

Putverstopping door ijzernerslagen te Castricum

Publikatie van de Werkgroep Putverstopping

Inleiding

Aanleiding tot het verrichten van onderzoek naar de putverstopping in het infiltratiegebied van het PWN te Castricum waren de resultaten van een in 1968 door het KIWA gehouden enquête onder de Nederlandse waterleidingbedrijven, die grondwater distribueren.

Uit deze enquête is gebleken dat bij circa 46 % van de geënquêteerde bedrijven regelmatig putten worden geregenereerd. De meest voorkomende oorzaak van putverstopping bleek de afzetting van ijzerner-



DR. E. J. M. KOBUS
(KIWA)
Werkgroep Putverstopping



IR. W. J. VLASBLOM
(tot 1-10-1974: PWN)
Werkgroep Putverstopping

slagen in de omstorting van de putten en in de filterspleten te zijn.

Ook in Castricum werd de putverstopping door ijzerafzettingen veroorzaakt. De vermindering van de opbrengst van de putten verliep daarbij zo snel, dat de putten één- à tweemaal per jaar geregenereerd werden door het aanwezige ijzerslib los te borstelen en te verwijderen. Juist gezien het snelle karakter van deze verstopping heeft de KIWA Werkgroep Putverstopping besloten aldaar onderzoek te verrichten om de mechanismen, en de mogelijkheden om putverstopping te voorkomen, beter te leren kennen. Ook voor het PWN waren er redenen om actief aan het onderzoek deel te nemen. Immers, indien het mechanisme van de verstopping bekend was, zou voor de bestaande putten een betere regeneratiemethode ontwikkeld kunnen worden en voor nog te bouwen putten vermoedelijk een dussdanige constructie ontworpen kunnen worden, dat de verstopping in de toekomst tot een minimum beperkt kan worden. Dit laatste was vooral van belang voor het aan te leggen nieuwe infiltratiegebied te Wijk aan Zee.

In het onderstaande volgt een beschrijving van de belangrijkste resultaten van het onderzoek in Castricum. Een volledig overzicht van alle in het kader van het bovengenoemde onderzoek verrichte experimenten wordt in KIWA mededeling nr. 38 gegeven, waarvan een exemplaar aan de waterleidingbedrijven/aandeelhouders is toegezonden [6].

Beschrijving van het infiltratiegebied

Het infiltratiegebied van het PWN te Castricum is gelegen op een destijds ten behoeve van de landbouw ontgonnen stuk duinterrein, waarvan de maaiveldhoogte circa 3 meter boven NAP bedraagt.

Het gefiltreerde en sinds medio 1974 geocoaguleerde rivierwater afkomstig van de Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland wordt geïnfiltrerd in een 14-tal panden, ieder met een breedte van ongeveer 30 meter. De oppervlakte van elk pand bedraagt circa 1,2 ha (400 x 30 m). De totale capaciteit van het infiltratiegebied is omstreeks 23×10^6 m³/jaar. Langs de panden liggen in het algemeen op circa 80 m uit het hart van de panden de winmiddelen, bestaande uit 750 ondiepe boringen met een onderlinge afstand van 10 m, aangesloten op een centrale zuigleiding. De specifieke opbrengst van de putten is circa 5 (m³/h)/m. Het gehele infiltratiegebied wordt bemalen door een drietal secundaire pompstations, te weten de secundaires M, N en O.

Voor het geval deze drie pompstations samen te weinig water leveren, kunnen twee andere secundaire pompstations (B en C), die eveneens in het infiltratiegebied gelegen zijn en diep duinwater oppompen, worden bijgeschakeld. De putten, verbonden met de secundaires M, N en O hebben een boorgatdiameter van 400 mm. De diameter van de PVC putfilters bedraagt 57 mm, terwijl het filter in het algemeen tussen 4 en 9 meter beneden NAP is gelegen. De gemiddelde verblijftijd van het geïnfiltrerde water in de ondergrond bedraagt circa 6 weken.

De geologische opbouw van de ondergrond

De opbouw van de ondergrond is van onderen naar boven:

— Het fluviatile pleistoceen, waarvan de ondergrens niet exakt bekend is (circa 300 meter beneden NAP), reikende tot ongeveer 40 meter beneden NAP. Een pakket van overwegend matig grove zanden, die naar boven toe fijner worden. Plaatselijk komen slibhoudende lagen voor.

