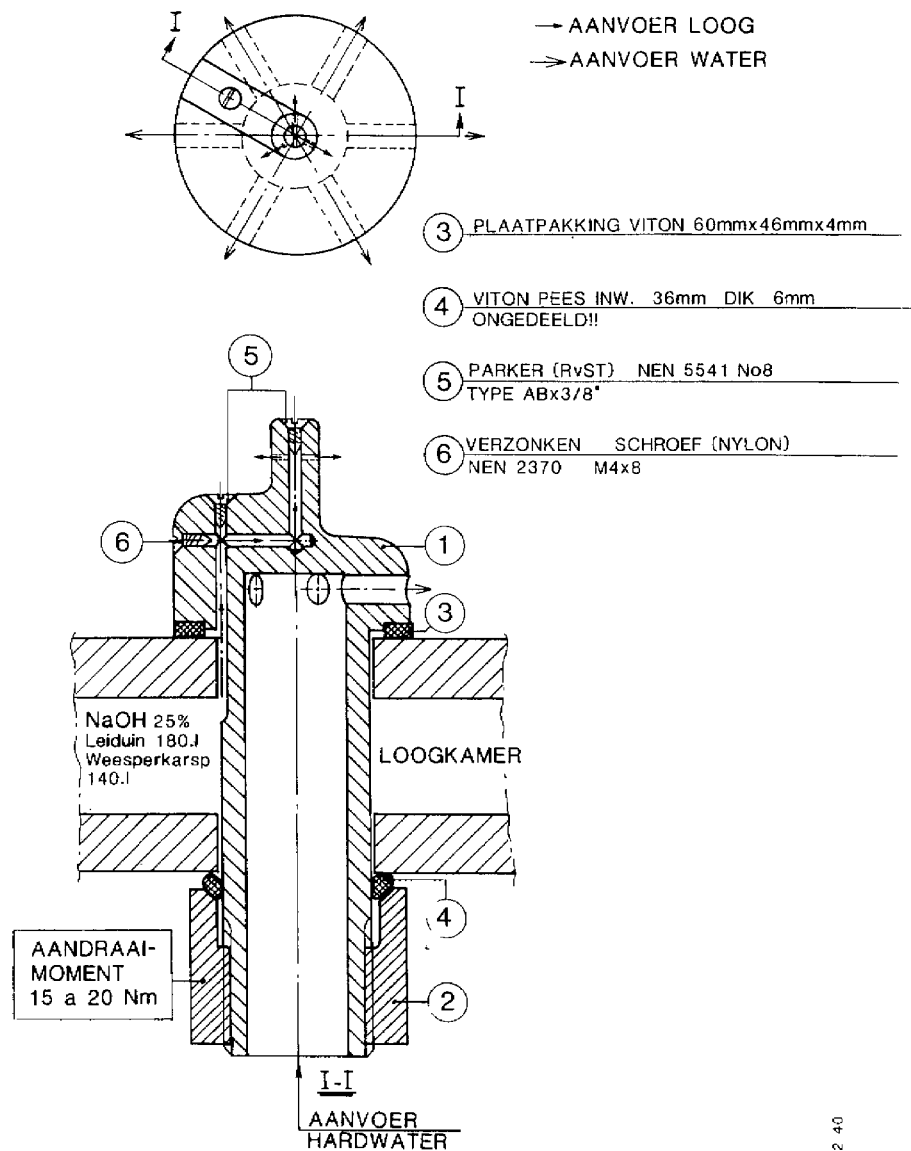
Cilindrische korrelreactoren met Amsterdamse bodem bij het pompstation Leiduin van de Gemeentewaterleidingen Amsterdam
(foto: Govert H. Vetten, Amsterdam)

Onderzoek op praktijkschaal door Gemeentewaterleidingen Amsterdam, die deze reactorbodem heeft ontwikkeld, heeft aangetoond, dat voor het in Amsterdam beschikbare watertype het onderhoud aan de reactorbodem zich beperkt tot een tweejaarlijkse reiniging met zoutzuur. Een dergelijke reinigingsprocedure is binnen 48 uur voltooid.

- Cilindrische korrelreactor met PWN-bodem

In afbeelding 19 is de cilindrische korrelreactor met PWN-bodem afgebeeld. Een pomp(groep) leidt het te ontharden water via een speciaal ontworpen diffusor in een invoerkamer, die onder de reactorbodem is aangebracht. De diffusor zorgt ervoor, dat de drukverschillen onder de reactorbodem minimaal zijn. Wanneer aanzienlijke drukverschillen onder de reactorbodem optreden, verslechtert de verdeling van het te ontharden water over de reactordoorsnede.

Het concept van de cilindrische korrelreactor met PWN-bodem komt in grote lijnen overeen met dat van de cilindrische reactor met Amsterdamse bodem. De reactor is speciaal ontwikkeld voor het ontharden met natronloog. Een verschil met de Amsterdamse reactorbodem is, dat het te ontharden water en de natronloog door afzonderlijke invoerdoppen in de reactor worden geleid. Het aantal water- en loogdoppen bedraagt respectievelijk 26 en 9 per m² reactordoorsnede. De water- en loogdoppen zijn zodanig gerangschikt, dat een loogdop steeds is omringd door zes waterdoppen (zeshoekig patroon). De plaatsing en de vorm van de loogdoppen is zo gekozen, dat de loog wordt gedoseerd in een waterstroom die van de loogdop en van de bodem af is gericht, zodat de kans op kalkafzetting minder is. De loogdoppen worden niet vanuit een loogkamer, maar via een verdeelnet afzonderlijk van natronloog voorzien. De weerstand van de loog- en waterdoppen is zodanig gekozen, dat een goede verdeling van water en natronloog over de reactordoorsnede is gewaarborgd. De weerstand van de loogdoppen is vergroot door in het looggedeelte van de dop een weerstand aan te brengen. Hierdoor is de volumestroom door de loogdop ongevoelig voor vervuiling van



22012 12 40

Afbeelding 18 Invoerdop van een cilindrische korrelreactor met Amsterdamse bodem

de uitstroomopening. Bij het ontwerp is er rekening mee gehouden, dat na het uitschakelen van de korrelreactor geen korrels in de invoerruimte kunnen komen.

De korrels worden intermitterend via drie aftappunten in de reactorbodem afgetapt. Het entmateriaal wordt ingevoerd via een invoerpunt, dat op enige afstand boven de reactorbodem is aangebracht. Het ontharde water wordt uit de reactor afgevoerd via een rechthoekig vertande overstortgoot, die zich in het bovengedeelte van de reactor bevindt. Deze overstortgoot is zodanig ontworpen, dat een gelijkmatige onttrekking van onthard water over de reactordoorsnede plaatsvindt. De reactor is volkomen cilindrisch en niet voorzien van een verwijd bovengedeelte.

Het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland heeft gedurende een periode van twee jaar op praktijkschaal onderzoek uitgevoerd met een proefreactor bij het pompstation Wim Mensink te Wijk aan Zee. Het bedrijf heeft besloten in 1990 het water van de pompstations Wijk aan Zee, Castricum en Bergen met natronloog in korrelreactoren van dit type te ontharden.

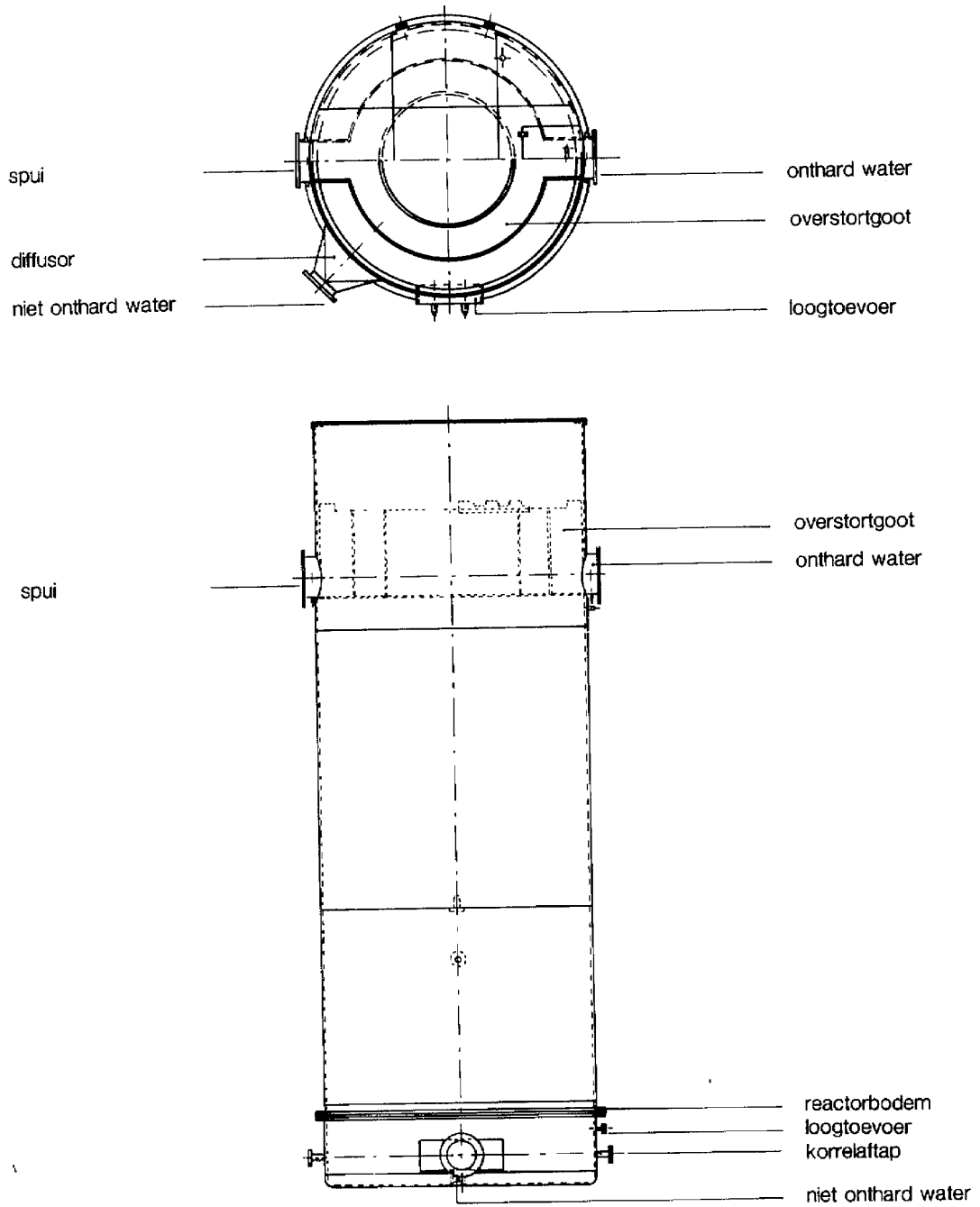
8.3 Ontwerpaspecten van korrelreactoren

8.3.1 De reactorbodem

In een aantal reactortypen die in de vorige paragraaf zijn beschreven, is een reactorbodem aangebracht. Deze reactorbodem bevindt zich boven de invoerkamer van de reactor en heeft de volgende functie:

- verdelen van het te ontharden water over de reactordoorsnede.

Het te ontharden water wordt in de reactor geleid via een (groot) aantal invoerdoppen die in de reactorbodem zijn aangebracht. De verdeling van het te ontharden water over de reactordoorsnede



Afbeelding 19 Cilindrische korrelreactor met PWN-bodem

wordt enerzijds beïnvloed door het aantal invoerdoppen en anderzijds door het drukverschil over de bodem. De waterverdeling over de reactordoorsnede wordt gunstig beïnvloed door het te ontharden water via een diffusor in de invoerkamer te leiden (Noordbergum, Wijk aan Zee). Opgemerkt dient te worden, dat de bodemweerstand kwadratisch afneemt, wanneer de volumestroom door de korrelreactor vermindert, waardoor de waterverdeling kan verslechteren. Bij de reactoren te Wijk aan Zee wordt de volumestroom door de reactorbodem constant gehouden door of een deelstroom te behandelen of door naar behoefte een hoeveelheid onthard water te recirculeren.

Het drukverschil over het watergedeelte van de Amsterdamse invoerdop bedraagt bij een opwaartse snelheid in de reactor van 100 m/h 1,1 mwk. Het drukverschil over de waterdoppen van de PWN-bodem bedraagt 0,95 mwk bij een opwaartse snelheid in de reactor van 90 m/h (1,2 mwk bij 100 m/h). Het drukverschil over een flappenbodem en een tangentiële invoerkamer bedraagt onder dezelfde condities respectievelijk 1,5-2 mwk en 2,5 mwk;

- mengen van de base met het te ontharden water.

De menging van de base met het te ontharden water wordt in de met een reactorbodem uitgeruste reactortypen op twee manieren uitgevoerd:

. invoer van de base via een groot aantal in de reactorbodem aangebrachte invoerpunten.

Voor een goede verdeling van de base over de reactordoorsnede is het drukverschil over de invoerdoppen van belang. Het drukverschil over het looggedeelte van de Amsterdamse invoerdop bedraagt 0,12 mwk. Het drukverschil over de loogdop van het PWN, gemeten met water bedraagt 0,5 mwk (met loog: 4 mwk).

. invoer van de base via een enkelvoudig invoerpunt in een reactor met een konisch ondergedeelte.

In een reactor met een conisch ondergedeelte en een flappenbodem wordt de base ingevoerd via een enkelvoudig invoerpunt dat in het hart van de flappenbodem is aangebracht. De diameter van de reactorbodem bedraagt in het algemeen 0,45 maal de diameter van het cilindrische gedeelte van de reactor, zodat de lokale opwaartse snelheid ongeveer 500 m/h bedraagt.

De menging van de base met het te ontharden water vindt plaats door de in het conische ondergedeelte van de reactor optredende stromingen. De mate waarin deze stromingen optreden, kan worden beïnvloed door de grootte van de openingshoek van het conische ondergedeelte. Deze openingshoek ligt tussen 20 (Nijmegen) en 53 graden (Spannenburg). De invloed van de grootte van de openingshoek op de werking van de reactor is niet bekend.

De reactorbodem moet verder voldoen aan de volgende eisen:

- geringe gevoeligheid voor vervuiling en afzettingen.

De snelheid waarmee het drukverschil over de invoerpunten voor het te ontharden water en de base toeneemt ten gevolge van vervuiling en afzettingen moet gering zijn. Tussen twee opeenvolgende onderhoudsbeurten ligt in de praktijkinstallaties een periode van twee jaar of langer;

- eenvoudig onderhoud.

