

Enkele aspecten bij het dichtklappen van PVC-buizen in pompputten

Inleiding

Sinds PVC (polyvinylchloride) in het begin van de jaren vijftig zijn intrede deed in de waterleidingtechniek en de vele voordelen ten opzichte van conventionele materialen duidelijk werden, vond de toepassing van deze kunststof op steeds ruimere schaal plaats. De bestendigheid tegen aantasting onder in de waterleidingtechniek voorkomende omstandigheden, de gunstige eigenschappen met betrekking tot de verwerkbaarheid, het lichte gewicht en de geringe prijs waren oorzaken dat andere



H. UIL
Dienst Grondwaterverkenning
TNO



C. DEELDER
Dienst Grondwaterverkenning
TNO

materialen werden verdrongen. In het begin van de zestiger jaren werd voor het eerst PVC gebruikt in de waterwinningstechniek. Pompputten, welke voordien hoofdzakelijk waren ingericht met filter- en stijgbuizen van hout, koper en staal werden uitgerust met buizen van PVC. De voordelen van het materiaal kwamen toen evenwel in schril contrast te staan met de geringe sterkte van de kunststof. Veel putten bezweken onder de krachten die op de filter- en stijgbuizen werkzaam zijn.

Verdere ontwikkeling en verbetering van de mechanische eigenschappen van PVC in de jaren die volgden, brachten echter verandering. De toenemende kennis van het materiaal, met name omtrent de verwerking ervan, de steeds groeiende kwaliteitsverbetering en ten slotte de kunde van de fabricage van buizen met grote diameters en dikke wanden leidden ertoe dat filter- en stijgbuizen konden worden vervaardigd van voldoende sterkte. Dit resulteerde in een sterke verlaging van het aantal putten die dichtklapten. Bovendien ging een gunstige werking uit van de normalisatie met betrekking tot afmetingen en drukverliezen en van de KIWA-kwaliteitseisen van waterleidingbuizen van PVC die tegen het eind van 1969 van kracht werden. Thans neemt PVC niet alleen in de waterleidingstechniek een onmiskenbare plaats in maar valt evenmin meer weg te denken uit de waterwinningstechniek. Bij de constructie van pompputten worden in Nederland

heden ten dage nagenoeg alleen nog maar filter- en stijgbuizen gebruikt van PVC en kiest men slechts bij uitzondering voor koper of staal.

Onder normale omstandigheden kan het risico van dichtklappen van filter- en stijgbuizen van PVC bij het huidige assortiment van afmetingen en drukklassen tot een minimum worden beperkt. De praktijk leert echter dat, alhoewel in veel mindere mate dan vroeger, nog steeds putten dichtklappen. De vraag, die zich daarbij voordoet, is welke oorzaken hieraan ten grondslag liggen en of deze ongelukken niet voorkomen hadden kunnen worden.

Om hierop antwoord te kunnen geven is het noodzakelijk dat inzicht bestaat in de factoren die een rol spelen bij het krachten spel op de filter- en stijgbuizen. Het blijkt dat het gevaar van dichtklappen bij uitsteking optreedt gedurende het aanvullen van het boorgat. De verschijnselen die zich daarbij voordoen, zullen daarom worden belicht, waarbij wordt uitgegaan van voor Nederland normale omstandigheden. De aspecten die zich voordoen bij het dichtklappen van PVC-buizen in pompputten zijn een studieonderwerp geweest van de werkgroep Onderzoek Boringen van het KIWA NV. Dankbaar gebruik werd gemaakt van de diensten van diverse waterleidingbedrijven en boorfirma's.

Aanvullen van het boorgat

Nadat de filter- en stijgbuisconstructie op de gewenste diepte in het boorgat is neergelaten, wordt de ruimte tussen de boorgatwand en het filter opgevuld met grind (afb. 1a). Het grind, dat gesorteerd is, wordt aan het oppervlak in de annulaire ruimte gestrooid en bezinkt in de spoelingskolom om uiteindelijk een omstorting rond het filter te vormen. De omstorting wordt meestal 1 à 2 meter boven de bovenkant van het filter aangebracht in verband met mogelijke zetting.

Als kanttekening dient te worden geplaatst dat gedurende het aanbrengen van de omstorting de spoelingskolom binnen de stijgbuis, via het filter, in open verbinding staat met de spoelingskolom in de annulaire ruimte. Dit betekent dat drukverhogingen onderin de annulaire ruimte zich tot binnenin de stijgbuis kunnen voortplanten. Vervolgens wordt de kleilaag waaronder het filter is geplaatst hersteld door het aanbrengen van een kleiprop. Men kiest hiervoor vaak kleibrokjes of bentonietknikkers die in de annulaire ruimte worden gestort. Na uitzakking en desintegratie, eventueel gepaard gaande met zwelling, vormt zich een goed afsluitende prop. De kleiprop wordt pas aangebracht nadat het omstortingsgrind volledig is uitgezakt.