— De keileem (ontstaan tijdens de saalien glaciatie). In het Castricumse gebied een geheel doorlopende laag, die in dikte varieert tussen de 1 en 5 meter.

— Boven deze keileem komen in een aantal boringen fluvioglaciële afzettingen voor, welke meestal matig grof van korrel zijn.

— Het mariene Eemien. Een pakket matig grof zand met schelpen en steentjes, reikend

tot globaal 22 meter beneden NAP. Boven het Eemien beginnen de holocene afzettingen, te weten:

— Afzettingen van Calais, de vroegere zee bodem, reikend tot circa 1 meter beneden NAP. Een pakket fijne zanden, waarvan het onderste deel tot 6 à 7 meter beneden NAP sterk slibhoudend is.

— Tenslotte de duinvorming. Matig fijn tot matig grof zand met schelpen, waarin plaatselijk veenlaagjes voorkomen.

De aan de waterbeweging weerstand biedende lagen zijn de slibhoudende afzettingen van Calais en de keileem. De putten, verbonden met de secundaires M, N en O hebben het putfilter in de formatie van Calais en die van de secundaires B en C in het mariene Eemien.

Het stroombeeld

Het stroombeeld van het infiltratiewater is met de eindige elementen methode berekend [5]. Bij de berekening is van een drietal isotrope bodempakketten uitgegaan:

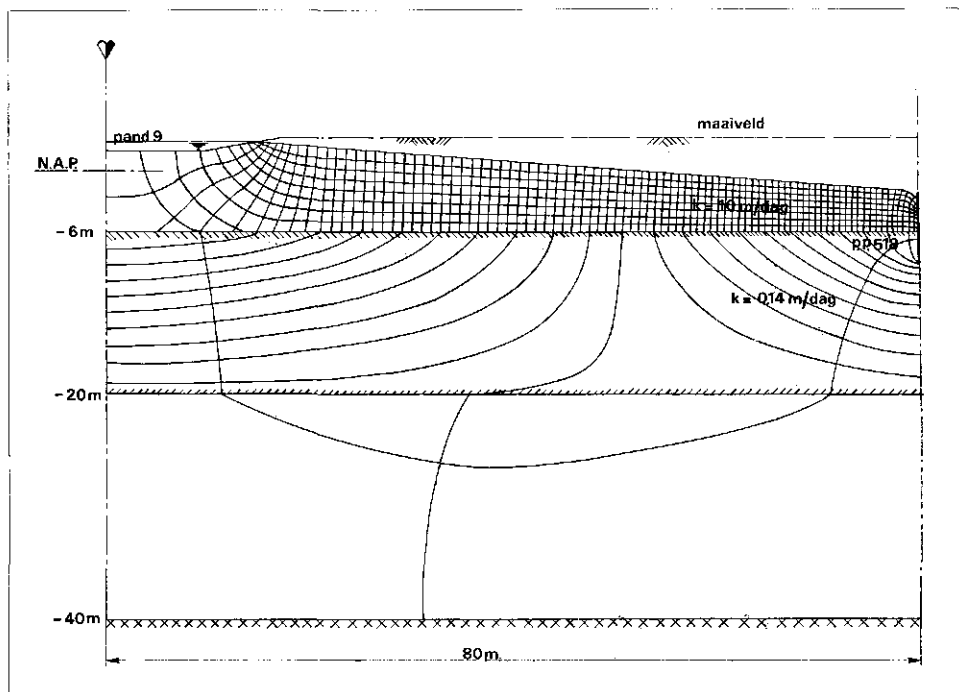
1. fijn duinzand van maaiveld tot 6 meter beneden NAP ($k = 10$ m/d);
2. slibhoudend zand tussen 6 en 20 meter beneden NAP, waarvan in het verleden de weerstand tegen verticale stroming is vastgesteld op 100 dagen. De hieruit afgeleide doorlatendheid bedraagt 0,14 m/d;
3. grof zand tussen 20 en 40 meter beneden NAP ($k = 20$ m/d), dat aan de onderzijde door kleilagen volledig wordt afgesloten.