De reactorbodem moet in geval van vervuiling snel en op eenvoudige wijze kunnen worden gereinigd. Een onderhoudsbeurt duurt in de praktijk twee dagen.

Een aantal verschillen tussen cilindrische reactoren en reactoren met een conisch ondergedeelte zijn:

- het specifiek korreloppervlak onder in een cilindrische reactor is groter dan dat in een reactor met een conisch ondergedeelte.

De oorzaak hiervan is, dat bij een cilindrische korrelreactor de opwaartse snelheid bij de reactorbodem aanmerkelijk lager is dan bij een reactor met een konisch ondergedeelte. Het grotere specifiek korreloppervlak is vooral van belang voor het ontharden van water met een lage temperatuur ($< 8 \text{ }^\circ\text{C}$), waarbij de snelheid van kalkafzetting gering is;

- in een cilindrische reactor treedt classificatie in korrelgrootte op. De spreiding in diameter van de afgetapte korrels is aanmerkelijk geringer dan bij een reactor met konisch ondergedeelte. Gemeentewaterleidingen Amsterdam heeft aangetoond, dat bij een lage watertemperatuur een groter specifiek oppervlak nodig is. Dit wordt bereikt door een kleine korreldiameter en een minimale spreiding in korreldiameter;
- het aantal benodigde invoerpunten voor de base is bij een cilindrische korrelreactor aanmerkelijk groter dan bij een reactor met een konisch ondergedeelte. Een groter aantal invoerdoppen voor de base vergroot de storingsgevoeligheid en de onderhoudsgevoeligheid van de reactor;
- de aftap van korrels is bij een volkomen cilindrische korrelreactor complexer dan bij een cilindrische korrelreactor met een konisch ondergedeelte. Het benodigde aantal aftappunten voor korrels is namelijk bij een cilindrische korrelreactor in het algemeen groter dan bij een reactor met een konisch ondergedeelte. Behalve het grotere aantal aftappunten is ook de concentratie van de afgetapte korrels groter, waardoor de aftapprocedure technisch ingewikkelder is. De korrels dienen gelijkmatig over de reactordoorsnede te worden onttrokken, zodat geen grote korrels in de reactor achterblijven;
- bij het stoppen van cilindrische reactoren moeten maatregelen worden genomen om afzettingen te voorkomen. Deze maatregelen bestaan bijvoorbeeld uit het doorspoelen van het loogtoevoersysteem met volledig onthard of aangezuurd water of het continu doorstromen van de reactor met water. Wanneer voor doorspoelen

wordt gekozen, is het van belang dat de inhoud van het loogtoevoersysteem gering is. Bij konische reactoren met een flappenbodem zijn geen extra maatregelen nodig.

8.3.2 Afvoer van onthard water uit de reactor

Bij een open uitgevoerde reactor verlaat het ontharde water de reactor via een overstortgoot. Deze overstortgoot is in het (al dan niet verwijde) bovengedeelte van de reactor of aan de buitenzijde daarvan aangebracht. De functie van de overstortgoot is het water gelijkmatig over de reactordoorsnede te onttrekken. In korrelreactoren komen drie typen overstortgoten voor:

- onvertande overstortgoot (Spannenburg, Wouw);
- schuinvertande overstortgoot (Noordbergum, Weesperkarspel, Leiden);
- rechthoekig vertande overstortgoot (Wijk aan Zee).

Voor een gelijkmatige onttrekking is het van belang dat de overstorthoogte voldoende groot wordt gekozen. Wanneer dit het geval is, wordt de onttrekking minder door hoogteverschillen in de overstortrand beïnvloed. Deze hoogteverschillen treden zeker op wanneer geen instelbare overstortrand is aangebracht.

In het verwijde bovengedeelte van de korrelreactor neemt de opwaartse snelheid af, waardoor het uitspoelen van entmateriaal wordt voorkomen. De maximaal toelaatbare opwaartse snelheid in het verwijde bovengedeelte (uittredesnelheid) wordt bepaald door de kleinste korreldiameter van het toe te passen entmateriaal. De maximaal toelaatbare uittredesnelheid neemt af naarmate de korreldiameter van het entmateriaal geringer is. De verhouding tussen de diameter van het verwijde bovengedeelte en het cilindrische gedeelte van de korrelreactor ligt voor cilindrische reactoren tussen

1,00 (Wijk aan Zee) en 1,16 (Weesperkarspel, Leiduin) en voor cilindrische reactoren met konisch ondergedeelte tussen 1,3 (Alphen, Wouw) en 2,4 (Woerden). Dit komt theoretisch overeen met uittredesnelheden van 15 tot 100 m/h. In de praktijk wordt de theoretische waarde van de uittredesnelheid alleen bereikt wanneer het water gelijkmatig over de verwijde doorsnede wordt onttrokken. De waarde van de uittredesnelheid is behalve voor de keuze van het entmateriaal ook van belang voor het bouwvolume van de onthardingsinstallatie.

In de reactoren in Weesperkarspel, Leiduin en Wijk aan Zee (theoretische uittredesnelheid circa 100 m/h) wordt zand 0,4-0,6 mm als entmateriaal toegepast, terwijl in Spannenburg en Noordbergum (theoretische uittredesnelheid circa 25 m/h) zand (0,1-0,3 mm) als entmateriaal wordt gebruikt. In de reactoren te Spannenburg is de uittredesnelheid van de reactoren lager gekozen dan de spoelsnelheid van de nafilts. De theoretische uittredesnelheid van de korrelreactoren te Wouw en Seppe bedragen respectievelijk 30 en 40 m/h.

8.3.3 Aan- en afvoerleidingen

Aan een korrelreactor zijn de volgende leidingen aangesloten:

- toevoerleiding voor het te ontharden water.

In de toevoerleiding is in het algemeen een automatisch werkende afsluiter, een terugslagklep en een volumestroommeter geïnstalleerd;

- afvoerleiding van het ontharde water.

De afvoerleiding van het ontharde water is aangesloten op de overstortgoot, die zich in het verwijde bovengedeelte van de korrelreactor bevindt. Uit praktijkervaring is gebleken, dat in de afvoerleidingen zich in meerdere of mindere mate kalk afzet.

Het verdient derhalve aanbeveling de afvoerleidingen zo kort mogelijk te dimensioneren en te zorgen voor een goede toegankelijkheid. Bij ontharding met kalkmelk kan het aanbrengen van afvoergoten worden overwogen. Het is in verband met kalkafzetting niet aan te bevelen afsluiters in de afvoerleiding van een reactor te installeren;

- toevoerleiding voor de base;
- afvoerleiding voor korrels/toevoerleiding voor entmateriaal;
- overstortleiding.

8.3.4 Watertoevoerpompen

Voor de toevoer van het te ontharden water naar de korrelreactoren is het installeren van een pompfase noodzakelijk. Er zijn twee mogelijkheden:

- één pomp per korrelreactor;
- een gemeenschappelijke pompgroep voor alle korrelreactoren.

Bij installaties bestaande uit een gering aantal korrelreactoren heeft het toepassen van één pomp per korrelreactor de voorkeur. Het is uit het oogpunt van bedrijfszekerheid wel noodzakelijk ten minste één reservepomp te installeren.

Het toepassen van één pomp per korrelreactor vergt bij installatie van een groot aantal korrelreactoren hogere investeringskosten dan het toepassen van een gemeenschappelijke pompgroep. Een nadeel van een gemeenschappelijke pompgroep is echter dat tijdens het aan- en uitschakelen van korrelreactoren volumestroomvariatiën in de reactoren kunnen optreden. Wanneer in dit geval gekozen wordt voor een konische uitstroomconstructie, is de kans op het uitspoelen van het

entmateriaal tijdens pieken in de reactorcapaciteit geringer (Spannenburg). Bij de pompstations Weesperkarspel en Leiduin zijn pompen met een variabele rotatiefrequentie geïnstalleerd.

Bij het toepassen van een gemeenschappelijke pompgroep moet tevens aandacht worden besteed aan een goede verdeling over de korrelreactoren. Bij het pompstation Spannenburg wordt daartoe een volumestroom- en drukregeling en bij de pompstations Weesperkarspel en Leiduin een zogenoemde klephoekregeling toegepast. Het is uit het oogpunt van bedrijfszekerheid gewenst in de pompgroep een reservepomp op te nemen.

De benodigde opvoerhoogte van de watertoevoerpomp is gelijk aan de som van de hoogte van het korrelbed, de hoogte van de korrelreactor, het drukverschil over de reactorbodem en de weerstand van de regelklep. Tevens is bij het opstarten van de reactor extra opvoerhoogte nodig voor het in zwevende toestand brengen van het korrelbed. De opvoerhoogte van de watertoevoerpompen bedraagt in de praktijk in het algemeen 14-18 mwk bij de nominale capaciteit.

8.4 Het dimensioneren van korrelreactoren

8.4.1 De capaciteit van een korrelreactor

De capaciteit van de te installeren korrelreactoren wordt berekend door de gewenste capaciteit van de onthardingsinstallatie te delen door het gewenste aantal korrelreactoren. De gewenste uurcapaciteit van de onthardingsinstallatie is in het algemeen gelijk aan 1/24 deel van de maximale etmaalproduktie. De inhoud van de reinwaterkelder dient in dit geval voldoende te zijn voor het opvangen van de variaties in het uurverbruik (dagaccumulatie). Bij de keuze van het aantal reactoren spelen de volgende factoren een rol:

- hoofdstroom- of deelstroomontharding.

Het toepassen van deelstroomontharding heeft het voordeel dat de investeringskosten lager zijn, doordat minder reactoren behoeven te worden geïnstalleerd. Dit speelt vooral een belangrijke rol, wanneer de totale volumestroom van het pompstation groot is. Bovendien kan door het toepassen van deelstroomontharding worden onthard tot die totale hardheid, waarbij de hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat in het ontharde water minimaal is;

- kosten.

De investeringskosten van een onthardingsinstallatie bestaande uit een groot aantal korrelreactoren met een geringere capaciteit, zijn in het algemeen hoger dan die van een onthardingsinstallatie met minder korrelreactoren met een grotere capaciteit;

- bedrijfsvoering.

Een groter aantal korrelreactoren maakt een soepeler bedrijfsvoering mogelijk, wanneer de produktie wordt aangepast aan de vraag, door periodiek korrelreactoren aan en uit te schakelen (kleinere produktiestappen). Wanneer de volumestroom door de reactoren wordt gevarieerd, is dit in mindere mate van toepassing. Het optimale aantal korrelreactoren dient aan de hand van een analyse van het etmaalverbruik te worden vastgesteld;

- bedrijfszekerheid.

Uit het oogpunt van onderhoud en bedrijfszekerheid dient het aantal korrelreactoren ten minste twee te bedragen. Wanneer een reactor buiten bedrijf is, moet(en) de overige reactor(en) in staat zijn de benodigde hoeveelheid onthard water te produceren. Eventueel kan dit geschieden door het water in de resterende korrelreactor(en) dieper te ontharden en via een omloopleiding niet onthard water bij te mengen. Wanneer twee reactoren worden geïnstalleerd, is het aan te bevelen de hoofdstroom van het pompstation te ontharden en de ingebouwde reservecapaciteit (diep

ontharden) te benutten in geval van storing of onderhoudswerkzaamheden aan een van de reactoren.

8.4.2 Diameter van de korrelreactor

De reactordiameter wordt berekend door de berekende reactorcapaciteit te delen door de (schijnbare) opwaartse snelheid in het cilindrische gedeelte van de korrelreactor. De schijnbare opwaartse snelheid in korrelreactoren waarin met natronloog wordt onthard, bedraagt 50-125 m/h. De gemiddelde opwaartse snelheid bedraagt 90-100 m/h. De (schijnbare) opwaartse snelheid in installaties waarin met kalkmelk wordt onthard bedraagt 60-100 m/h. De diameter van korrelreactoren die momenteel in Nederland in bedrijf zijn, ligt tussen 1,00 en 3,00 m.

8.4.3 Hoogte van de korrelreactor

De hoogte van een korrelreactor wordt bepaald door de volgende factoren:

- de hoogte van het (geëxpandeerde) korrelbed.

In de cilindrische korrelreactoren, die momenteel in bedrijf zijn, bedraagt de hoogte van het korrelbed in rust gemiddeld 2 m en in reactoren met een konisch ondergedeelte 3-3,5 m. Doordat het korrelbed in opwaartse richting wordt doorstroomd, treedt expansie van het korrelbed op. De hoogte van het geëxpandeerde korrelbed bedraagt bij een opwaartse snelheid van 100 m/h globaal 1,5-2 maal de hoogte van het korrelbed in rust;

- de gewenste aftapfrequentie van de korrels.

Doordat kalkafzetting in het korrelbed optreedt, neemt de hoogte van het korrelbed in rust en dus ook die van het geëxpandeerde korrelbed als functie van de tijd toe. Bij het ontwerp van de

reactor moet dus rekening worden gehouden met de frequentie waarmee de korrels worden afgetapt;

- de benodigde hoogte van het bovengedeelte van de korrelreactor.

De hoogte van het konische bovengedeelte van de korrelreactor wordt bepaald door de keuze van het entmateriaal en de opwaartse snelheid in de reactor;

- de hoogte van het konische ondergedeelte van de korrelreactor.

De hoogte van het konische ondergedeelte wordt bepaald door de grootte van de openingshoek

De hoogte van in bedrijf zijnde cilindrische reactoren bedraagt 7,70-9,50 m. De hoogte van de in bedrijf zijnde cilindrische reactoren met een konisch ondergedeelte waarin met natronloog wordt onthard, bedraagt 5,15-9,90 m en die van reactoren met een konisch ondergedeelte waarin met kalkmelk wordt onthard 9,00-11,50 m. De in Duitsland in bedrijf zijnde reactoren voor ontharding met kalkmelk hebben een bouwhoogte van 11 - 14 m.

8.5 Onderzoek naar de werking van de verschillende reactortypen

8.5.1 Oppervlaktewater

Gemeentewaterleidingen Amsterdam heeft op proefinstallatieschaal de werking van een cilindrische korrelreactor met Amsterdamse bodem vergeleken met een cilindrische korrelreactor met een konisch ondergedeelte en een flappenbodem (diameter 0,60 m), waarin met natronloog werd onthard. Vanwege de geringere hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat in het reactoreffluent, het daaraan gerelateerde geringere loogverbruik, de geringere verschillen in pH over de doorsnede van de reactor en de grotere capaciteit per reactor heeft Gemeentewaterleidingen Amsterdam gekozen voor de cilindrische reactor met Amsterdamse bodem.