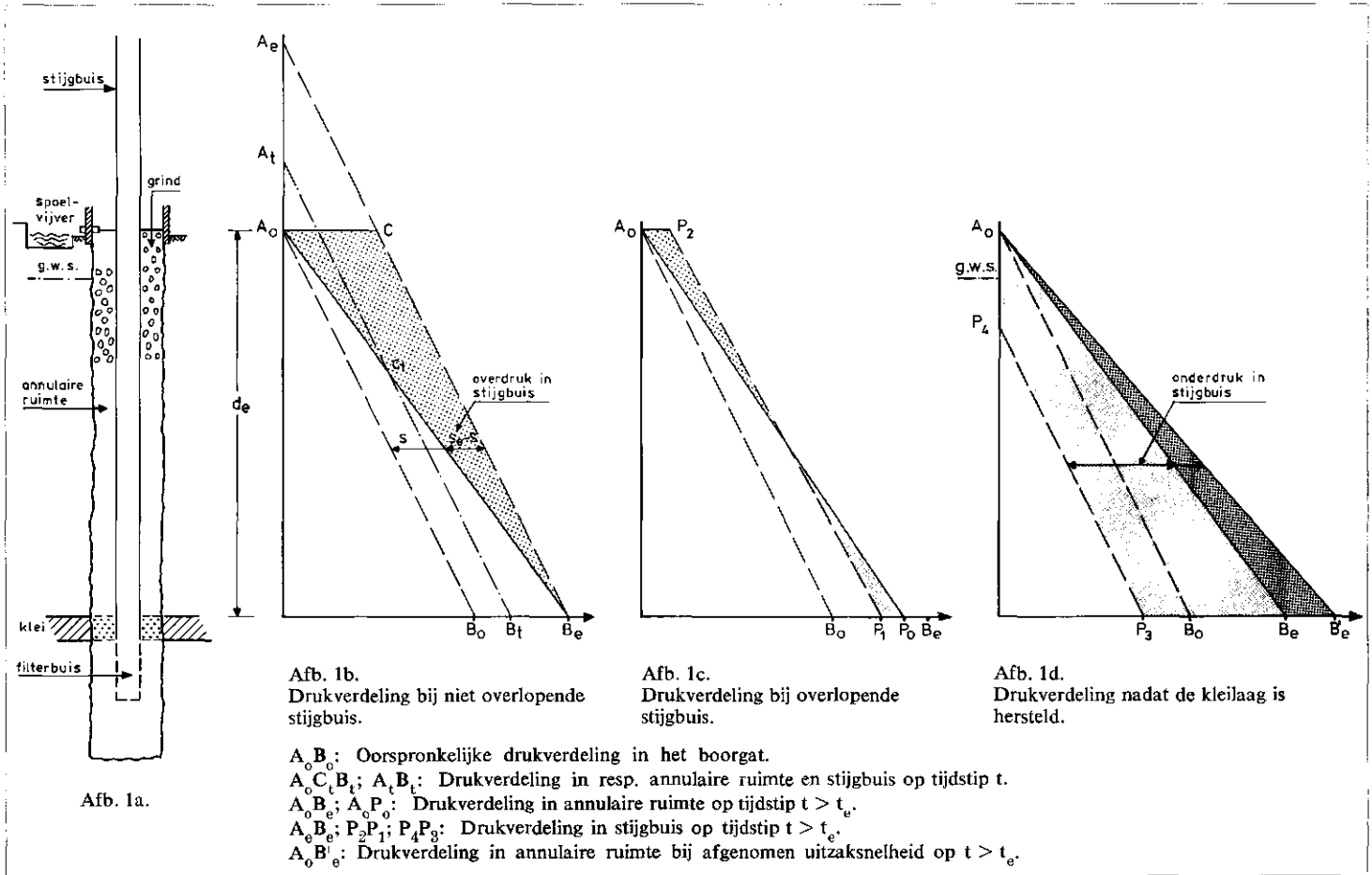
Doet men dit niet dan bestaat de kans dat vanwege het grote verschil in uitzaksnelheid geen homogene kleiprop wordt verkregen, maar één waarin grindkorrels zijn opgesloten, met alle gevolgen met betrekking tot de kwaliteit van de afsluiting vandien.

De aangebrachte afdichting heeft tot gevolg dat de communicatie tussen de spoeling binnen en buiten de stijgbuis wordt verbroken. De overdruk onderin het boorgat (verschil tussen het niveau in de spoelvijver en de stijghoogte van het watervoerend pakket) kan niet langer in stand worden gehouden en dit leidt ertoe dat de spoeling binnen de stijgbuis wegzakt tot het niveau waarop het in evenwicht komt met de stijghoogte van de watervoerende laag.

Het resterende gedeelte van het boorgat wordt veelal opgevuld met het uit de boring afkomstige zand. Indien dit erg fijn is, wordt gebruik gemaakt van speciaal aangevoerd zand van grovere kwaliteit. Kleilagen worden in de regel hersteld.