Aan de bovenzijde wordt de stroming begrensd door het freatisch vlak, dat tevoren zo goed mogelijk moest worden geschat aan de hand van beschikbare gegevens. De verticale begrenzingen aan weerszijden worden gevormd door symmetrie-assen. De winningsmiddelen (putten) reiken nog 3 meter in het slibhoudende zand. Uit het stroombeeld (afb. 1) kan worden afgeleid dat nog 20 % van het geïnfiltrerde water via de diepere lagen stroomt. De gemiddelde verblijftijd van dit diepere water is zeer globaal een faktor 20 groter dan die van het ondiepe water:

$$\frac{H_{\text{diep}}}{Q_{\text{diep}}} : \frac{H_{\text{ondiepe}}}{Q_{\text{ondiepe}}} = \frac{34}{0,2 Q_{\text{tot}}} : \frac{7}{0,8 Q_{\text{tot}}} = 20 :$$

met:

H_{diep} = dikte in meters van het diepe pakket tussen 6 en 40 meter beneden NAP
 H_{ondiepe} = dikte in meters van het ondiepe pakket (gemiddelde circa 7 meter).
 Q = debiet in m³/h.



Afb. 1 - Stroombeeld van het infiltratiewater.

Fysisch-chemisch onderzoek

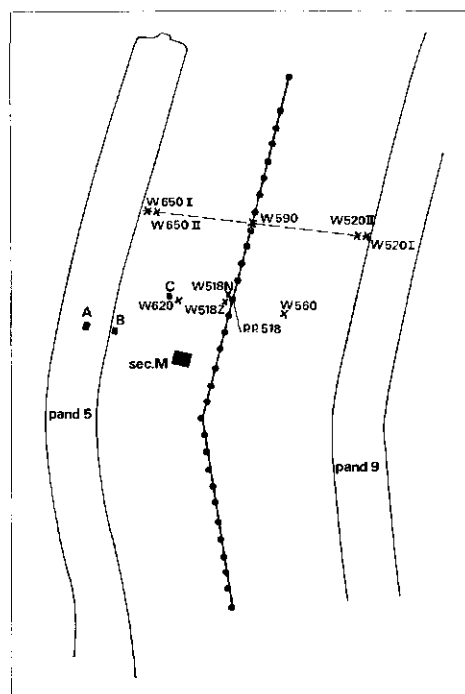
Over de oorzaken van putverstopping door ijzereerslagen is veel literatuur bekend. Een overzicht hiervan wordt gegeven in Mededeling nr. 1 van de Werkgroep Putverstopping [1]. Samenvattend kan gesteld worden dat putverstopping door ijzereerslagen in het algemeen voorkomt als de putten behalve aëroob ijzervrij water, ook anaëroob ijzerhoudend water aantrekken. In de meeste gevallen blijkt de afzetting van deze ijzereerslagen versneld te worden door zgn. ijzerbacteriën (bijv. Gallionella en/of Leptothrix).

De meest voor de hand liggende methode om een beter inzicht in de oorzaak van de putverstopping in Castricum te krijgen, was de chemische en fysische samenstelling van het water te bepalen, dat op verschillende diepten op een aantal plaatsen tussen de panden en de onttrekkingsmiddelen wordt aangetroffen. Hiertoe kon in de eerste plaats gebruik gemaakt worden van drie waarnemingsputten A, B en C (zie afb. 2) die al sinds 1958 regelmatig door middel van een vacuümsysteem bemonsterd worden. Daarnaast zijn er tussen de panden 5 en 9 nog een zevental andere waarnemingsputten beschikbaar, die ter plaatse bemonsterd kunnen worden (W650 I en II, W590, W520 I en II, W620 en W560). Om een vollediger beeld van de kwaliteitsveranderingen, vooral in de directe nabijheid van de pompputten te krijgen, zijn zo dicht mogelijk bij pompput 518 twee waarnemingsputten, elk uitgerust met drie filters, geplaatst. Bovendien zijn twee diepere waarnemingsfilters (W520 II d en

W560 III) geplaatst, om ook de kwaliteitsverandering in het slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais te volgen.