8.5.2 Grondwater

De N.V. Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant heeft de werking van een cilindrische reactor met conisch ondergedeelte en tangentiële invoer vergeleken met een cilindrische korrelreactor met conisch ondergedeelte en invoer via een centrale invoerleiding (Blackpool-reactor) en een cilindrische reactor met conisch ondergedeelte en flappenbodem, waarin met kalkmelk werd onthard. Hoewel de samenstelling van het effluent van de drie reactortypen gelijk was, geeft de N.V. Waterleidingmaatschappij Noord-West-Brabant de voorkeur aan de korrelreactor met conisch ondergedeelte en tangentiële invoer. De redenen hiervoor zijn de lagere hydraulische weerstand van de reactoren, de eenvoudiger constructie, het eenvoudiger onderhoud en de stabiliteit van het proces. Bij de reactor met de centrale invoerleiding, die geruime tijd in bedrijf is geweest, werd de menging van het te ontharden water met de kalkmelk na verloop van tijd door het optreden van kalkafzetting op de reactorbodem verstoord. Bij de reactor met de flappenbodem deed zich het probleem voor, dat de korrels de flappenbodem passeerden en in de invoerkamer terechtkwamen en dat kalkafzetting optrad onder de invoerflap voor kalkmelk. Dergelijke problemen doen zich overigens niet voor in soortgelijke reactoren in Noordbergum.

Uit tabel 4 blijkt, dat de ontwerpen van de momenteel in bedrijf zijnde reactoren onderling sterk verschillen. De optimale ontwerp-criteria zijn nog niet duidelijk. Gedetailleerd onderzoek naar de werking van de bestaande reactortypen is dan ook gewenst.

9. AANMAAK EN DOSERING VAN NATRONLOOG

9.1 Aanvoer

Natronloog wordt in het algemeen als 50%-ige oplossing door tankauto's aangevoerd. Momenteel is speciaal voor waterleidingbedrijven een loogauto in gebruik met een inhoud van 19 m³. De tankauto's zijn voorzien van een luchtcompressor met behulp waarvan de natronloog kan worden overgepompt. Ten behoeve van de verrekening en de kwaliteitscontrole wordt de natronloog tijdens het lossen bemonsterd en geanalyseerd.

9.2 Opslag en verdunning

Aangezien 50%-ige natronloog bij temperaturen beneden 12°C uitkristalliseert, moet deze in een verwarmbare ruimte worden opgeslagen of worden verdund. In de korrelreactoren te Alphen wordt de natronloog onverdund gedoseerd. Wanneer natronloog wordt verdund, komt warmte vrij. Deze warmte kan eventueel worden benut voor het verwarmen van een ruimte waarin 50%-ige natronloog is opgeslagen. De natronloog wordt meestal verdund tot een concentratie van 20-25%, waardoor de kristallisatietemperatuur afneemt tot -18°C. De natronloog wordt opgeslagen in onbehandelde stalen tanks (inhoud 50 m³ of meer), die zijn voorzien van een niveaumeting (bijvoorbeeld een vlotter of ultrasonore niveaumeting) en een minimum- en maximum-niveaubeveiliging (bijvoorbeeld inductieve elektroden). De afvoerleiding van de natronloogtank naar de doseerinrichting bevindt zich op enige afstand boven de bodem van de tank (schadelijke ruimte). De loogtanks moeten volgens de daarvoor geldende voorschriften worden opgesteld in een deugdelijke opvangbak met een inhoud van één loogtank vermeerderd met 10% van de totale opslagcapaciteit.

Het verdunnen van geconcentreerde natronloog wordt op verschillende manieren uitgevoerd. Hieronder wordt dit aan de hand van een drietal praktijkvoorbeelden geïllustreerd:

- verdunnen tijdens het lossen van de tankauto (Leiduin, Weesperkarspel, Nijmegen).

Bij deze methode wordt tijdens het overpompen van de geconcentreerde natronloog vanuit de tankauto naar een opslagtank de benodigde hoeveelheid verdunningswater (gedeeltelijk of volledig onthard water) via een afslagwatermeter bijgemengd. De verdunde natronloog wordt vervolgens opgeslagen in een van de twee (of meer) opslagtanks. De 25%-ige natronloog (kristallisatietemperatuur -18°C) kan zowel binnen (Weesperkarspel, Nijmegen) als buiten worden opgeslagen (Leiduin). De bemonstering van de natronloog geschiedt tijdens het lossen van de tankauto. Zodra de geleverde natronloog aan de hand van de uitgevoerde analyses is goedgekeurd, wordt de betreffende tank in bedrijf genomen. De bedrijfservaringen met een dergelijk verdunningssysteem zijn positief.

- verdunnen in de opslagtank (Woerden).

Bij deze methode wordt de aangevoerde 50%-ige natronloog overgepompt in een van de twee binnen opgestelde opslagtanks (inhoud elk 56 m^3). Een van de opslagtanks is in gebruik als aanmaak-/voorraadtank, terwijl de andere tank als doseertank dienst doet. Zodra de doseertank leeg is, wisselen de tanks van functie. Om kristallisatie tegen te gaan, wordt de loog in de aanmaak-/voorraadtank door een circulatiepomp in beweging gehouden. Vervolgens wordt de natronloog met volledig onthard water tot een concentratie van 25% verdund. De bedrijfservaringen met een dergelijk verdunningssysteem zijn positief;

- verdunnen op afroep (Spannenburg).

De 50%-ige natronloog wordt opgeslagen in twee (binnen opgestelde) opslagtanks (inhoud 45 m^3). In een derde opslagtank (inhoud 45 m^3) bevindt zich natronloog die tot een concentratie van 25% is verdund. Zodra het niveau in de opslagtank voor verdunde natronloog 70% van het maximale niveau heeft bereikt, wordt

geconcentreerde natronloog uit een van de opslag tanks via een menger naar de opslag tank voor verdunde natronloog gepompt (magnetisch gekoppelde centrifugaalpomp). Voor de menger wordt door een automatisch werkende verdunningsinrichting een zodanige hoeveelheid onthard water bijgemengd, dat een concentratie van 25% wordt bereikt. Deze verdunningsinrichting wordt gestuurd door de soortelijke massa van de natronloog. De praktijkervaringen met de automatisch werkende verdunningsinrichting voor natronloog zijn positief. Het meetgedeelte van de verdunningsinrichting moet na gebruik met gedemineraliseerd water worden doorgespoeld.

9.3 Verdunningswater voor natronloog

De natronloog wordt in de praktijkinstallaties met geheel of gedeeltelijk onthard water verdund. Wanneer men de natronloog met gedeeltelijk onthard water verdunt, wordt de natronloog door uitvlokking van calciumcarbonaat troebel. De gevormde vlokken verzamelen zich na bezinking in de schadelijke ruimte van de opslag tank. Uit bedrijfservaringen te Spannenburg en Weesperkarspel is gebleken, dat reiniging van de opslag tanks na 4 à 5 jaar nog niet nodig is.

Wanneer de natronloog met volledig onthard water wordt verdund, treedt geen troebeling van de natronloog op. Volledig onthard water wordt in de praktijkinstallaties door ionenwisseling bereid. De kosten van volledig onthard water (investeringskosten en regeneratiekosten ionenwisselaar) zijn hoger dan die van gedeeltelijk onthard water.

9.4 Dosering van natronloog

Vanuit de opslag tank wordt de natronloog naar de doseerinstallaties geleid. Aangezien de meeste doseerpompen voordrukgevoelig zijn, is een constante druk in de zuigleiding van de doseerpompen aan te bevelen (bijvoorbeeld door een "constant-niveau-tank"). Wanneer de

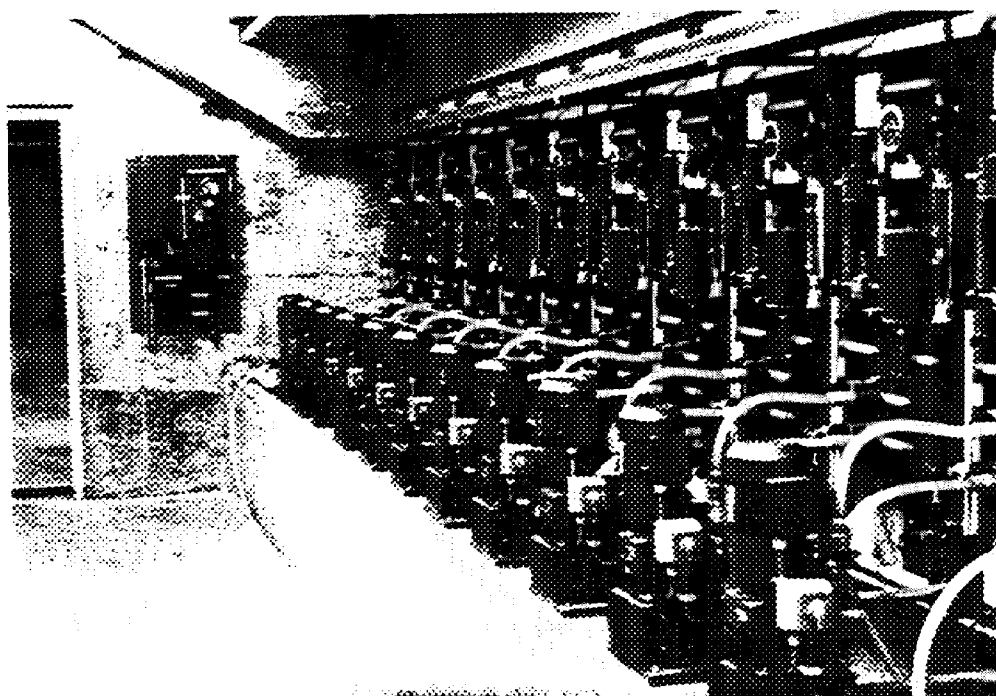
natronloog op afroep wordt verdund, moet de aanmaakfrequentie zodanig worden ingesteld dat de niveauvariaties in de doseertank gering zijn (bijvoorbeeld 70-100%).

De dosering van natronloog wordt in de praktijkinstallaties op twee manieren uitgevoerd:

- één doseerpomp per korrelreactor (Spannenburg, Woerden, Hazerswoude)

De verdunde natronloog wordt door aparte doseerpompen in de korrelreactoren gepompt. In Spannenburg zijn de doseerpompen op een vaste volumestroom afgesteld. De doseerpompen worden gelijktijdig met de korrelreactoren aan- en uitgeschakeld. In Woerden wordt de volumestroom van de doseerpompen geregeld zowel door de volumestroom door de reactor als door de pH van het effluent van de korrelreactor. Als doseerpomp wordt veelal een membraandoseerpomp toegepast. In de persleiding van de doseerpompen bevindt zich in het algemeen een pulsdemper, een volumestroommeter, een manometer (met grenswaardecontacten), een ontlastklep en een drukhoudventiel. De pulsen van de membraandoseerpomp worden door de pulsdemper afgevlakt. In geval van verstopping van de doseerleiding wordt de doseerpomp uitgeschakeld door het grenswaardecontact van de manometer. Wanneer de pomp niet door de manometer wordt uitgeschakeld, treedt de ontlastklep in werking. Het drukhoudventiel houdt de persdruk van de doseerpomp constant. De gedoseerde hoeveelheid natronloog kan nauwkeurig worden bepaald, indien in de zuigleiding van de doseerpomp een uitliterbuis is aangebracht.

De doseerpompen worden uitgeschakeld zodra de pH van het effluent van de korrelreactoren een ingestelde maximumwaarde overschrijdt. De bedrijfservaringen met bovenbeschreven doseerinstallatie bij het pompstation Spannenburg zijn positief, mits de drukvariaties in de zuigleiding van de doseerpompen niet groter zijn dan 25 kPa (0,25 bar);



Doseerinstallatie voor natronloog bij het pompstation Spannenburg
van de N.V. Waterleiding Friesland

10.2 Aanvoer van kalk

Gebluste kalk wordt in poedervorm door bulkwagens aangevoerd. Deze bulkwagens hebben een laadvermogen van maximaal 20 ton (54 m^3). De poederkalk wordt vanuit de bulkwagen pneumatisch in de silo gebracht.

10.3 Opslag van kalk

De poederkalk wordt opgeslagen in silo's, voorzien van een konisch ondergedeelte en uitgerust met een stoffilter, een schuifafsluiter en een overdrukbeveiliging. De opslag van poederkalk wordt in verband met de bedrijfszekerheid in tweevoud uitgevoerd. De silo's kunnen zowel van staal als van beton zijn vervaardigd. Stalen silo's hebben het voordeel dat ze goedkoper zijn dan betonnen silo's. De inhoud van een kalksilo bedraagt in het algemeen $60-80 \text{ m}^3$. De verblijftijd van de kalk in de silo dient bij voorkeur niet langer te zijn dan drie maanden. Voor het uitstromen van de poederkalk uit de silo is de helling van het konische ondergedeelte van de silo van belang. Deze hellingshoek dient in praktijkinstallaties $60-70^\circ$ (bij voorkeur 70°) te bedragen. Om het uitstromen van poederkalk verder te verbeteren is meestal onder de silo een trilbodem aangebracht of wordt (direct of via woelstroken) perslucht ingeblazen. Het loopgedrag van de poederkalk wordt in belangrijke mate bepaald door het vochtgehalte van de kalk.

De inhoud van de kalksilo kan worden gemeten door de silo op te stellen op drukdozen (alleen mogelijk bij stalen silo's). Een inhoudsmeting door middel van een capacitatieve elektrode wordt als onvoldoende nauwkeurig ervaren. De inhoud van een silo kan eveneens worden vastgesteld door het totale kalkverbruik te berekenen.

10. AANMAAK EN DOSERING VAN KALKMELK

10.1 Algemeen

Kalkmelk kan worden bereid uit poederkalk (gebluste kalk) ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) of uit ongebluste kalk (CaO). Bij de in Nederland in bedrijf zijnde onthardingsinstallaties wordt uitsluitend gebluste kalk toegepast. In Mannheim (BRD) is een onthardingsinstallatie in bedrijf waarbij de kalkmelksuspensie wordt bereid door het ter plaatse blussen van ongebluste kalk.

De hoeveelheid kalk die voor ontharding nodig is, kan in de vorm van kalkmelk of kalkwater worden toegevoerd. De oplosbaarheid van calciumhydroxide bedraagt ongeveer 1,7 g/l bij een temperatuur van 12°C. Wanneer de benodigde hoeveelheid kalk in de vorm van kalkwater wordt toegevoerd, betekent dit dat de volumestroom van het kalkwater ongeveer 10% bedraagt van de totale volumestroom door de reactor. Een belangrijk voordeel van het ontharden met kalkwater is, dat het zwevende-stofgehalte van het ontharde water veel lager is dan bij het ontharden met kalkmelk. Uit onderzoek door de N.V. Watermaatschappij Zuid-West-Nederland is gebleken, dat het zwevende-stofgehalte bij het ontharden met kalkwater < 5 mg/l bedraagt. Ontharding met kalkwater wordt tot dusver nog niet op bedrijfs-schaal toegepast.