Drukveranderingen in het boorgat tijdens aanvullen

Gedurende het aanvullen loopt de druk beneden in het boorgat op vanwege het extra gewicht van het aanvulmateriaal dat in de spoelingskolom, die gemakshalve stilstaand wordt verondersteld, uitzakt (afb. 1a). De spoelingskolom mag als stilstaand worden opgevat wanneer de stijgbuis aan de oppervlakte niet overloopt of is afgesloten. De grootte van de drukverhoging (afb. 1a) is afhankelijk van de totale hoeveelheid uitzakkend materiaal boven het punt van beschouwing. De grootste drukverhogingen zullen vlak boven de aanvulling optreden omdat boven dit punt de grootste hoeveelheid uitzakkend grind aanwezig is. Bij een constante aansluitsnelheid zal zich na enige tijd een evenwicht instellen waarbij de hoeveelheid toegevoegd grind per tijdseenheid gelijk is aan de hoeveelheid per tijdseenheid welke op de bodem neerdaalt. De wrijving, die het gestort materiaal ondervindt van boorgatwand en stijgbuis wordt niet in beschouwing genomen. Dit verschijnsel zal in het algemeen de drukverhogingen doen verminderen. De drukverhoging in de annulaire ruimte is dan alléén afhankelijk van de diepte en niet van de tijd en neemt van boven tot onderin het boorgat lineair toe ($A_0 B_0$ in afb. 1b). De ligging van het evenwicht en daarmee de grootte van de drukverhogingen is afhankelijk van de 'aanvuilsnelheid' (kg/min) de uitzaksnelheid (m/min), de grootte van het boorgat en de dichtheden van het grind en van de spoeling. De uitzaksnelheid wordt op haar beurt bepaald door de viscositeit van de spoeling, het verschil in dichtheid tussen spoeling en uitzakkende deeltjes en door de grootte en



Afb. 1 - Enkele drukverschillen in het boorgat tijdens het aanvullen. Het filtergrind wordt in een constante stroom toegevoegd. Op tijdstip t_e bereiken de eerste korrels de bovenkant van het filter. Het niveau in de spoelbak wordt als constant beschouwd.

vorm van de deeltjes (wet van Stokes). De druk in de stijgbuis kan worden voorgesteld door CB_e in het geval dat deze is afgesloten door A_eB_e wanneer het niveau in de stijgbuis kan opstijgen (afb. 1b). De volgende formule met betrekking tot de drukverhoging in de annulaire ruimte kan worden afgeleid:

$$s = \frac{M}{A} \frac{\rho_k - \rho_{sp}}{\rho_k} \cdot g \text{ en } v = \frac{d}{M} \cdot M_s \text{ zodat}$$

$$s = \frac{d}{v} \frac{M_s}{A} \frac{\rho_k - \rho_{sp}}{\rho_k} \cdot g$$

Gedurende het aanbrengen van de filteromstorting is de drukverhoging in de stijgbuis over de gehele lengte gelijk aan:

$$s_e = \frac{d_e}{v} \frac{M_s}{A} \frac{\rho_k - \rho_{sp}}{\rho_k} \cdot g$$

waarbij wordt verondersteld dat de stijgbuis niet overloopt of is afgesloten.

De overdruk in de stijgbuis is dan:

s_e - s, waarbij
 g = versnelling van de zwaartekracht, m/s²;
 s = drukverhoging in annulaire ruimte, Pa;
 s_e = drukverhoging op diepte d_e, Pa;
 M = totale uitzakkende massa boven meetpunt, kg;

M_s = 'aanvulsnelheid', kg/min;
 A = oppervlak van de annulaire ruimte, m²;
 d = diepte van meetpunt, ten opzichte van het spoelingoppervlak in de annulaire ruimte, m;
 d_e = diepte bovenkant van het filter, m;
 ρ_{sp} = soortelijke massa van de spoeling, kg/m³;
 ρ_k = soortelijke massa van de uitzakkende korrels, kg/m³;
 ρ_w = soortelijke massa van water, kg/m³;
 v = uitzaknelheid van de korrels, m/min.

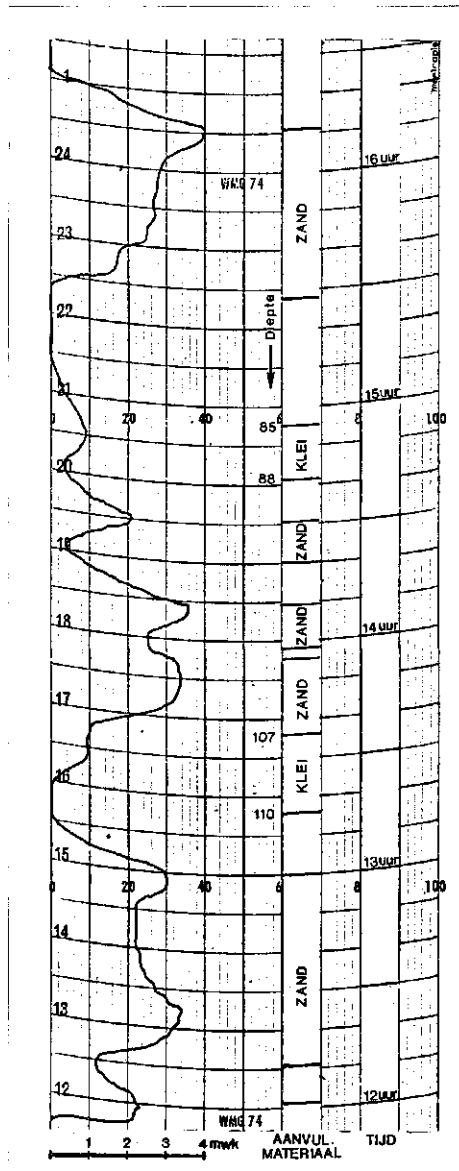
Indien de spoelingskolom niet in rust is en een stroming optreedt (overlopende stijgbuis) dan vindt een verandering plaats in het bovengeschetste beeld. Naast de reeds genoemde verschijnselen welke het drukverloop in het boorgat bepalen, spelen dan ook wrijvingsverliezen in annulaire ruimte, filter en stijgbuis en uitstroomverliezen (uit de stijgbuis) een rol. De druk in de annulaire ruimte kan dan worden voorgesteld door de lijn A_oP_o in afb. 1c, waarbij punt P_o zodanig gelegen is dat B_e - P_o de grootte weergeeft van de wrijvingsverliezen in de annulaire ruimte. Stroming in het boorgat gaat derhalve gepaard met een reductie van de drukver-