In tabel I is een overzicht gegeven van de plaats van alle bij het onderzoek betrokken waarnemingsputten en van de diepte van de verschillende waarnemingsfilters. Voor de situering van deze waarnemingsputten zie men afb. 2.

Afb. 2 - Situering van waarnemingsputten (x) en pompputten (•), in het onderzoekgebied.



TABEL I - Situering van de waarnemingsputten.

aanduiding van het waarnemingsfilter	afstand tot het hart van het pand in meters	diepte in meters van de onderkant van het filter t.o.v. NAP (lengte filter 0,5 m)
Ao	0	+ 1,00
Ad	0	0,00
Bo	15	— 0,55
Bd	15	— 2,40
Co	45	— 2,26
Cd	45	— 5,70
W650 I	20	— 2,42
W520 I	20	— 2,66
W650 II	25	— 2,80
W520 IIo	25	— 2,40
W620 I	50	— 2,50
W620 II	50	— 5,75
W560 I	50	— 2,50
W560 II	50	— 5,75
W590 o	80	— 4,60
W590 d	80	— 9,10
518 N I	79	— 3,03
518 N II	79	— 7,00
518 N III	79	— 13,49
518 Z I	79	— 4,83
518 Z II	79	— 8,76
518 Z III	79	— 10,72
W520 II d	25	— 9,91
W560 III	50	— 10,25

Voor de putverstopping ten gevolge van ijzereerslagen zijn vooral de gegevens omtrent het zuurstofgehalte en het gehalte aan tweewaardige ijzerionen belangrijk. Daarom zijn in de beschikbare waarnemingsputten verscheidene malen zuurstof-ferro-analyses uitgevoerd. De zuurstof-analyses zijn verricht met een zuurstof-elektrode. Voor de ferro-analyses is gebruik gemaakt van de 1.10 Phenantrolinemethode.

De ferromonsters werden met een speciale bemonsteringspipet ter plaatse van het waarnemingsfilter genomen en direct onder stikstofatmosfeer in monsterflessen met 5 ml 35 % HCl overgebracht. In de op deze wijze voorbehandelde monsters waren betrouwbare ferro-analyses mogelijk, mits de ferroconcentratie niet lager dan omstreeks 0,2 ppm was.

Uit de analysesresultaten kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

— Tot op 50 m afstand van de panden blijft het geïnfilterde water in het niet slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais aëroob en ijzervrij.

— In het slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais heeft het water op 25 m afstand van de panden (W520 II d) vrijwel alle zuurstof verloren, maar nog geen, of zeer weinig ferro-ionen opgenomen. Op 50 m afstand is het water volledig anaëroob en bevat het omstreeks 1 ppm ferro (W560 III).

— In de onmiddellijke nabijheid van de

winningsputten zijn de bovenste stroombanen aëroob (6 - 8 ppm O₂) en ijzervrij (518 NI). De onderste stroombanen in het slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais vertegenwoordigen anaëroob water en bevatten een in de diepte toenemende ferroconcentratie (518 NII, 518 ZII, 518 ZIII en 518 NIII). Hiertussen bevindt zich het water in het niet slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais (518 ZI), dat geen of weinig zuurstof (< 1 ppm) en eveneens geen of weinig ijzer bevat (< 0,2 ppm).

Samenvattend kan men daarom stellen dat de winningsput 518 drie waterkwaliteiten aantrekt, te weten van boven naar beneden:

Waterkwaliteit A: aëroob ijzervrij natuurlijk en/of kunstmatig geïnfiltreerd water in de bovenste stroombanen;

Waterkwaliteit B: anaëroob ijzervrij kunstmatig geïnfiltreerd water in het niet slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais.

Waterkwaliteit C: anaëroob ijzerhoudend kunstmatig geïnfiltreerd water in het slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais.