Recentelijk is door een leverancier van poederkalk een 'stabiele kalkmelk' met een concentratie van 20% op de markt gebracht. Deze kalkmelk kan worden opgeslagen in een tank zonder dat sedimentatie optreedt. Voor deze "stabiele kalkmelk" is door het KIWA nog geen Attest Toxicologische Aspecten afgegeven.

In de volgende paragrafen van dit hoofdstuk wordt uitsluitend ingegaan op de bereiding van kalkmelk uit gebluste kalk (poederkalk).

- gemeenschappelijke ringleiding met regelafsluiters (Weesperkarspel, Leiduin).

De natronloog wordt door een magnetisch aangedreven centrifugaal-pomp door een ringleiding gepompt. Een drukhoudventiel houdt de druk in de ringleiding op een constante waarde. In de ringleiding is een drukbeveiliging aangebracht. De voor de ontharding benodigde hoeveelheid natronloog wordt via aan de ringleiding aangesloten regelafsluiters naar de korrelreactoren geleid. De stand van de regelafsluiters wordt bepaald door de verhouding tussen water en natronloog (voorwaartsregeling) en gecorrigeerd door de pH van het effluent van de korrelreactor. De bedrijfservaringen met het toegepaste regelsysteem zijn eveneens positief.

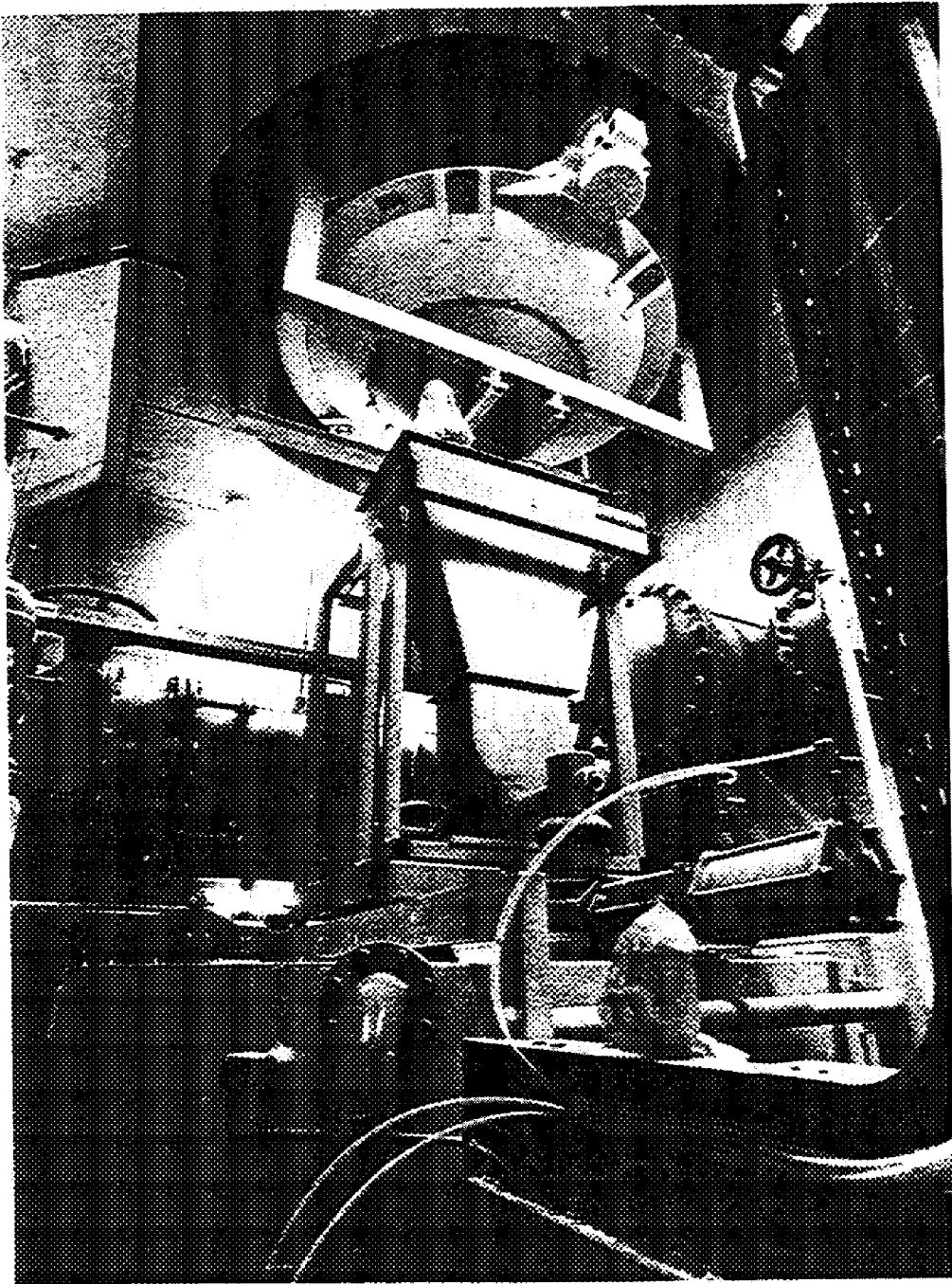
9.5 Kwaliteit van de natronloog

Voor de natronloog die voor ontharding wordt gebruikt, dient een door het KIWA afgegeven Attest Toxicologische Aspecten (ATA) te zijn verstrekt. Momenteel is natronloog op de markt die volgens het membraanproces is bereid en daardoor geen kwik bevat. Het blijft echter noodzakelijk bij aflevering de samenstelling van de natronloog door het laboratorium te laten controleren.

9.6 Veiligheid bij het werken met natronloog

Voor het werken met natronloog dienen veiligheidsmaatregelen in acht te worden genomen (brillen, maskers, beschermende kleding en neutraliserende vloeistoffen). De aanmaak- en doseerinstallatie dient bij voorkeur in een afgescheiden ruimte te zijn opgesteld. Het doseerpaneel kan eventueel nog worden afgeschermd door een scherm van plexiglas. In de bedrijfsruimte dienen oogdouches en plensdouches aanwezig te zijn.

De toevoerleiding voor natronloog naar de korrelreactor dient bij voorkeur te worden omgeven door een schermleiding.



Aanmaakinstallatie voor kalkmelk bij het pompstation
Noordbergum van de N.V. Waterleiding Friesland

Wanneer met kalkmelk wordt onthard, wordt globaal twee maal zoveel korrels geproduceerd als bij ontharding met natronloog. Het stortgewicht van de korrels bedraagt 1700-1800 kg/m³.

11.2 Toevoer van entmateriaal

11.2.1 Opslag van entmateriaal

Het entmateriaal is opgeslagen in een bunker. De inhoud van de bunker wordt bepaald door het verbruik aan entmateriaal en door de aangeleverde hoeveelheid. De benodigde hoeveelheid entmateriaal wordt afgemeten met behulp van een doseerinstallatie (transport-schroef) en vervolgens in een desinfectietank gebracht, waarin het wordt gedesinfecteerd en/of gewassen.

11.2.2 Desinfektie van entmateriaal

In de meeste in Nederland in bedrijf zijnde onthardingsinstallaties is een desinfectie-installatie geïnstalleerd. Desinfectie van het entmateriaal met natronloog of (in mindere mate) met chloorbleekloog wordt bij de meeste onthardingsinstallaties uitgevoerd. De ervaring van de N.V. Waterleiding Friesland in Noordbergum is, dat desinfectie van het entmateriaal aldaar niet noodzakelijk is. Uit het oogpunt van veiligheid is het echter aan te bevelen een desinfectie-installatie te installeren en/of het entmateriaal bij aankomst op het pompstation bacteriologisch te controleren.

Bij Gemeentewaterleidingen Amsterdam wordt het entmateriaal niet gedesinfecteerd, omdat ontharding aan het begin van het zuiveringsproces wordt toegepast en langzame zandfiltratie onderdeel uitmaakt van het zuiveringsproces. Er is echter wel een desinfectie-installatie aanwezig. In Weesperkarspel is deze sinds 1983 niet meer in gebruik.

korrels die tijdens een maximale weekproduktie wordt geproduceerd. De inhoud van de korrelbunker moet echter wel ten minste gelijk zijn aan de inhoud van één reactorvulling. De korrelbunker moet aan de volgende eisen voldoen:

- de hoogte van het aftappunt moet zodanig zijn dat het hoogste volgens het Wegenverkeersreglement toegestane voertuig onder het aftappunt kan worden gereden (momenteel: 4 m);
- de openingshoek van het konische ondergedeelte van de korrelbunker dient bij voorkeur 50-60 graden te bedragen, zodat de bunker zelflossend is;
- de bunker moet binnen worden opgesteld, om bevriezing van de korrels te voorkomen.

De korrelbunker wordt gelost door middel van een transportschroef (Nijmegen, Wouw) of onder vrij verval (Spannenburg, Weesperkarspel en Leiduin).

11.1.2 Berekening van de globale korrelproduktie

De hoeveelheid korrels die jaarlijks bij ontharding met natronloog wordt geproduceerd, bedraagt globaal:

$$M_p(\text{tot}) = 100 \cdot (T_{Hi} - T_{He}) \cdot Q_p + M_e$$

waarin:

$M_p(\text{tot})$	= jaarlijks geproduceerde hoeveelheid korrels	(ton/jr)
$M_e(\text{tot})$	= jaarlijks benodigde hoeveelheid entmateriaal	(ton/jr)
T_{Hi}	= totale hardheid van het te ontharden water	(mmol/l)
T_{He}	= totale hardheid van het ontharde water	(mmol/l)
Q_p	= jaarproduktie van het pompstation	(miljoen m ³ /jr)

Het aftappen van de korrels stopt in beide gevallen, nadat een bepaalde ingestelde tijd is verstreken of nadat het drukverschil over het korrelbed de gewenste waarde heeft bereikt.

Wanneer het aftappen van de korrels op een aantal plaatsen in de reactorbodem plaatsvindt, worden de verschillende aftappunten gedurende een bepaalde in te stellen tijd achtereenvolgens geopend en gesloten tot de aftap wordt beëindigd.

Het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland voert op vaste tijdstippen een aftapcyclus uit, die bestaat uit het eenmaal openen van alle aftappunten van die reactoren, waarvan het drukverschil over het korrelbed de ingestelde waarde heeft overschreden.

De korrels worden al dan niet met transportwater (minimale snelheid in de transportleiding 0,7 m/s) door een korrelpomp (meestal wordt een wervelradpomp met verrubberde waaier toegepast) naar een korrelbunker getransporteerd. In de installatie te Noordbergum bedraagt de snelheid in de aftapleidingen tijdens het voor- en naspoelen met water 6 m/s en tijdens het aftappen van de korrels 3 m/s. De korrelconcentratie bedraagt gemiddeld 20 vol.%.

In de korrelleidingen kunnen het best vlinderkleppen, membraanafsluiters met volle doorlaat of sommige typen plaatafsluiters worden toegepast. Het toepassen van schuifafsluiters in korrelleidingen is af te raden. De aftapleidingen dienen te zijn voorzien van aansluitingen voor het met water doorspoelen van afsluiters en leidingwerk na een korrelaftap. In sommige installaties wordt het afvoersysteem voor korrels tevens gebruikt voor de toevoer van entmateriaal.

11.1.1 De opslag van korrels

De korrels worden opgeslagen in een korrelbunker, die voorzien is van een drainagesysteem en een overstortleiding. De minimale inhoud van de korrelbunker is in het algemeen gelijk aan de hoeveelheid

11. AFVOER VAN KORRELS EN TOEVOER VAN ENTMATERIAAL

11.1 De aftap van korrels

De korrels worden via een of meer in de reactorbodem aangebrachte aftappunten uit de korrelreactor afgetapt. Bij de korrelreactoren te Wouw worden de korrels op een hoogte van 1,40 m uit het conische ondergedeelte van de korrelreactor afgetapt. De aftap van korrels vindt meestal plaats wanneer de korrelreactor in bedrijf is. De korrelaftap wordt in praktijkinstallaties op een aantal manieren geïnitieerd:

- handmatig.

De korrelaftap start door een druk op de knop;

- automatisch.

De korrelaftap wordt gestuurd door:

. het totale volume onthard water (Spannenburg).

Dit kan alleen worden toegepast, wanneer het onthardingstraject en de volumestroom in de korrelreactor constant zijn;

. het drukverschil over het korrelbed (Leiduin, Weesperkarspel, Noordbergum).

De toename van het drukverschil over het korrelbed is een maat voor de toename van de massa van het korrelbed en dus tevens voor de gevormde hoeveelheid korrels. Het drukverschil over het korrelbed kan als stuursignaal voor de korrelaftap worden toegepast, wanneer de volumestroom en het onthardingstraject niet constant zijn.

van kalkmelk zijn centrifugaalpompen met een grotere doortocht aan te bevelen (Racz e.a., 1986).

10.6 Kwaliteit van de poederkalk

Er dient poederkalk te worden gebruikt, waarvoor door het KIWA een Attest Toxicologische Aspecten is afgegeven. De kalk dient voorts aan de volgende eisen te voldoen:

- de kalk moet een hoog Ca(OH)_2 -gehalte hebben.

Een laag Ca(OH)_2 -gehalte van de poederkalk veroorzaakt een hoog zwevende-stofgehalte in het effluent van de korrelreactor;

- de deeltjesgrootte van de kalk moet zo klein mogelijk zijn.

Wanneer de deeltjesgrootte gering is, is de kalk goed in suspensie te houden;

- de kalk moet goed uit de silo stromen.

Het loopgedrag van de poederkalk wordt in belangrijke mate bepaald door het vochtgehalte;

- de voorkeur gaat uit naar een kalksoort met een laag aluminiumgehalte. Aangezien in poederkalk aluminium in de vorm van aluminiumoxide aanwezig is, neemt het aluminiumgehalte van het drinkwater door ontharding met kalkmelk toe. In de nafilts verminderd het aluminiumgehalte voor een belangrijk deel. De in het Waterleidingbesluit aangegeven norm voor aluminium is $200 \mu\text{g/l}$. Wanneer het aluminiumgehalte van het water de grens van $30 \mu\text{g/l}$ overschrijdt, moet de regionaal inspecteur worden ingelicht in verband met de schadelijke gevolgen van aluminium voor (thuis)dialysepatienten.