hoging in de annulaire ruimte. De grootte van deze reductie is gelijk aan de wrijvingsverliezen welke bij de neerwaarts gerichte stroming in de annulaire ruimte optreden. In afb. 1c stelt verder P_o - P₁ het drukverval voor over het filter, P₁P₂ het drukverloop in de stijgbuis en P₂ - A_o de uitstroomverliezen.

Als gevolg van de wrijvingsverliezen in de stijgbuis wordt de drukverhoging in de stijgbuis tenslotte gereduceerd tot de grootte van de relatief zeer geringe uitstroomverliezen P₂ - A_o. De drukverschillen over de stijgbuiswand kunnen dan ook verwaarloosbaar worden verondersteld. Nog opgemerkt moet worden dat met het toenemen van de uitzaknelheid ten gevolge van de opgewekte stroming in het boorgat, de drukverhogingen zullen afnemen. In de praktijk spelen nog vele factoren een rol waardoor de drukverdeling in het boorgat afwijkt van de bovengenoemde. De belangrijkste faktor is de niet-constante aanvulsnelheid. Soms wordt binnen geringe tijd een grote hoeveelheid grind gestort en dan weer voor korte of lange tijd gestopt. Daardoor treden grote plaatselijke verschillen op in de hoeveelheid uitzakkend grind waardoor niet alleen het beeld van de

lineaire druktoename met de diepte wordt verstoord maar eveneens drukveranderingen optreden met de tijd. Een illustratie hiervan wordt gegeven in afb. 2, welke de resultaten laat zien van metingen van de drukverhoging op een vast punt in een boorgat te Genderen van de NV Waterleiding Maatschappij 'Noord-West-Brabant'. Wel is twee keer een evenwichtsituatie benaderd, namelijk op 12.22 uur en 12.45 uur. Dit werd bereikt door gedurende een periode van 15 min. een constante aanvul-snelheid te handhaven van resp. 80 en 67 kg/min. De bijbehorende drukverhogingen bedragen resp. 36,3 (3,70) en 24,5 (2,50) kPa (mwk) (inclusief 0,30 m correctie voor hoogteverschil drukmeter en niveau in annulaire ruimte). De stijgbuis was bij deze metingen afgesloten. Uit de afbeelding blijkt tevens dat de drukverhogingen die optreden bij het storten van de kleibrokjes aanzienlijk lager zijn dan die bij het storten van het grind. Dit is te verklaren door de grotere valsnelheid van de kleibrokjes, waardoor de totale hoeveelheid uitzakkende materie niet zo hoog kon oplopen als bij het grind. De grote valsnelheid duidt erop dat de kleibrokjes vrijwel intact, dus nog niet uiteengevallen, de bodem moeten hebben bereikt.

In tegenstelling tot wat vaak wordt gedacht zal de grootte van de drukverhoging in de annulaire ruimte, mits de condities van aanvullen dezelfde zijn, niet worden gewijzigd door de totstandkoming van de afdichting. Alleen in het geval dat de stijgbuis open is en overloopt kan na het aanbrengen van de kleirop de druk in het boorgat iets oplopen, omdat dan verdere stroming wordt geblokkeerd en de reductie in de drukverhoging, gelijk aan de grootte van het wrijvingsverlies in de annulaire ruimte, komt te vervallen. In de praktijk zijn evenwel de condities van aanvullen van het boorgat onder en boven de kleirop vaak niet dezelfde. Immers tegenover het filter wordt meestal grind gestort terwijl tegenover de stijgbuis veelal zand wordt aangebracht. Dit betekent dat, afgezien van het geval van stroming in het boorgat, de afdichting op zich weliswaar geen verhogend effect op het drukverloop in de annulaire ruimte heeft, maar dat in de praktijk, nadat de kleirop is aangebracht, toch hogere drukken optreden, omdat dan met veel fijner en dus langzamer uitzakkend materiaal wordt gewerkt. Als voorbeeld dienen de uitkomsten en metingen van de drukverhoging in een boorgat te Seppe van de NV Waterleiding Maatschappij 'Noord-West-Brabant'. Gedurende het storten van het filtergrind van 177 tot 124 m-mv werden op een diepte van 124 m-mv drukverhogingen gemeten van 13,7 kPa (1,4 mwk) bij een aanvulling van ca. 40 kg/min.