Mechanisme van de putverstopping

Gezien het voorgaande is de meest waarschijnlijke oorzaak van de putverstopping in Castricum de volgende:

Het ijzerhoudende anaërobe water dat de putten via het slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais bereikt, stroomt in de putten naar boven en ontmoet boven in de putfilters het aëroobe ijzervrije water dat daar de filterspletten binnenstroomt. Aangezien de stroming bij een putdebiet van 2,5 m³/h of hoger nagenoeg over de gehele lengte van het putfilter turbulent is, mengen het aëroobe en het ijzerhoudende water, waarbij een milieu ontstaat dat bij uitstek geschikt is voor de ontwikkeling van ijzerbacteriën. Deze bacteriën hechten zich op de wand van het putfilter en de stijgbuis en veroorzaken een versnelde afzetting van ferrineerslagen. Hierdoor verstoppert de bovenste filterspletten. De stroombanen van het bovenste aëroobe water moeten nu naar beneden afbuigen, zodat de menging met het anaëroobe ijzerhoudende water bij dieper gelegen filterspletten plaatsvindt, waardoor ook deze verstoppert. De verstopping breidt zich daarbij langzamerhand uit tot op plaatsen waar de ijzerbacteriën ten gevolge van volledige anaërobie niet meer kunnen leven.

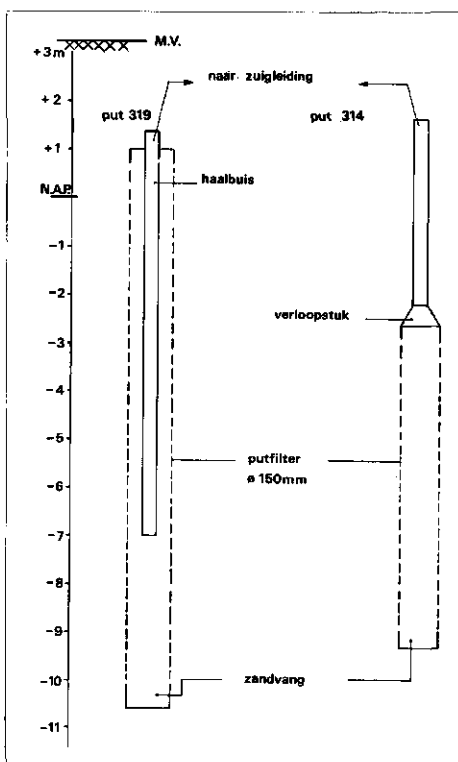
De bovenste hypothese werd getest door experimenten in een PWN winningsput

TABEL II - Plaats van de objectglaasjes in PWN winningsput 317 (putfilter van 8,96 m tot 4,10 m beneden NAP).

nummer objectglaasje	diepte t.o.v. NAP (meters)
1	+ 0,5
2	0
3	- 0,5
4	- 1,0
5	- 1,5
6	- 2,0
7	- 2,5
8	- 3,0
9	- 3,5
10	- 4,0
11	- 4,5
12	- 5,0
13	- 5,5
14	- 6,0
15	- 6,5
16	- 7,0
17	- 7,5
18	- 8,0
19	- 8,5
20	- 9,0

(nr. 317), die ten tijde van het onderzoek juist geregenereerd was. De filterweerstand was hierbij teruggebracht van 500 cm tot 18 cm waterkolom. In deze put werden op een onderlinge afstand van 50 cm objectglaasjes gehangen (zie tabel II). Deze glaasjes waren aan een nylonkoord bevestigd en werden na een contacttijd van omstreeks twee weken uit de put gehaald, waarna het ijzerneerslag werd bepaald dat zich op elk plaatje had afgezet. Uit de resultaten van de ijzeranalyses bleek

Afb. 3 - Principeschets van put 314 (type PWN) en put 319 (type DWL).



dat de objectglaasjes die in het putfilter gehangen hadden, op de 3 bovenste na (10, 11 en 12) schoon gebleven waren. De grootste hoeveelheid ijzer was afgezet op de glaasjes die in de stijgbuis gehangen hadden. Bij een herhaling van deze proef in augustus 1973 bleken de ijzerafzettingen op alle glaasjes sterk toegenomen te zijn, terwijl zich bovendien ijzer had afgezet op de wat dieper in het putfilter hangende objectglaasjes 13 en 14, die bij de vorige proef schoon gebleven waren. In januari 1974 werd ook op de overige in het filter opgehangen objectglaasjes ijzer afgezet, zij het in beperkte mate. Dit beeld werd door proefnemingen in maart en augustus 1974 bevestigd. Uit deze experimenten blijkt dat bovenin in het putfilter al direct na de regeneratie ijzer afgezet wordt en dat deze ijzerafzettingen zich na verloop van tijd over de objectglaasjes over het hele filtertraject uitbreiden, hetgeen in overeenstemming is met het veronderstelde verstoppingsmechanisme.