Voor de dosering van kalkmelk worden te Noordbergum toerengeregelde centrifugaalpompen toegepast (één pomp per korrelreactor). De zuig- en persleidingen zijn vervaardigd van multibarslang (gewapend pvc) (snelheid 0,3-0,9 m/s);

- ring- of circulatieleiding (Wouw).

De toevoerleidingen voor kalkmelk naar de korrelreactoren kunnen worden verkort door het aanbrengen van een ringleiding, waardoor de kalkmelk wordt gerecirculeerd. Dit systeem past men toe bij het pompstation Wouw. De kalkmelk wordt hier met een snelheid van 2 m/s door een ringleiding gepompt, die in tweevoud is uitgevoerd. Vanuit de ringleiding wordt via een regelafsluiter de voor de ontharding benodigde hoeveelheid kalkmelk afgenomen. De snelheid in de aftapleidingen bedraagt 0,8 m/s. Als circulatiepomp wordt een centrifugaalpompe toegepast. De toevoerleidingen naar de reactoren worden met water doorgespoeld, zodra de dosering wordt gestopt. De storingsgevoeligheid van dit doseersysteem is gering.

Het onderhoud aan de aanmaak- en doseerinstallatie bij het pompstation Noordbergum bestaat uit het periodiek reinigen van het stalen leidingwerk en de doseerpompen (elke zeven weken). Bij het pompstation Wouw is onderhoud noodzakelijk na 10.000 m³ gedoseerde kalkmelk (eens in de tien weken).

De praktijkervaringen met bovengenoemde systemen zijn positief. In Noordbergum doet zich soms het probleem voor, dat de trilbodem van de poederkalksilo niet in staat is de "hopper" van de "loss in weight feeder" voldoende snel op te vullen. Bovendien is de afdichting tussen de silo en de trilbodem kwetsbaar.

Om afzettingen te voorkomen, dienen de binnenwanden van transportleidingen zo glad mogelijk te zijn. Leidingen van kunststof hebben daarom de voorkeur boven metalen leidingen. De aanbevolen stroomsnelheid in transportleidingen bedraagt 1-2,5 m/s. Voor het doseren

De propeller die halverwege de as is aangebracht, veroorzaakt een neerwaartse beweging van het water. De kalkmelkconcentratie in de aanmaaktank bedraagt ongeveer 1%. De gemiddelde verblijftijd van de kalkmelk in de aanmaaktank bedraagt ongeveer twintig minuten. De aanmaak van kalkmelk wordt uitgevoerd met gedeeltelijk onthard water. Het aanmaakwater wordt vanuit een tank met constant niveau in de aanmaaktank gebracht ($20 \text{ m}^3/\text{h}$). Zodra het niveau in de aanmaaktank een minimumwaarde heeft bereikt (inhoud 4 m^3), wordt de toevoer van poederkalk en aanmaakwater gestart. Zodra het niveau in de aanmaaktank een maximumwaarde heeft bereikt (inhoud 5 m^3), wordt de toevoer van poederkalk en aanmaakwater gestopt.

De aanmaakinstallatie voor kalkmelk wordt in verband met stofproblemen bij voorkeur in een ruimte opgesteld die van de reactorruimte is afgescheiden. In deze ruimte is in het algemeen een afzuiginstallatie geïnstalleerd die kalkstof uit de aanmaaktank en uit de weegapparatuur zuigt.

Bij het ontwerpen van een kalkmelkaanmaaktank gaat de voorkeur uit naar een standaard mengtank (vloeistofhoogte gelijk aan de diameter van het mengvat), die is voorzien van vier keerschotten. In het midden van het mengvat is een propellerroerder geplaatst (diameter van $1/3$ - $1/5$ van de tankdiameter) met een toerental waarbij de kalkdeeltjes homogeen over de tankinhoud worden verdeeld. De verblijftijd van de suspensie in de mengtank dient meer dan dertien minuten te bedragen (Racz e.a., 1986).

10.5 Dosering van kalkmelk

Het doseren van kalkmelk geschiedt op een aantal verschillende manieren. Aan de hand van praktijkvoorbeelden wordt een tweetal mogelijkheden toegelicht:

- één doseerpomp per korrelreactor (Noordbergum).

van de weegband bedraagt ongeveer 1% bij een kalkmelkconcentratie van 8 g/l (Wouw);

. "loss in weight feeder" (Noordbergum)

Bij een "loss in weight feeder" wordt de gewichtsafname van een "hopper" constant gehouden door een toerengeregelde doseerschroef. Een tarra-verschuiving kan bij dit systeem niet optreden. De investeringskosten van een dergelijk systeem zijn hoger dan die voor een weegband. De N.V. Waterleiding Friesland heeft positieve ervaringen opgedaan met een "loss in weight feeder" bij het pompstation Noordbergum.

Bij het pompstation Noordbergum van de N.V. Waterleiding Friesland wordt kalkmelk aangemaakt in een tweetal stalen tanks met konisch ondergedeelte (inhoud 4 m^3), die zijn voorzien van een excentrisch geplaatst roerwerk (toerental 350 min^{-1}) en keerschotten. De kalkmelkconcentratie in de aanmaaktanks varieert afhankelijk van het onthardingstraject en de volumestroom van het te ontharden water tussen 1 en 2,5%. De hoeveelheid gedoseerde kalkmelk wordt constant gehouden door middel van een volumestroomregeling. Uit onderzoek in Noordbergum is gebleken, dat de gemiddelde verblijftijd in de kalkmelkaanmaaktank ten minste dertien minuten moet bedragen. Wanneer de verblijftijd te kort is, treedt ernstige afzetting van calciumhydroxide op in het leidingwerk en de doseerpompen (toerengeregelde centrifugaalpompen). Momenteel bedraagt de verblijftijd in de kalkmelkaanmaaktank zestien minuten. De aanmaak van kalkmelk wordt uitgevoerd met gedeeltelijk onthard water. De toegevoerde hoeveelheid onthard water wordt zodanig geregeld, dat het niveau in de aanmaaktank constant is.

Bij het pompstation Altena van de N.V. Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant wordt kalkmelk aangemaakt in een enkelvoudig uitgevoerde stalen tank met een konisch ondergedeelte (inhoud 5 m^3), die is uitgerust met een excentrisch geplaatst roerwerk (toerental 1000 min^{-1}) en keerschotten. Op de as van het roerwerk zijn twee propellers aangebracht, één halverwege en één onderaan.

10.4 Aanmaak van kalkmelk

Vanuit de kalksilo wordt de poederkalk via een doseerinstallatie naar de aanmaaktank voor kalkmelk getransporteerd. De aanmaakinstallatie is in verband met de bedrijfszekerheid in tweevoud uitgevoerd. In de aanmaaktanks, die onder de betreffende silo's zijn opgesteld, wordt de kalkmelk in de gewenste concentratie aangemaakt. De benodigde hoeveelheid poederkalk wordt op twee manieren afgemeten:

- volumetrische poederkalkdosering (Duitsland).

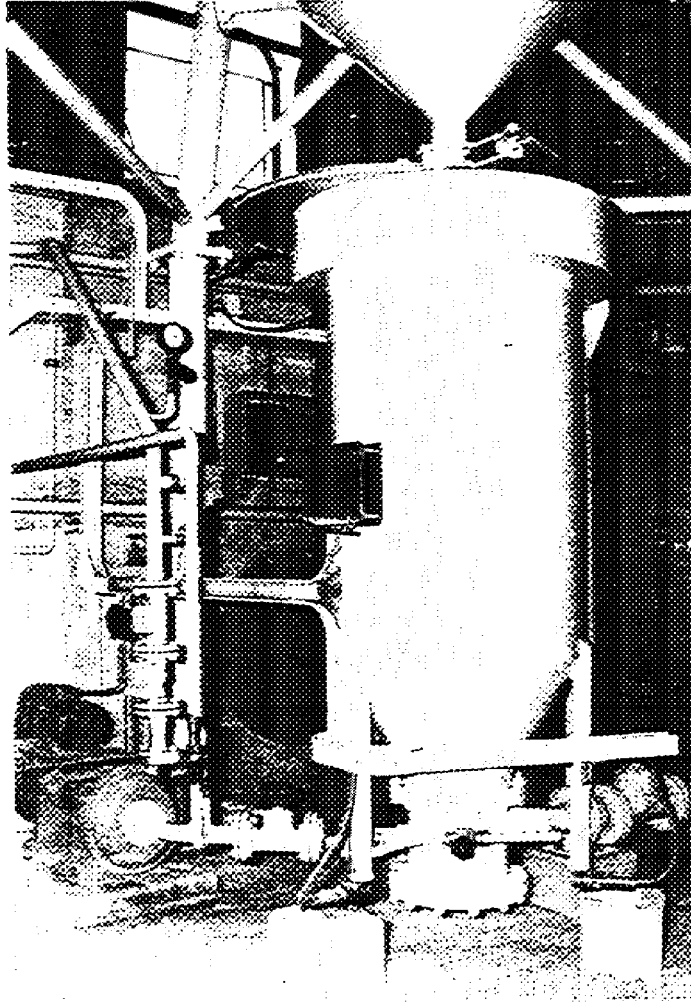
Bij een volumetrische doseerinstallatie wordt de poederkalk door een transportschroef in de aanmaaktank voor kalkmelk geleid. Het voordeel van een volumetrische doseerinstallatie is, dat de investeringskosten relatief laag zijn. Een nadeel is echter dat door de variërende soortelijke massa van de poederkalk de concentratie van de kalkmelk sterker varieert (circa 4%) dan bij toepassing van een gravimetrische dosering (circa 1-2%);

- gravimetrische poederkalkdosering (Wouw, Noordbergum).

Bij een gravimetrische dosering wordt een hoeveelheid poederkalk afgewogen voordat deze in de aanmaaktank wordt gebracht. De meest voorkomende doseerinstallaties zijn:

. weegband (Wouw)

Bij dit type installatie wordt de poederkalk door een doseerschroef naar een weegband getransporteerd, waarmee de benodigde hoeveelheid poederkalk wordt afgewogen. De N.V. Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant heeft bij het pompstation Altena te Wouw gedurende tien jaar positieve ervaringen opgedaan met een weegbandinstallatie. Een nadeel van een weegbandinstallatie is, dat op de band afzetting van poederkalk optreedt, waardoor een tarraverschuiving ontstaat. Het is derhalve noodzakelijk de weegband enige malen per week af te borstelen. De nauwkeurigheid



Installatie voor het spoelen van entmateriaal bij het het
pompstation Leiduin van Gemeentewaterleidingen Amsterdam

11.2.3 Spoelen van entmateriaal

Het spoelen van entmateriaal wordt in vrijwel alle onthardingsinstallaties in Nederland toegepast. De ingestelde spoelsnelheid is in het algemeen iets hoger dan de snelheid in het bovenste gedeelte van de korrelreactor (uittredesnelheid). Het spoelen van het entmateriaal is noodzakelijk om belasting van filters met de fijne fractie van het entmateriaal te voorkomen.

Na desinfectie en spoelen wordt het entmateriaal door een aparte pomp, door de korrelpomp of door middel van een injector in de reactor geleid. In de onthardingsinstallaties in Friesland wordt het entmateriaal ingevoerd door het aftappunt van de korrels. In de installaties te Leiduin en Weesperkarspel is aan de korrelreactoren op 1 m boven de bodem een apart invoerpunt voor entmateriaal aangebracht. De toevoer van entmateriaal geschiedt met de hand of automatisch.

11.2.4 Berekening van de hoeveelheid entmateriaal

De hoeveelheid toegevoerd entmateriaal kan worden berekend met de volgende formule:

$$M_e = \frac{d^3}{D^3} \cdot M_p = a \cdot M_p$$

waarin:

M_e = toegevoegde hoeveelheid entmateriaal (kg)
 M_p = afgetapte hoeveelheid korrels (kg)
 d = gemiddelde diameter (d_{50}) entmateriaal (mm)
 D = gemiddelde diameter (d_{50}) afgetapte korrels (mm)

De jaarlijks benodigde hoeveelheid entmateriaal kan worden berekend met de formule:

$$M_e (\text{tot}) = a \cdot M_p (\text{tot})$$

Wanneer zand (0,1-0,3 mm) als entmateriaal wordt toegepast en de korrels bij een diameter van 1 mm worden afgetapt, bedraagt de hoeveelheid toegevoegd entmateriaal ruwweg 1-2% van de afgetapte hoeveelheid korrels. Wanneer een entmateriaal met een gemiddelde korreldiameter van 0,5 mm wordt toegepast, bedraagt de hoeveelheid toegevoerd entmateriaal ruwweg 10% van de totale hoeveelheid afgetapte korrels. De keuze van het entmateriaal bepaalt het gehalte hiervan in de korrels. Dit kan van belang kan zijn voor de afzet van de korrels.

12. PROCESBEWAKING

Om de werking van korrelreactoren te kunnen bewaken, worden in het algemeen de volgende metingen verricht:

- pH-meting in het reactoreffluent

Door het optreden van kalkafzetting op de elektroden levert de pH-meting in het effluent van de korrelreactor vaak problemen op. Positieve ervaringen zijn opgedaan met ultrasonoor gereinigde elektroden en met elektroden die periodiek automatisch met zoutzuur worden gereinigd;

- meting van de soortelijke geleiding van het reactoreffluent.

Bij ontharding met kalk verloopt het verschil in soortelijke geleiding tussen het influent en het effluent van de korrelreactor lineair met het onthardingstraject. Bij een constante soortelijke geleiding van het influent van de korrelreactor kan de soortelijke geleiding van het effluent als stuursignaal worden gebruikt. Positieve ervaringen zijn opgedaan met een inductieve meting van de soortelijke geleiding van het reactoreffluent. Deze meetmethode is redelijk ongevoelig voor kalkafzetting;

- troebelheidsmeting in het reactoreffluent

De troebelheid van het effluent van de korrelreactor is een maat voor het gehalte aan zwevende stof in het reactoreffluent. Bij ontharding met natronloog is de troebelheid van het effluent slechts weinig hoger dan die van het influent en kan de troebelheid worden gemeten met behulp van een troebelheidsmeter, die werkt op basis van lichtverstrooiing onder een hoek van 90 graden. Bij ontharding met kalkmelk is de troebelheid van het reactoreffluent door aanwezigheid van zwevende stof hoog. Positieve ervaringen zijn hier opgedaan met "surface scatter" troebelheidsmeters, waarbij de hoeveelheid licht wordt gemeten die door de deeltjes aan het wateroppervlak wordt verstrooid.