Afb. 2 - Resultaat van de drukmetingen in een boorgat te Genderen. De drukverhogingen zijn gemeten aan een peilfilter op een diepte van 71-72 m-mv. In de kolom staat aangegeven op welke momenten werd aangevuld. De snelheid van aanvullen is niet gemeten. Naast de kolom staan nog enkele resultaten vermeld van dieptepeilingen van de aanvulling.

en maximaal van 26,5 kPa (2,7 mwk) bij 80 kg/min. De stijgbuis was niet afgesloten. Bij het storten van het zand daarentegen werden waarden van de drukverhogingen gemeten van maximaal 127,4 kPa (13 mwk) op een diepte van 68 m-mv! Alhoewel op veel geringere diepte werden derhalve bij het storten van het zand bijna 5 maal hogere druktoenames gemeten. Hieruit blijkt de zeer belangrijke rol die de uitzak-snelheid speelt in de grootte van de optredende drukverhogingen.

Zoals reeds eerder is genoemd wordt als gevolg van het herstellen van de afsluitende werking van de doorboorde kleilaag boven

de watervoerende laag de communicatie verbroken tussen de spoeling binnen de stijgbuis en erbuiten. Dit brengt met zich mee dat de overdruk binnen de stijgbuis niet langer in stand kan worden gehouden door de spoeling uit de spoelvijver. Indien geen maatregelen worden genomen, kan de vloeistof in de stijgbuis wegzakken tot de diepte waarop het in hydrostatisch evenwicht komt met de stijghoogte van het watervoerend pakket. De diepte waarop het evenwicht wordt bereikt en daarmee de maximale grootte van de drukvermindering binnen de stijgbuis wordt bepaald door de stijghoogte van het watervoerend pakket, de diepte van het pakket en door het soortelijk gewicht van de vloeistof in de stijgbuis. Indien wordt aangenomen dat het soortelijk gewicht van de spoeling in de stijgbuis nog steeds gelijk is aan de waarde bij de aanvang van het aanvullen, dan kan het drukverloop binnen de stijgbuis worden voorgesteld door de lijn P_3P_4 in afb. 1d. In plaats van een overdruk in de stijgbuis ontstaat nu een onderdruk, die indien de uitzak-snelheid in de annulaire ruimte dezelfde is gebleven, op diepte d_0 gelijk is aan $B_0 - P_3$ (afb. 1d).

Echter zoals reeds eerder is vermeld, zal de uitzak-snelheid afnemen door het aanvullen met fijner materiaal, waardoor de druk in de annulaire ruimte toeneemt (A_0B_0 in afb. 1d) de maximale onderdruk $B_0 - P_3$ in de stijgbuis wordt dan $B_0' - P_3$. Twee gevallen kunnen worden aangehaald welke naar het zich laat aanzien, als voorbeeld dienen voor het gevaar van deze belastingen. Het betreft 2 pompputten van de NV Waterleiding Maatschappij Gelderland te Harderwijk waarvan de stijgbuis in één pompput volledig is dichtgekapt en waarvan de stijgbuis in de andere put is gedeformeerd. In beide gevallen is naar alle waarschijnlijkheid het niveau in de stijgbuis ver weggezakt (stijghoogte watervoerend pakket is ca. 13,50 m-mv) waardoor de drukvermindering binnen de stijgbuis enerzijds en de drukverhoging buiten de stijgbuis, veroorzaakt door het aanvullen, anderzijds tot een belasting hebben geleid welke de buis heeft doen bezwijken (zie afb. 3a en 3b).

In tegenstelling tot de drukverhoging in de annulaire ruimte bij aanvullen kan de drukverlaging in de stijgbuis door het wegzakken van de spoeling in de buis op betrekkelijk eenvoudige wijze worden vermeden. In eerste instantie moet worden getracht door suppletie van water het niveau in de stijgbuis op peil te houden. De ervaring heeft geleerd dat indien eenmaal het niveau weggezakt is, aanzienlijk grotere hoeveelheden suppletiewater nodig zijn om het niveau wederom op peil te

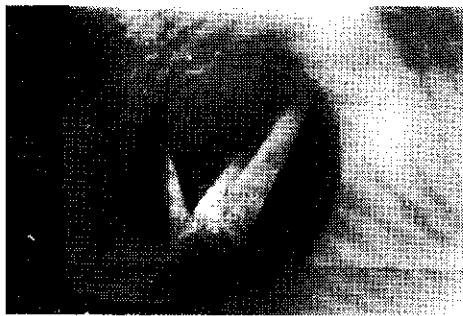


Afb. 3a - Een foto van de monitor tijdens een TV-opname in pompput P-28 te Harderwijk. Duidelijk is zichtbaar dat de PVC-buis (7,5 ato) is dichtgeklapt. Een kaliber van 65 mm kan nog passeren.

brengen en hierop te houden. Zouden te grote hoeveelheden water nodig zijn dan is het mogelijk om vóór het aanbrengen van de kleiprop een stop te zetten in de stijgbuis vlak boven het filtertraject. Deze stop sluit de stijgbuis van binnen af en zorgt ervoor dat de spoeling hierin niet kan wegzakken.