Mogelijkheden om putverstopping te voorkomen

In een poging de putverstopping te voorkomen is de verstopping in een normale PWN winningsput vergeleken met die in een put met een afwijkende constructie. Aanleiding tot dit onderzoek was in eerste instantie dat een aantal bij de Duinwaterleiding van 's-Gravenhage voorkomende putten, onder globaal dezelfde geohydrologische omstandigheden als in Castricum, minder snel verstoppert. Deze putten zijn in tegenstelling tot de in Castricum gebruikte putten uitgerust met een putfilter dat tot in de onverzadigde zone reikt. Het water wordt met behulp van een zgn. haalbuis onttrokken. Deze constructie kan gunstiger zijn uit oogpunt van putverstopping omdat het water dat door het bovenste gedeelte van het putfilter wordt aangetrokken in de put naar beneden stroomt tot aan de onderzijde van de haalbuis en pas hier het naar boven stromende water ontmoet dat door het diepere gedeelte van het putfilter wordt aangetrokken. Bij een juiste situering van de onderzijde van de haalbuis kan men zich voorstellen dat de menging van aëroobe water met anaëroobe ijzerhoudend water pas vlakbij de haalbuis plaatsvindt, zodat de ijzerafzettingen niet in het putfilter, maar voornamelijk in de haalbuis optreden. Ten einde deze putconstructie te vergelijken met de in Castricum voorkomende putconstructie zijn in een bestaande puttenrij in het zuidelijke gedeelte van het infiltratieterrain, ter plaatse van een tweetal vervallen boringen, twee nieuwe putten (314 en 319) gepulst (afb. 3). Put 314 had dezelfde constructie als een normale PWN winnings-

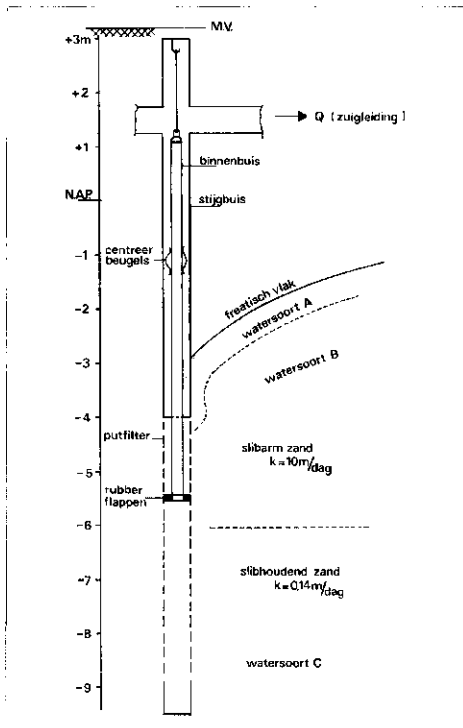
put en put 319 was met een doorlopend putfilter en een haalbuis uitgerust. Door proeven met objectglasjes kon worden aangetoond dat in put 319, in tegenstelling tot in put 314, nauwelijks ijzerneslagen op de objectglasjes werden afgezet. Wel werd veel ijzer in de haalpijp afgezet. De regelmatige regeneratie van de putten kan in dit geval dus vervangen worden door een periodieke schoonmaak van de haalpijp. In deze richting doordenkende ligt het voor de hand te streven naar een putconstructie waarbij de menging van beide watersoorten niet meer in de putten zelf, maar in de centrale zuigleiding plaatsvindt. De ijzerneslagen zullen zich dan in deze zuigleiding afzetten, die veel eenvoudiger periodiek schoongemaakt kan worden dan de haalpijpen van de 750 waterwinningsputten afzonderlijk.