Door kalkafzetting in de cuvet moet deze regelmatig worden gereinigd, omdat anders te hoge waarden worden gemeten;

- meting van de totale hardheid in het reactoreffluent of het filtraat.

Door diverse waterleidingbedrijven zijn positieve ervaringen opgedaan met hardheidsmeters. Bij de pompstations Leiduin en Weesperkarspel wordt de totale hardheid continu gemeten. Bij het pompstation Noordbergum wordt de totale hardheid als stuursignaal gebruikt;

- meting van de temperatuur;

Bij het ontharden van oppervlaktewater beïnvloedt de temperatuur in belangrijke mate het verloop van het onthardingsproces. Het is hierbij van belang de temperatuur continu te meten, zodat het proces in de reactoren tijdig kan worden aangepast.

13. PROCESREGELING

In de praktijkinstallaties worden afhankelijk van de situatie verschillende procesregelingen toegepast. Aan de hand van een tweetal praktijkvoorbeelden wordt ingegaan op een aantal aspecten van procesregeling van korrelreactoren. Er zijn hierbij twee basisprincipes te onderscheiden:

- elke korrelreactor heeft een constante volumestroom en een constant onthardingstraject.

Een regeling volgens dit principe wordt toegepast bij de pompstations Spannenburg en Wouw, waar het te ontharden water een constante totale hardheid heeft. De korrelreactoren worden periodiek aan- en uitgeschakeld. De capaciteit van de reactoren dient zodanig te worden gekozen, dat het aantal schakelingen minimaal is.

Het aan- en uitschakelen van korrelreactoren met een konisch ondergedeelte en een flappenbodem of tangentiële invoer levert in het algemeen geen technische problemen op. Bij het toepassen van cilindrische reactoren met een Amsterdamse bodem moeten speciale maatregelen worden genomen. Deze maatregelen kunnen bestaan uit het continu doorstromen van de reactor na het uitschakelen met een geringe hoeveelheid water, om afzettingen te voorkomen die ontstaan doordat nog loog uit de doseerkoppen vloeit. Bij de door het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland ontwikkelde reactor wordt de loog na het stoppen van de reactor uit het verdeelsysteem verwijderd door het systeem door te spoelen met verdund zoutzuur.

Elke korrelreactor is voorzien van een aparte toevoerpomp voor natronloog of kalkmelk, die op een constante volumestroom is afgesteld. Wanneer een korrelreactor wordt gestart of gestopt, wordt de dosering van natronloog of kalkmelk bij een grenswaarde van de volumestroom door de korrelreactor gestart of gestopt. Dit

is nodig om te voorkomen, dat de in de reactor aanwezige base kalkafzetting veroorzaakt, waardoor de loogsproeier verstopt. De aftap van korrels start automatisch zodra een ingesteld volume de korrelreactor is gepasseerd en stopt zodra een ingestelde tijd is verstreken. Het grote voordeel van het bovenbeschreven principe is dat het eenvoudig en daardoor minder storingsgevoelig is;

- elke korrelreactor heeft een variabele volumestroom en een constant (of variabel) onthardingstrajekt.

Een regeling volgens dit principe wordt toegepast bij de pompstations Weesperkarspel en Leiduin en bij het pompstation Noordbergum.

Bij de pompstations Weesperkarspel en Leiduin wordt afhankelijk van de waterbehoefte de volumestroom door de reactoren gevarieerd (eenmaal per etmaal). De opwaartse snelheid in de korrelreactoren varieert hierbij tussen 50 en 120 m/h, terwijl de totale hardheid van het effluent van de korrelreactoren afhankelijk van de temperatuur varieert tussen 1,0 en 1,5 mmol/l. De voor de ontharding benodigde hoeveelheid natronloog wordt vanuit een ringleiding via een regelafsluiter toegevoerd. De stand van de regelafsluiter wordt zodanig ingesteld, dat de verhouding tussen water en natronloog constant wordt gehouden. De stand van de regelafsluiter wordt gecorrigeerd door de pH van het effluent van de korrelreactor en door de watertemperatuur. De procesregeling wordt in dit geval uitgevoerd door een computersysteem en is aanmerkelijk gecompliceerder dan in het eerder genoemde geval.

Bij het pompstation Noordbergum is het te ontharden water afkomstig van twee wingebieden met verschillende hardheden, waarvan een wingebied een variabele hardheid per put in de tijd heeft. De totale hardheid van een deelstroom van de totale produktie wordt zodanig verlaagd, dat de totale hardheid van het reinwater 1,5 mmol/l bedraagt. De gewenste reinwaterproduktie wordt door de operator bepaald door het instellen van het aantal produktietrappen (0-3). De verhouding tussen onthard en niet onthard water is

bij de verschillende produktieniveaus niet constant. De volumestroom door de korrelreactoren is variabel en wordt gestuurd door het niveau in de tussenfiltraatkelder (toerenregeling). Uit de volumestroom van onthard en niet onthard water en de totale hardheid van het niet ontharde water (deze waarden worden continu gemeten), wordt het onthardingstraject van de korrelreactoren berekend. Vervolgens wordt uit het onthardingstraject en de volumestroom onthard water de voor de hardheidsverlaging benodigde hoeveelheid kalk berekend. Deze wordt door de gravimetrische doseerinstallatie in de kalkmelkaanmaaktank gebracht. Wanneer de totale hardheid van het effluent van de korrelreactor (deze waarde wordt continu gemeten) afwijkt van de gewenste totale hardheid, wordt de kalkdosering aangepast. Aangezien de volumestroom onthard water voor de aanmaak van kalkmelk en de volumestroom kalkmelk constant worden gehouden, varieert de kalkmelkconcentratie in de aanmaaktank tussen 1 en 2,5 %.

Ontharding in korrelreactoren met natronloog wordt hoofdzakelijk toegepast op onbemande of beperkt (op werkdagen overdag) bemande pompstations. Ontharding met kalkmelk is storingsgevoeliger dan ontharding met natronloog en wordt tot dusver uitsluitend op pompstations toegepast die op werkdagen zijn bemand. Het onthardingsproces kan volledig worden geautomatiseerd, zodat het toepassen hiervan op onbemande pompstations mogelijk lijkt.

14. NABEHANDELING VAN HET ONTHARDE WATER

Nadat het water in korrelreactoren is onthard, dient het in een nabehandelingsinstallatie verder te worden behandeld. De functie van een dergelijke nabehandelingsinstallatie is:

- de verwijdering van calciumcarbonaatkristallen uit het water, die troebeling in het water na koken veroorzaken.

Dit is van belang bij vrijwel alle onthardingsinstallaties waarin met natronloog wordt onthard;

- verlaging van het zwevende-stofgehalte van het water.

Dit is van belang wanneer met kalkmelk wordt onthard;

- verwijdering van restgehalten van ijzer, mangaan en ammonium.

Afhankelijk van de plaats van ontharding in het zuiveringsproces wordt in de onthardingsinstallatie het ijzer- en mangaangehalte in meerdere of mindere mate verlaagd.

In de meeste gevallen (zeker bij de grondwaterbedrijven) wordt de nabehandeling van het ontharde water uitgevoerd in een filterinstallatie. In tabel 6 is een overzicht gegeven van de in praktijkinstallaties toegepaste nafilts. De eisen waaraan het ontharde water moet voldoen om het filtratieproces niet nadelig te beïnvloeden zijn:

- de hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat in het water dat het filter wordt aangeboden, moet minimaal zijn.

Wanneer in het ontharde water een zodanige hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat aanwezig is dat dit aanleiding geeft tot kalkafzetting in leidingen of filters, kan aan het water een geringe hoeveelheid zuur worden toegevoegd;

- het gehalte aan zwevende stof (bij ontharding met kalkmelk) en kristallijn aanwezig calciumcarbonaat (bij ontharding met natronloog) moet minimaal zijn.

Uit tabel 6 kan worden geconcludeerd, dat voor de nabehandeling van met natronloog onthard water enkellaags zandfilters worden toegepast. Onderzoek heeft aangetoond, dat een effectieve verwijdering van de in de korrelreactor gevormde calciumcarbonaatkristallen plaatsvindt, wanneer voor de nafilts een geringe hoeveelheid ijzer(III)chloride ($< 0,5$ mg/l als Fe) wordt gedoseerd. Het is hierbij van belang, dat het ijzer(III)chloride goed met het ontharde water wordt gemengd. Een nadeel van een dergelijke dosering is, dat de looptijd van de filters korter wordt.

De nabehandeling van met kalkmelk onthard water wordt uitgevoerd in dubbellaags-filters, vanwege het bergingsvolume dat nodig is voor het verwijderen van zwevende stof. Wanneer deelstroomontharding wordt toegepast, is het gewenst het ontharde water vóór de filters met het niet ontharde water te mengen en het mengwater vervolgens over de filters te leiden. Hierdoor vermindert de belasting van de filters met zwevende stof meestal aanzienlijk. In het algemeen worden bij ontharding met kalkmelk zand en hydroanthraciet (of anthrite) als filtermaterialen toegepast.

Bij de onthardingsinstallatie te Noordbergum vindt de filtratie plaats door een bed van zand en hydrofilt. Een nadeel van dit materiaal is echter dat het poreus is, waardoor kalkafzetting optreedt in de poriën van het materiaal. Als gevolg van de hierdoor veroorzaakte toename van de soortelijke massa treedt menging van de filterlagen op tijdens het spoelen, waardoor de looptijd van de filters wordt verkort.

Onderzoek bij het pompstation Altena door de N.V. Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant heeft aangetoond, dat een filter bestaande uit zand (0,5-0,8 mm) en anthrite (0,6-1,6 mm) het beste resultaat geeft.

Het is aan te bevelen om filterinstallaties waarin met kalkmelk onthard water wordt behandeld zo gelijkmatig mogelijk te belasten,

omdat fluctuaties in de filtratiesnelheid in veel gevallen aanleiding geven tot een tijdelijke toename van de troebelheid van het filtraat.

Het effluent van de korrelreactoren moet na nabehandeling behalve aan de reeds genoemde eisen en aanbevelingen tevens aan de volgende eisen voldoen:

- de hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat moet gering zijn;
- het water mag na koken geen zichtbare troebeling of een verhoogde kalkafzetting in warmwaterapparatuur geven.

15. ONDERHOUD EN BEDIENING

Aan de hand van een drietal praktijkvoorbeelden wordt in dit hoofdstuk een overzicht gegeven van het onderhoud en het toezicht, dat het toepassen van ontharding in korrelreactoren vergt.

15.1 Spannenburg

Het toezicht op de onthardingsinstallatie te Spannenburg, waarin met natronloog wordt onthard, is door de verregaande automatisering beperkt tot maximaal één uur per dag met uitzondering van de week-ends. Het toezicht bestaat bij deze installatie uit:

- het verplaatsen van het vulpunt van de korrelbunker (één maal per drie dagen);
- het uitvoeren van een correctie op het ingestelde spuiregime van de korrels en het toevoerregime van het entmateriaal (één maal per veertien dagen);
- de afvoer van korrels uit de korrelbunker;
- de aanvoer van natronloog en entmateriaal.

Voor onderhouds- en revisiewerkzaamheden moet van tijd tot tijd meer mankracht beschikbaar zijn. Het onderhoud bestaat uit:

- het verhelpen van lekkages en het verwisselen van membranen van de doseerpompen voor natronloog;
- het reinigen met zoutzuur van het gehele doseersysteem voor natronloog (één maal per drie maanden);
- het oplossen van problemen met het openen en sluiten van afsluiters in de afvoerleidingen van de korrelreactoren ten gevolge van kalkafzetting.

De wekelijkse kwaliteitscontrole bestaat uit:

- het controleren van de pH-meters;

- het controleren van de totale hardheid van het effluent van de korrelreactoren en van het reinwater;
- het controleren van de concentratie van de natronloog;
- het controleren van de dosering van ijzer(III)chloride;
- het controleren van de conditie van de reactoren.

Wekelijks wordt aan de kwaliteitscontrole een halve dag besteed.

15.2 Noordbergum

Bij de onthardingsinstallatie te Noordbergum, waar met kalkmelk wordt onthard, bestaat het toezicht uit:

- het corrigeren van het toevoerregime van entzand;
- de afvoer van korrels uit de korrelbunker;
- de aanvoer van kalk en entmateriaal;
- controle en reiniging van de aanmaak- en doseerinstallatie voor kalkmelk (dagelijks);
- controle op het verloop van het nafiltratatieproces (dagelijks).

Hoewel de onthardingsinstallatie volautomatisch werkt, vereist met name de aanmaak- en doseerinstallatie voor kalkmelk vrij regelmatig toezicht. Het onderhoud van de onthardingsinstallatie bestaat uit:

- het reinigen van het gehele aanmaak- en doseersysteem voor kalkmelk met zoutzuur (één maal per twee maanden);
- het reinigen van afvoerleidingen en afsluiters ten gevolge van vrij forse kalkafzetting (regelmatig);
- het reinigen van de pH-meters (één maal per week).

De kwaliteitscontrole, die twee maal per week wordt uitgevoerd, bestaat uit:

- het controleren van de automatische hardheids- en pH-meting;
- het controleren van de troebelheid en van de pH van de korrelreactoren;

- het controleren van de troebelheid van het nafiltraat, van het effluent van de afzonderlijke nafiltraats (indien nodig) en van het reinwater;
- het controleren van de conditie van de korrelreactoren.

De tijd die aan de kwaliteitscontrole wordt besteed, bedraagt ongeveer een halve werkdag per keer.

15.3 Wouw

Het pompstation Altena, waar ontharding met kalkmelk wordt toegepast, werkt in principe onbemand. Tijdens een dagelijkse controleronde wordt de kalk op de rand van de weegband en in de kalktoevoerleiding naar de aanmaaktank verwijderd (vijf minuten). Het periodieke onderhoud bestaat uit:

- het reinigen van het kalkmelkaanmaakstelsel met zoutzuur;
- het reinigen van de uitstroomconstructie van de reactoren;
- het inspecteren van de reactorbodem.

16. KOSTEN VAN ONTHARDING IN KORRELREACTOREN

16.1 Investeringskosten

In dit hoofdstuk zijn van een aantal onthardingsinstallaties met verschillende capaciteit de globale investeringskosten weergegeven:

- Nijmegen

De onthardingsinstallatie bij de Openbare Nutsbedrijven Nijmegen heeft een capaciteit van $500 \text{ m}^3/\text{h}$ en bestaat uit twee korrelreactoren met een diameter van 1,90 m, waarin de totale hardheid van het water met natronloog wordt verlaagd van 2,6 (nu: 2,2) tot 1,5 mmol/l. De nafiltratie wordt uitgevoerd in vier stalen filterketels. De filtratiesnelheid bedraagt 12,5 m/h. De investeringskosten zijn in het onderstaande schema weergegeven.