Samenvattend kan worden gezegd dat in de praktijk de drukveranderingen in het boorgat, welke tot een overbelasting van de stijgbuis kunnen leiden, van tweeërlei aard zijn. Ten eerste zijn dit *drukverhogingen* in de annulaire ruimte welke worden veroorzaakt door het uitzakken van de aanvulling en ten tweede zijn dit *drukverlagingen* in de stijgbuis welke worden veroorzaakt door het wegzakken van de vloeistof hierin.

De *drukverhogingen* in de annulaire ruimte zijn afhankelijk van de totale hoeveelheid uitzakkende materie, van de doorsnede, van de annulaire ruimte en van de soortelijke massa's van de spoeling en van de uitzakkende materie. De totale hoeveelheid uitzakkende materie wordt op haar beurt bepaald door de 'aanvulsnelheid' (kg/min), de uitzaknelheid (m/min) en de diepte van het punt van beschouwing. De uitzaknelheid is afhankelijk van de viscositeit van de spoeling, van het verschil in dichtheid tussen de uitzakkende deeltjes en de spoeling en van de vorm en grootte van de deeltjes (wet van Stokes). De *drukverlagingen* in de stijgbuis worden bepaald door de diepte tot waar de vloeistof in de stijgbuis zakt. Hierbij spelen de stijghoogte en de diepte van het watervoerend pakket een rol, alsmede de dichtheid van de vloeistof in de stijgbuis en de doorlatendheid van de tijdens het boren enigszins afgepleisterde boorgatwand. De *drukverhogingen* kunnen niet worden vermeden, maar wel verlaagd. Dit is mogelijk door langzamer aanvullen, verlaging van de viscositeit van de spoeling, en door het kiezen van grover, ronder en homogener aanvulmateriaal. De *drukverlagingen* in de stijgbuis kunnen wel worden vermeden, namelijk door het op peil houden van het vloeistofniveau in de stijgbuis.



Afb. 3b - Een foto van de monitor tijdens een TV-opname in pompput P-29 te Harderwijk. De PVC-buis is gedeformeerd, hetgeen herkenbaar is t.o.v. het ronde kaliber.

De werking van een 'ontlastbuis'

In de praktijk wordt soms bij het aanvullen van een boorgat, nadat eenmaal de kleiprop is aangebracht, gebruik gemaakt van een zgn. ontlastbuis. Deze buis wordt in het boorgat boven de aanvulling aangebracht en heeft tot doel de drukverhogingen welke in het boorgat optreden te reduceren. De reductie zou tot stand worden gebracht door de werking van de buis als een soort veiligheidsventiel waardoor de optredende drukverhogingen zouden kunnen worden afgelaten. Omdat de ervaringen bij enkele boorfirma's met betrekking tot het gewenste resultaat, dat wil zeggen géén dichtgeklapte putten, zeer positief zijn, lijkt het nuttig de werking van een dergelijke buis beter te bestuderen.

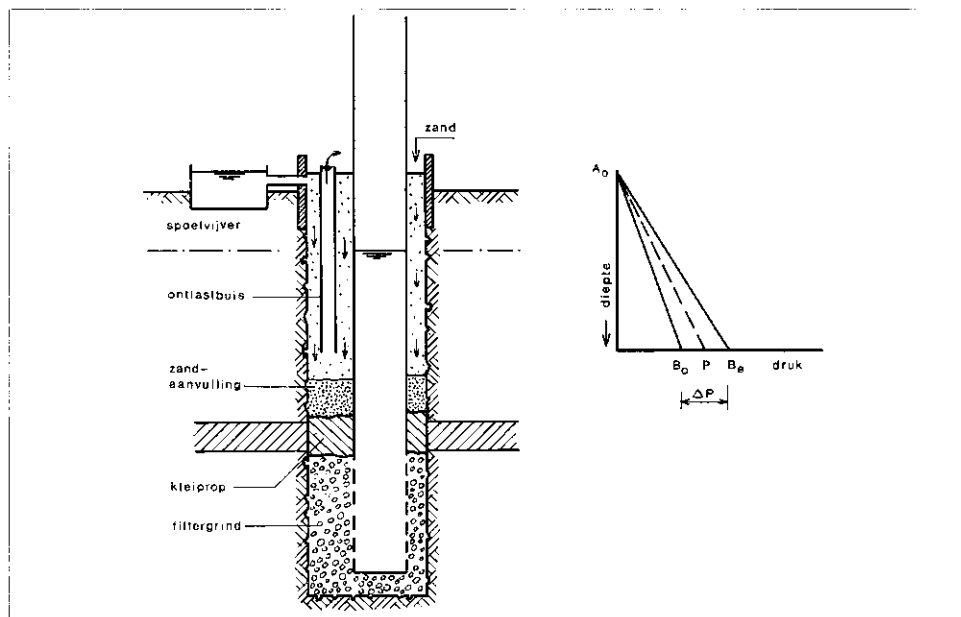
Zolang niet wordt aangevuld, geldt dat de drukverdeling binnen en buiten de ontlastbuis gelijk is. De drukverdeling kan worden voorgesteld door A_0B_0 in afb. 4.