In het onderstaande volgt een voorstel in deze geest, dat aan het PWN is uitgebracht, met het verzoek om de toepasbaarheid ervan in het infiltratieterrein te Castricum te testen (zie afb. 4).

In de stijgbuis van de putten is een binnenbuis opgehangen. De ruimte tussen het putfilter en de binnenbuis wordt afgesloten door een rubberen flap die aan de onderkant van de binnenbuis bevestigd is.

Het water dat het putfilter beneden deze afdichting binnenstroomt wordt door de binnenbuis afgevoerd en het water dat erboven binnenstroomt door de annulaire ruimte tussen het putfilter en de binnenbuis. Ten einde putverstopping te voorkomen moet men in Castricum een scheiding aanbrenge tussen de watersoorten A en C. De daartussen gelegen watersoort B is uit oogpunt van putverstopping vrijwel indifereent omdat hij noch zuurstof noch ijzer in noemenswaardige hoeveelheden bevat. Menging van dit water met watersoort A of met watersoort C zal dus weinig problemen opleveren. De plaats van de onderkant van de binnenbuis is daarom niet erg kritisch. Wel moet hij ruim boven de grens met het slibhoudende zand liggen en ruim beneden de bovenkant van het putfilter. In de afbeelding reikt de binnenbuis tot 5,5 m beneden NAP. Globaal stroomt dan evenveel water het putfilter boven als onder de rubberen afdichting binnen. Dit laatste is mogelijk, ook met behoud van de bestaande putconstructie. De diameter van de binnenbuis dient hieraan aangepast te worden.

Gezien de resultaten van het in deze publikatie beschreven onderzoek zijn de leden van de Werkgroep Putverstopping van mening, dat de in afb. 4 voorgestelde putconstructie uit oogpunt van putverstopping een aanzienlijke verbetering zal kunnen geven in vergelijking met de huidige situatie.



Afb. 4 - Principeschets van putconstructie waarbij ijzerneslagen pas in de zuigleiding worden afgezet.

Samenstelling van de Werkgroep Putverstopping

- ir. M. C. Brandes, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (voorzitter)
- ing. P. J. van Winsen, Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen (secretaris)
- ir. C. G. E. M. van Beek, Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen (vanaf 1-12-1974)
- drs. H. J. Boorsma, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- dr. E. J. M. Kobus, Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen
- ir. R. P. G. v. d. Maale, Gemeentelijk Energiebedrijf Dordrecht (tot 8-8-1973)
- ir. H. Tuinzaad, Duinwaterleiding van 's-Gravenhage
- ir. H. Uneken, Waterleiding Maatschappij 'Overijssel NV' (vanaf 19-2-1975)
- ir. W. J. Vlasblom, Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland (tot 1-10-1974)
- ing. E. Wesselink, Gemeentelijk Energiebedrijf van Noord-Holland (vanaf 5-6-1973)
- ir. R. J. Wildschut, Provinciaal Waterleidingbedrijf (vanaf 1-12-1974)
- ir. J. Zweegman, NV Waterleidingmaatschappij voor de Provincie Groningen

Literatuur

- 1. Kobus, E. J. M. en Pieper, J. W. (1973). *Putverstopping*; mededeling nr. 1 van de Werkgroep Putverstopping.
- 2. Lips, drs. H. J. M., Bulten, ir. B. en Puffelen,

- ir. J. van (1969). *Kwaliteitsveranderingen bij infiltratie in de duinen*; WIRDU rapport.
- 3. Leeftang, ir. K. W. H. *Kwaliteitsveranderingen door infiltratie*; 17e Vakantiecursus (1965).
- 4. Haasnoot, ir. J. en Leeftang, ir. K. W. H. *Methods of sustaining good infiltration results*. Proceedings WRA conference Artificial groundwater recharge (1970).
- 5. Olsthoorn, ir. T. N. *Berekening van grondwaterstromingsproblemen met behulp van de eindige elementen als handig en effectief gereedschap*; H₂O (1975).
- 6. Kobus, E. J. M. en Vlasblom, W. J. *Putverstopping door ijzerneslagen*. KIWA mededeling nr. 38 (verkrijgbaar door storting van f 10,— op giro rekening 529295 t.n.v. KIWA NV onder vermelding van KIWA-mededeling nr. 38).