	Investering x f 1.000,--	
	ontharding	nafiltratie
-mechanische installatie	780	860
-elektrische voorzieningen en meet- en regelapparatuur	310	230
-bouwkundige werken	660	460
-totaal	<u>1.750</u> ⁺	<u>1.550</u> ⁺

(prijspeil 1985)

De energiekosten bedragen $0,8 \text{ ct}/\text{m}^3$ en de chemicaliekosten $3 \text{ ct}/\text{m}^3$ (Fleurkens en Meima, 1985).

- Leiduin en Weesperkarspel

De onthardingsinstallatie bij het pompstation Leiduin van Gemeentewaterleidingen Amsterdam heeft een capaciteit van 12.500 m³/h en bestaat uit tien korrelreactoren met een diameter van 3,0 m, waarin de totale hardheid van het water met natronloog van 2,4-3,0 mmol/l tot 1,5 mmol/l wordt verlaagd.

De onthardingsinstallatie bij het pompstation Weesperkarspel heeft een capaciteit van 5.200 m³/h en bestaat uit zes korrelreactoren met een diameter van 2,60 m, waarin de totale hardheid van het water met natronloog wordt verlaagd van 2,4-2,5 mmol/l tot 1,5 mmol/l. De investeringskosten van beide installaties zijn in het onderstaande schema's weergegeven.

Leiduin

	Investering x f. 1000,--
-onthardingsinstallatie	8.800
-bouwkundige voorzieningen	7.200
-pompinstallaties	3.800
-aanpassing pompgebouw en inlaatwerk	1.800
-aanpassing transportleidingen	1.500
-totaal	<hr/> 23.100 ⁺

(prijspeil 1987)

Weesperkarspel

	Investering x f 1000,--
-onthardingsinstallatie	4.000
-silogebouw en overige bouwkundige voorzieningen	1.000
	<u> </u> ⁺
	5.000

(prijspeil 1987)

Bij een bezettingsgraad van de gezamenlijke installaties te Leiduin en Weesperkarspel van 75 % wordt 85 miljoen m³ onthard water per jaar geproduceerd. De vaste kosten bedragen bij deze jaarproduktie 5,2 ct/m³ (rente: 8,5%). De gemiddelde variabele kosten bedragen 3,3 ct/m³, zodat de totale kosten per m³ onthard water 8,5 ct/m³ bedragen (Prinsen Geerligts, 1987).

- Oldenzaal

De onthardingsinstallatie bij de Gemeentebedrijven Oldenzaal heeft een capaciteit van 400 m³/h en bestaat uit twee korrelreactoren met een diameter van 1,50 m, waarin de totale hardheid van het water met natronloog wordt verlaagd van 3,0-3,2 mmol/l tot 1,5 mmol/l. De investeringskosten van de onthardingsinstallatie zijn in het onderstaande schema weergegeven.

Investering x f 1000,--	
-werktuigbouwkundige voorzieningen	750
-electrische voorzieningen	550
-bouwkundige voorzieningen	500
	_____+
-totaal	1.800

(prijspeil 1987)

De vaste kosten bedragen ongeveer f 0,14/m³ bij een totale jaarproduktie van 1,7 miljoen m³ (rente: 8%) en de variabele kosten ongeveer f 0,07/m³, zodat de totale kosten voor de ontharding ongeveer f 0,21/m³ bedragen.

- Spannenburg

De onthardingsinstallatie heeft een capaciteit van 2600 m³/h en bestaat uit tien korrelreactoren met een diameter van 1,80 m, waarin de totale hardheid van het water wordt verlaagd van 3,1 mmol/l tot 1,5 mmol/l. De globale investeringskosten zijn in het onderstaande schema weergegeven.

Investering x f. 1000,--	
-onthardingsinstallatie	4.250
-bouwkundige voorzieningen	1.750
	_____+
-totaal	6.000

(prijspeil 1982)

De vaste kosten zijn geraamd op f 0,07/m³ (afschrijving 4% per jaar, rente 11%) bij een jaarproductie van 10 miljoen m³. De geïnstalleerde capaciteit is echter voldoende voor een jaarproductie van 15 miljoen m³. De kosten van chemicaliën bedragen f 0,05/m³, zodat de totale kosten f 0,12/m³ bedragen. De kosten voor onderhoud en energieverbruik zijn niet in deze kosten opgenomen.

- Noordbergum

De onthardingsinstallatie heeft een capaciteit van 1950 m³/h en bestaat uit drie korrelreactoren met een diameter van 2.90 m, waarin de totale hardheid van het water met kalkmelk wordt verlaagd van 2,5-3,2 mmol/l tot 1,5-1,7 mmol/l. De globale investeringskosten bedragen inclusief de ombouw van de nafilts, het leidingwerk en de bouwrente f. 9.000.000 (prijspeil 1984). De vaste kosten bedragen f 0,07/m³ (afschrijving: 4 % per jaar, rente: 9%). De chemicaliekosten bedragen f. 0,03 - f 0,04/m³, zodat de totale kosten f 0,10 - f 0,11 bedragen. Wanneer de kosten worden berekend over de totale hoeveelheid afgeleverd water van 20 miljoen m³ per jaar, dan zijn de kosten van ontharding slechts f 0,065- f 0,07/m³ (Van Ammers, 1984).

16.2 Chemicaliekosten

De kosten van natronloog, kalk en soda bedragen respectievelijk globaal f 600,--, f 180,-- en f 500,-- per ton. Dit komt overeen met respectievelijk f 0,024, f 0,014 en f 0,053 per mmol/l hardheidsverlaging (exclusief ontzuring).

16.3 Kosten entmateriaal

In onthardingsinstallaties wordt tot dusver alleen zand als entmateriaal toegepast. De kosten van zand (0,1-0,3 mm) en zand (0,4-0,6

mm) bedragen respectievelijk globaal f 150 en f 200 per ton. De kosten van granaatzand (0,1-0,3 mm) bedragen f 600,-- per ton. Het verbruik aan zand of granaatzand (0,1-0,3 mm) bedraagt 6-10 % van het verbruik aan zand (0,4-0,6 mm).

16.4 Energiekosten

Het energieverbruik van een onthardingsinstallatie bedraagt ongeveer 0,06-0,07 kWh/m³ bij een pompredement van 0,7. De energiekosten bedragen bij een energieprijis van f 0,25/kWh ongeveer f 0,015 - f 0,018/m³.

17. AFZETMOGELIJKHEDEN VAN ONTHARDINGSKORRELS

De in de praktijkinstallaties geproduceerde korrels bestaan vrijwel volledig uit calciumcarbonaat met daarnaast in geringe mate ijzer, mangaan en eventueel in het water aanwezige zware metalen. In de onthardingskorrels bevindt zich een zandkern. Deze zandkern maakt, afhankelijk van de korreldiameter van het gebruikte entmateriaal van < 2% tot >10 % van de korrelmassa uit. Wanneer gebroken korrels als entmateriaal worden gebruikt, worden homogene onthardingskorrels verkregen. Aangezien een aantal afnemers eisen stellen ten aanzien van het zandgehalte van de korrels, dient dit aspect bij de keuze van het entmateriaal te worden meegenomen.

Momenteel wordt door de waterleidingbedrijven ongeveer 20.000 ton korrels per jaar geproduceerd. Deze hoeveelheid korrels wordt vrijwel geheel afgezet aan de industrie. De verwachting is, dat de hoeveelheid geproduceerde korrels in het jaar 1990 zal zijn toegenomen tot 25.000-30.000 ton per jaar. Industrieën die als potentiële afnemer van onthardingskorrels in aanmerking komen, zijn:

- de kalkverwerkende industrie.

De onthardingskorrels worden in de kalkverwerkende industrie in gemalen toestand aan bouwkalk toegevoegd. Daarnaast worden op zeer beperkte schaal korrels in gebroken en gezeefde vorm afgezet als entmateriaal;

- de veevoederindustrie.

De veevoederindustrie voegt de korrels in gemalen vorm toe aan voeder voor pluimvee;

- de galvanische industrie.

De korrels kunnen worden gebruikt voor het neutraliseren van zuren;

- de landbouw.

De korrels kunnen in dit geval worden gebruikt voor het conditioneren van landbouwgronden (pH-verhoging);

- het neutraliseren en opharden van drinkwater met een zeer lage hardheid (Reijnen en Van Paassen, 1985).

Onthardingskorrels kunnen tevens worden afgezet aan industrieën waar kolengestookte wervelbedovens worden toegepast. Aan de brandstof van deze wervelbedovens wordt kalksteen toegevoegd voor het binden van zwaveldioxide uit de rookgassen. Onderzoek van de Technische Universiteit Twente heeft uitgewezen, dat in plaats van kalksteen ook onthardingskorrels aan de brandstof kunnen worden toegevoegd (Akse e.a., 1986).

18. LITERATUUR

Advies inzake centrale waterontharding, rapport van de Gezondheidsraad, (1975), 26 blz.

Akse, H.A.; Kamphuis, B; Spitsbergen, U.; Onderzoek naar toepassing van wateronthardingspellets voor rookgasontzwaveling van kolenge-stookte wervelbedinstallaties.

H₂O, 19(1986)14, blz. 331-333.

Van Ammers, M.; De zuivering in het nieuwe Spannenburg

H₂O, 15(1982)18, blz. 485-487.

Van Ammers, M.; Het onthardingsproces in het pompstation van de N.V. Waterleiding Friesland te Noordbergum.

H₂O, 17(1984)26, blz. 612-615.

Centrale Ontharding, rapport van de Commissie Centrale Ontharding van het KIWA, (1971), 40 blz.

Fleurkens, A. L., Meima, H.J.; Drinkwaterwinning in stedelijk gebied.

H₂O, 18(1985)23, blz. 488-494.

Gezondheidsaspecten van centrale ontharding van leidingwater, rapport van de werkgroep G.C.O.L., Staatsuitgeverij, 1982.

Graveland, A.; Amsterdam: van hard naar zacht water

H₂O, 20(1987)13, blz. 291-294.

Methodieken Centrale Ontharding, KIWA-mededeling nr. 62 (1981).

Optimale samenstelling van drinkwater

KIWA-mededeling 100, (1988).

Prinsen Geerligs, W.L.; De onthardingsinstallaties van Gemeentewaterleidingen te Leiduin en Weesperkarspel.

H₂O, 20(1987)13, blz. 295-300.

Racz, I.G.; Groot Wassink, J.; Zondervan, J.; Aankorsting in pompen en leidingen van een kalkdoserinstallatie. Een praktijkstudie.

P.T. Procestechiek 41(1986)8, blz. 44-49.

Reijnen, G.K., Van Paassen, J.M.; Ontzuren met onthardingspellets biedt perspectief.

H₂O, 18(1985)2, blz. 34-37.

VEWIN-advies voor de aanpak van het probleem 'lood in drinkwater', (1987).

Wijziging van het Waterleidingbesluit (Stb. 1960, 345), supplement bij de Nederlandse Staatscourant van 28 februari 1983, nr. 41.

TABELLEN

Tabel 3 - Overzicht van korrelreactoren in Nederland

Plaats	Jaar	Aantal reacto- ren	Produktie per reactor		Type	Base
			ont- werp (m ³ /h)	actu- eel (m ³ /h)		
Alphen	1975	3	200	150	D	natronloog
Hazerswoude	1978	3	200	180	A	natronloog
Woerden	1979	6	180	125	A	natronloog
Spannenburg	1982	10	260	260	A	natronloog
Nijmegen	1985	2	250	250	A	natronloog
Ridderkerk	1970	1	70	60	D,A	natronloog
		1	150	120	D,A	natronloog
Weesperkarspel	1987	6	660	265-660	B	natronloog
Leiduin	1987	10	840	350-840	B	natronloog
Wijk aan Zee *)	1990	6	500	500	C	natronloog
Oldenzaal *)	1988	2	200	180	B	natronloog
Wouw	1975-1986	2	200	200	E	kalkmelk
	1986	3	200	200	D	kalkmelk
Noordbergum	1984	3	650	400-650	A	kalkmelk
Seppe *)	1992	4	360	360	D	kalkmelk
Zutphen *)	1989	2	240	240	A	kalkmelk

Verklaring: A = cilindrische reactoren met konisch ondergedeelte en flappenbodem

B = cilindrische reactoren met Amsterdamse bodem

C = cilindrische reactoren met PWN-bodem

D = cilindrische reactoren met konisch ondergedeelte en tangentiële invoer

E = cilindrische reactoren met konisch ondergedeelte en centrale invoerleiding (Blackpool-reactor)

*) = installatie in aanbouw

Tabel 4 - Ontwerpgegevens korrelreactoren in Nederland

	D_c (m)	D_b/D_c	D_v/D_c	Openings- hoek (graden)	H (m)	n_1	n_2	m^3/h water per dop
<u>natronloog</u>								
Alphen	1,50	0,33	1,33	58	5,15	--	1	--
Hazerswoude	1,55	0,58	1,61	36	8,10	12	1	17
Woerden	1,35	0,44	2,37	38	7,80	8	1	23
Spannenburg	1,80	0,44	1,94	53	7,10	15	1	17
Nijmegen	1,90	0,42	1,84	20	9,90	15	1	17
Ridderkerk	1,00	0,50	1,40	47	6,00	4	1	18
	1,40	0,36	1,43	48	6,00	6	1	25
Weesperkarspel	2,60	1,00	1,16	--	8,00	186	170	3,5
Leiduin	3,00	1,00	1,16	--	9,50	247	231	3,4
Wijk aan Zee *)	2,65	1,00	1,00	--	7,70	144	52	3,5
Oldenzaal *)	1,50	1,00	1,53	--	7,90	60	56	3,3
<u>kalkmelk</u>								
Wouw	2,10	0,52	1,33	37	9,10	--	1	--
					9,75	1	1	--
Noordbergum	2,90	0,45	1,90	42	9,00	30	1	22
Seppe *)	2,40	0,50	1,42	44	11,50	1	1	--
Zutphen *)	1,75	0,46	2,00	27	8,50	15	1	16

Verklaring:

- D_c = diameter cilindrisch gedeelte reactor
- D_b = bodemdiameter reactor
- D_v = diameter verwijd bovengedeelte reactor
- H = hoogte korrelreactor
- n_1 = aantal invoerpunten voor water
- n_2 = aantal invoerpunten voor de base
- *) = installatie in aanbouw

Tabel 5 - Procesparameters onthardingsinstallaties

	v (m/h)	ΔTH (mmol/l)	H (m)	D_p (mm)	F_a	F_t	entma- teriaal (mm)	conc. base (%)
<u>natronloog</u>								
Alphen	85	2,5	3,4	1	1/d	1/d	0,4-0,6	50
Hazerswoude	95	2,7	3,5	1-3	1/d	2/wk	0,2-0,6	33
Woerden	90	1,3	2,8	1	1/d	1/d	0,2-0,6	25
Spannenburg	100	1,6	3,0	1	3/d	1/wk	0,1-0,3	25
Nijmegen	90	0,7	3,0	1-1,5	1/d	2/wk	0,1-0,3	25
Ridderkerk	75	2,1	2,0	1-1,5	2/wk	1/wk	0,5-0,8	25
Weesperkarspel	50-125	0,8	2,0	0,85*)	3/d	3/d	0,4-0,6	25
Leiduin	50-120	1,1	2,0	0,85*)	3/d	3/d	0,4-0,6	25
Wijk aan Zee **)	90	1,0	2,0	0,9	16/d	1/d	0,4-0,6	25
Oldenzaal **)	100	1,7	-	-	-	-	-	25
<u>kalkmelk</u>								
Wouw	60	2,3	3,5	1,0	2/wk	2/wk	0,1-0,3	1
Noordbergum	60-100	1,5-2,5	3,5	1,0	3-4/d	1-2/wk	0,1-0,3	1-2,5
Seppe **)	80	1,9	-	-	-	-	0,1-0,3	1
Zutphen **)	100	1,7	-	-	-	-	0,1-0,3	1

Verklaring:

- v = opwaartse snelheid
- ΔTH = onthardingstraject
- H = hoogte vast korrelbed
- D_p = diameter korrels bij aftap
- F_a = aftapfrequentie korrels
- F_t = toevoerfrequentie entmateriaal

*) = in de zomer wordt afgetapt bij een korreldiameter van 1,1 mm.