Bij het aanvullen neemt de druk toe en de verdeling buiten de ontlastbuis komt dan overeen met A_0B_0 , indien geen stroming zou optreden. Als gevolg van de drukverhoging Δp onderaan de ontlastbuis treedt echter wel een stroming op. De grootte van deze stroming, welke buiten de ontlastbuis naar beneden is gericht en binnen de buis naar boven, wordt bepaald door de grootte van Δp en eveneens door de grootte van de stromingsweerstand. Evenals bij het overlopen van de stijgbuis bij het overstorten van het filtertraject geldt dat een dussdanige stroming zich zal instellen dat de totale som van de wrijvingsverliezen gelijk is aan de drukverhoging Δp . De druk onderaan de ontlastbuis zal worden gereduceerd met de grootte van het wrijvingsverlies B_0-P welke *buiten* de ontlastbuis optreedt. Het drukverloop zowel binnen als buiten de buis kan globaal worden voorgesteld door lijn A_0P .

In de praktijk is de weerstand tegen stroming binnen de ontlastbuis zeer veel groter dan daar buiten vanwege de geringe oppervlakteverhouding. Punt P ligt daarom veel meer naar rechts en de drukverlaging is dan slechts zeer gering.

Als gevolg van het feit dat de doorsnede van de ontlastbuis gering is ten opzichte van die van het boorgat (verminderd met die van de stijgbuis en ontlastbuis) kan de reductie van de drukverhogingen slechts zeer beperkt zijn. Gezien het gegeven dat geen gevallen van dichtgeklapte putten bekend zijn waar met een ontlastbuis is gewerkt, rijst de vraag of mogelijkerwijs andere factoren een rol kunnen spelen bij

Afb. 4 - Situatie gedurende het aanvullen van het boorgat nadat een kleiprop is aangebracht. De drukverdeling in het boorgat, wanneer géén ontlastbuis wordt gebruikt, kan worden voorgesteld door A_0B_0 . De drukverdeling bij gebruik van de ontlastbuis kan worden voorgesteld door A_0P . Wordt niet aangevuld dan komt de verdeling overeen met A_0B_0 .



het gebruik van een dergelijke buis, welke een gunstige werking hebben. De volgende factoren kunnen worden genoemd:

— Schommelingen in de drukverhogingen als gevolg van niet-constant aanvullen zullen overeenkomen met schommelingen in de grootte van de stroming. Het sneller overlopen van de ontlastbuis zal de mensen die aanvullen ertoe bewegen langzamer aan te doen.

— Als gevolg van de stroming in de ontlastbuis naar boven en in het boorgat naar beneden, wordt de verblijftijd van het uitzakende zand in het boorgat verkort. Bij een bepaalde snelheid van zandstorten zal daarom de totale hoeveelheid uitzakende materie worden verkleind en dat leidt tot lagere drukverhogingen in het boorgat. Op grond van het bovenstaande lijkt het aannemelijk dat het nut van een ontlastbuis niet zozeer gelegen is in het feit dat de druk wordt 'afgelaten', maar veel eerder gezocht moet worden in het feit dat de drukverhogingen onderin het boorgat aan de oppervlakte zichtbaar worden gemaakt. De ontlastbuis heeft derhalve in dit opzicht een indirect nut, omdat een grote stroming uit de buis de indicatie geeft dat (te) snel wordt aangevuld. Daarnaast mag worden aangenomen dat de verkorting van de verblijftijd van het uitzakende zand in het boorgat, zeker bij spoelingen met een hoge viscositeit, ertoe zal bijdragen dat de drukverhogingen minder sterk zullen toenemen.

Bezwijkdruk van PVC-buizen

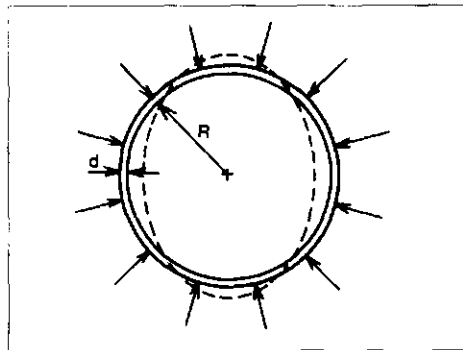
De alzijdige uitwendige druk, waarbij de cilindrische vorm van een buis onstabiel wordt en bezwijkt, wordt de kritische (of buckling-) druk genoemd. Deze kan voor een dunwandige buis van elastisch materiaal benaderd worden door de formule:

$$\Delta P = \frac{2E}{(1 - \mu^2)} \cdot \frac{d}{D^3}$$

waarbij

- E = elasticiteitsmodulus
- μ = constante van Poisson
- D = buismiddellijn = 2R + d
- d = wanddikte
- R = inwendige straal.