***) = voorlopig

Tabel 6 - Overzicht van in praktijkinstallaties toegepaste
nafilts (grondwaterpompstations)

	filtermateriaal	filtratie- snelheid (m/h)	bedhoogte (m)	conc. Fe (mg/l)
<u>natronloog</u>				
Alphen	zand (0,7-1,2 mm)*)	8,7	2,30	0
Hazerswoude	zand (0,7-1,7 mm)*)	6	1,20	0
	grind (1,2-2,4 mm)*)	6	ca. 2	0
Woerden	grind (2-3 mm)	8-13	1,70	0
Spannenburg	zand (0,8-1,2 mm)	4,5	2,00	0,5
Nijmegen	grind (1-2 mm)	12,5	2,00	0,5
Ridderkerk	grind (1,5-3 mm) *)	6,7	2,00	<0,1
Oldenzaal	grind (circa 2 mm)	5,4	1,10	-
Wijk aan Zee	zand (0,8-1,2 mm)	<7,5	1,00	-
	h.a. (1,4-2,5 mm)		0,50	
<u>kalkmelk</u>				
Wouw	zand (0,6-0,85 mm)	3,7	0,70	0
	anthrite (0,6-1,6 mm)		0,80	
Noordbergum	zand (0,6-0,8 mm)	< 10	0,80	0
	hydrofilt (1,6-2,5 mm)		0,90	
Seppe	zand (0,6-0,85 mm)	5,4	0,75	0
	anthrite (0,6-1,6 mm)		1,00	

*) dit zijn droogfilters

h.a. = hydroanthraciet

BIJLAGEN

```

C
C VEWIN - SPEURWERKPROJEKT DEELONTHARDING, 875421
C
C
C H.WEISTRA, KIWA-HAS, 1-MEI-88
C G.H. EKKERS, KIWA-HAS; Microsoft FORTRAN77 V3.20
C
C DIT PROGRAMMA BEREKENT DE WATERSAMENSTELLING NA EVEN-
C WICHT EN DE THEORETISCH AFZETBARE HOEVEELHEID CALCIUM-
C CARBONAAT VAN EEN GEGEVEN SAMENSTELLING ONTHARD WATER.
C
  IMPLICIT REAL (I - N)
  INTEGER      Z
  CHARACTER    ANTW*1

  OPEN(1,FILE='DEELONT.DAT',STATUS='NEW')

C
C BEGIN MET INVOEREN GETALLEN...
C

10 CONTINUE

  PRINT 50, ' '
  PRINT 50, '$ Geef de temperatuur (graden celcius): '
  READ*, T_VOOR
  PRINT 50, '$ Geef de ionensterkte (mmol/l)           : '
  READ*, U_VOOR
  PRINT 50, '$ Geef de calciumconcentratie (mmol/l): '
  READ*, CA_VOOR
  PRINT 50, '$ Geef de pH-waarde                       : '
  READ*, PH_VOOR
  PRINT 50, '$ Geef het m- getal (mmol/l)             : '
  READ*, M_VOOR

  T =T_VOOR
  U =U_VOOR
  CA=CA_VOOR
  PH=PH_VOOR
  M =M_VOOR

  CALL K(KS, K1, K2, KW, T)
  CALL FI(F1, U)
  CALL AFI(H3, PH, A0, A1, A2, F1, V, K1, K2)
  CALL ELT(PH, H3, H3O, OH, KW, F1, DLT)
  CALL PCT(CT, M, DLT, V, P)
  CALL SID(SI, CA, A2, CT, F1, KS)
  CALL APHCT(UPHCT, CT, A2, A1, H3O, OH)
  CALL UBI(UB, U, UPHCT)

  P_VOOR = P
  SI_VOOR = SI

C Toekennen nieuwe variabelen met beginconcentraties
C

  M0 = M
  UB0 = UB
  P0 = P
  CA0 = CA

  CALL UN(UB0,M0, U, P0)
  CALL PHONTH(PH,H3,H3O,OH,M,M0,P,P0,CA,CA0,UB,UB0,UPHCT,
*          A0, A1, A2, K1, K2, KW, KS, CT, U, SI, F1,V, DLT)
  CALL PCT(CT, M, DLT, V, P)
  CALL CACO3(CA3, CA, CA0)

```

```

WRITE(1,9997) CA_VOOR,CA, M_VOOR,M, P_VOOR,P, PH_VOOR,PH,
*
      U_VOOR,U, T_VOOR, SI_VOOR,SI, CA3

PRINT 50,' '
PRINT 50,'$ Wilt u stoppen J/N ? '
READ(*,50)ANTW

IF(ANTW .NE. 'J') GOTO 10

STOP' '

```

```

50 FORMAT(A)
9997 FORMAT('1',T35,' Watersamenstelling',/
* 70(' '),/
* T2, '|', T32, '| voor afzetting | na afzetting |',/
* T2, '|', T32, '| calciumcarbonaat | calciumcarbonaat |',/
* 70(' '),/
* T2, '| Ca (mmol/l) |',F12.2, ' |',
* F12.2, ' |',/
* T2, '| m-getal (mmol/l) |',F12.2, ' |',
* F12.2, ' |',/
* T2, '| p-getal (mmol/l) |',F12.2, ' |',
* F12.2, ' |',/
* T2, '| pH |',F12.2, ' |',
* F12.2, ' |',/
* T2, '| ionensterkte (mmol/l) |',F12.2, ' |',
* F12.2, ' |',/
* T2, '| temperatuur (graden C) |',F12.2, ' |',
* T70, '|',/
* T2, '| verzadigingsindex |',F12.2, ' |',
* F12.2, ' |',/
* T2, '| afzetbaar CaCO3 (mmol/l) |',F12.2, ' |',
* T70 '|',/
* 70(' '))

```

END

C
C
C

C*****

SUBROUTINE K(KS, K1, K2, KW, T)

C
C
C

Berekening van thermodynamische evenwichtsconstanten

```

IMPLICIT REAL (I - N)
T = 273.16 + T
KS = 10.**(+ 19.870 - 3059./T - 0.04035*T)
K1 = 10.**(- 17052/T - 215.21*ALOG10(T) + .12675*T + 548.56)
K2 = 10.**(- 2902.39/T - .02379*T + 9.4980)
KW = 10.**(- 4787.3/T - 7.1321*ALOG10(T) - .010365*T + 28.801)
RETURN
END

```

C*****

SUBROUTINE FI(F1, U)

C
C
C

Berekening aktiviteitscoefficient

```

IMPLICIT REAL (I - N)
F1 = 10.**(- (.5*SQRT(U)/(SQRT(1000.) + SQRT(U)) - .0002*U))
RETURN
END

```

C*****

SUBROUTINE AFI(H3, PH, A0, A1, A2, F1, V, K1, K2)

C

C Berekening van dissociatie van CO2

C

```
IMPLICIT REAL (I - N)
H3 = 10.**(3. - PH)
A0 = (1. + K1/(F1*H3) + K1*K2/((F1**4)*(H3**2)))*(- 1.)
A1 = A0*K1/(F1*H3)
A2 = A1*K2/((F1**3.)*H3)
V = A1 + 2*A2
RETURN
END
```

C*****

SUBROUTINE ELT(PH, H3, H3O, OH, KW, F1, DLT)

C

C Dissociatie van water

C

```
IMPLICIT REAL (I - N)
H3 = 10.**(3. - PH)
H3O = H3/F1
OH = KW/(F1*H3)
DLT = OH - H3O
RETURN
END
```

C*****

SUBROUTINE PCT(CT, M, DLT, V, P)

C

C Koolzuursom CT en P-getal

C

```
IMPLICIT REAL (I - N)
CT = (M - DLT)/V
P = M - CT
RETURN
END
```

C*****

SUBROUTINE APHCT(UPHCT, CT, A2, A1, H3O, OH)

C

C Berekening deel ionensterkte uit anionenconcentratie

C

```
IMPLICIT REAL (I - N)
UPHCT = CT*(2.*A2 + A1/2.) + (H3O + OH)/2.
RETURN
END
```

C*****

SUBROUTINE SID(SI, CA, A2, CT, F1, KS)

C

C Berekening verzadigingsindex

C

```
IMPLICIT REAL (I - N)
SI = ALOG10((CA*A2*CT*(F1**8.))/KS)
RETURN
END
```

C*****

SUBROUTINE UBI(UB, U, UPHCT)

C

C Berekening gecorrigeerde ionensterkte uit koolzuurevenwicht

C

```
IMPLICIT REAL (I - N)
UB = U - UPHCT
RETURN
END
```

C*****

```
SUBROUTINE UN(UB0, M0, U, P0)
```

```
C  
C Berekening ionensterkte uit koolzuurevenwicht plus M-getal,  
C berekende ionensterkte plus P-getal onder voorwaarde  
C  
IMPLICIT REAL (I - N)  
U = UB0 + M0  
IF (P0.GT.0) THEN  
    U = U + P0  
ENDIF  
RETURN  
END
```

```
C*****  
SUBROUTINE PHONTH(PH,H3,H3O,OH,M,M0,P,P0,CA,CA0,UB,UB0,UPHCT,  
* A0, A1, A2, K1, K2, KW, KS, CT, U, SI, F1, V, DLT)
```

```
C  
C Berekening evenwichts-pH d.m.v. iteratie;  
C eindnauwkeurigheid van pH-waarde bedraagt 0,01  
C
```

```
IMPLICIT REAL (I - N)  
PH3 = 0.  
500 CALL FI(F1, U)  
PH1 = 0.  
PH2 = 14.  
600 D = PH2 - PH1  
IF (D .LT. .01) GO TO 900  
PH = (PH1 + PH2)/2.  
CALL AFI(H3, PH, A0, A1, A2, F1, V, K1, K2)  
CALL ELT(PH, H3, H3O, OH, KW, F1, DLT)  
CT = (M0 - 2.*P0 + DLT)/(2. - V)  
IF (CT .LT. 0) GO TO 800  
M = 2.*CT - M0 + 2.*P0  
CA = CA0 + (M - M0)/2.  
IF (CA .LT. 0) GO TO 800  
CALL SID(SI, CA, A2, CT, F1, KS)  
IF (SI .LT. 0) GO TO 800  
PH2 = PH  
GO TO 600  
800 PH1 = PH  
GO TO 600  
900 UB = UB0 + M - M0  
CALL APHCT(UPHCT, CT, A2, A1, H3O, OH)  
U = UB + UPHCT  
E = ABS(PH3 - PH)  
IF (E .LT. .01) RETURN  
PH3 = PH  
GO TO 500  
END
```

```
C*****  
SUBROUTINE CACO3(CA3, CA, CA0)
```

```
C  
C Berekening hoeveelheid afzetbaar calciumcarbonaat  
C  
IMPLICIT REAL (I - N)  
CA3= CA0 - CA  
RETURN  
END
```

Bijlage 2

BEPALING VAN DE TROEBELHEID NA KOKEN VAN ONTHARD WATER

In een korrelreactor waarin met natronloog wordt onthard kunnen in de waterfase spontaan calciumcarbonaatkristallen ("carry-over") worden gevormd. Deze calciumcarbonaatkristallen geven, wanneer ze in het reinwater terechtkomen, aanleiding tot klachten van de consument over troebeling in het water na koken. Wanneer de troebelheid na koken van het drinkwater hoger is dan 15 FTE, moet met klachten in het voorzieningsgebied rekening worden gehouden.

De calciumcarbonaatkristallen zijn in het algemeen in een zodanig geringe concentratie in het ontharde water aanwezig, dat een rechtstreekse bepaling niet mogelijk is. Om de troebelheid na koken in het ontharde water reproduceerbaar te kunnen bepalen, is door het KIWA een standaard-kookproef in combinatie met membraanfiltratie ontwikkeld (KIWA, 1986).

De standaard kookproef wordt als volgt uitgevoerd:

- filtreer een monster effluent van een korrelreactor (of van een filter) onder een luchtdruk van 2 bar door een 0,05 μm Nuclepore-membraanfilter;
- verwarm op een elektrische kookplaat (vermogen: 2000 Watt, afmeting: 30x45 cm) 250 ml van het gefiltreerde en het ongefiltreerde watermonster in een erlenmeyer van 250 ml in (circa) twintig minuten tot kooktemperatuur;
- kook beide watermonsters gedurende precies vijf minuten;
- koel de watermonsters in een waterbad af tot kamertemperatuur en bepaal de troebelheid van de watermonsters;
- reinig het gebruikte glaswerk met verdund zoutzuur.

Het verschil in troebelheid tussen het gefiltreerde en het ongefiltreerde watermonster is een maat voor de bijdrage van calciumcarbonaatkristallen aan de troebelheid na koken.