De elasticiteitsmodulus (E) van het thermo-



Afb. 5 - Vervorming van een ronde buis.

plastisch materiaal PVC is niet constant, maar tijds- en temperatuur afhankelijk. In het onderhavige geval is er echter sprake van korte-duur belastingen, waarbij het PVC-materiaal zich min of meer elastisch gedraagt en de initiële waarden van de elasticiteitsmodulus (E_i) en de treksterkte (σ_i) van toepassing zijn. De volgende waarden worden wel voor PVC aangehouden (J. de Feijter, KIWA):
 E_i = 3500 N/mm², σ_i = 45 N/mm², μ = 0,41.
 Bij Wavin BV rekent men met de volgende waarden (mondelinge mededeling):
 E_i = 3000 N/mm², σ_i = 45 N/mm², μ = 0,35.
 Substitutie van bovengenoemde waarden in de formule levert voor de verschillende stijfheidsklassen D/d de bucklingdruk (de kritische uitwendige druk) op voor cirkelvormige buizen (kolom 4 van tabel II). In de praktijk echter zal de PVC-buis niet zuiver cirkelvormig zijn, wat tot gevolg heeft dat de bucklingdruk gereduceerd wordt. Uitgaande van ellipsvormige buizen, met een bepaald percentage vervorming (α) ten opzichte van de cirkelvorm, kunnen de reductiefactoren β (tabel I) worden afgeleid (mondelinge mededeling J. F. Gehrels - Wavin BV).

TABEL I.

(%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
α	0,91	0,83	0,76	0,70	0,64	0,59	0,54	0,49	0,45	0,41

In kolom 5 van tabel II zijn de kritische drukken vermeld bij een initiële vervorming $\alpha = 3\%$. Als toelaatbare uitwendige drukken voor kortdurende belastingen kunnen de bucklingdrukken voor $\alpha = 0$ gedeeld door een

veiligheidsfactor 2 worden aangehouden (kolom 6 van tabel II). Een veiligheidscoëfficiënt van 2 wordt eveneens toegepast bij het bepalen van de drukklasse die gelijk is aan de toelaatbare inwendige langeduur-druk $P = 2 \sigma_t \cdot (D/d)^{-1}$, waarin σ_t (de toelaatbare treksterkte) = $\frac{1}{2} \sigma_e$. σ_e = de langduurtreksterkte van 25 N/mm². De maximale barstdruksterkte is gelijk aan $P = 2 \sigma_t (D/d)^{-1}$ (kolom 3).

Nog afgezien van de vraag of een veiligheidsfactor 2 niet aan de lage kant is, vanwege de in het algemeen aanwezige initiële vervorming en het bijzondere karakter van de (dynamische) belastingen op de buis tijdens het aanvullen, is het duidelijk dat van een aantal drukklassen de sterkte tegen uitwendige drukken gering is. Vanwege de onvermijdelijke drukverhogingen in het boorgat tijdens het aanvullen moet daarom worden geconcludeerd dat indien niet uiterst zorgvuldig te werk wordt gegaan de kans op dichtklappen van de lagere drukklassen groot is. Gezien de orde van grootte van de drukverhogingen in diepe boorgaten blijken eigenlijk alleen de buizen van de hoogste drukklasse (12,5 atm) voldoende garantie tegen dichtklappen te kunnen bieden.

Conclusie

Samenvattend en concluderend kan gezegd worden dat in de praktijk gedurende het aanvullen van een boorgat belastingen op de stijgbuis kunnen worden teweeggebracht waaronder deze kan bezwijken. Het blijkt dat de combinatie van drukverlaging binnen de stijgbuis en drukverhoging erbuiten tot belastingen kan leiden welke de bezwijkdrukken van PVC-buizen van de lagere drukklassen overschrijden. Verlaging van druk binnen de stijgbuis kan evenwel worden verhoepen en verhoging van de druk erbuiten kan worden verminderd. In principe kan dan bij het gebruik van stijgbuizen uit de drukklassen 12,5 en 10 atm. het risico van dichtklappen tot een aanvaardbaar niveau worden teruggebracht. Een zogenaamde ontlastbuis wordt vaak ten onrechte gezien als middel om de drukverhoging te elimineren. Een dergelijke buis kan slechts in beperkte mate de drukverhogingen verlagen.

TABEL II.

1	2	3	4	5	6
drukklasse in atm. (kPa)	stijfheidsklasse D/d	maximale barstdruksterkte in atm. (kPa)	bucklingdruk ($\alpha = 0$) in atm. (kPa)	bucklingdruk ($\alpha = 3\%$) in atm. (kPa)	toelaatbare uitwendige druk in atm. (kPa)
5,0 (506,6)	51	18 (1823,5)	0,5— 0,6 (50,7— 60,8)	0,4 (40,5)	0,25 (25,3)
6,3 (638,3)	41	23 (2330,5)	1,1— 1,3 (111,5— 131,7)	0,8 (81,1)	0,55 (55,7)
7,5 (759,9)	34 ^{1/3}	27 (2735,8)	1,7— 2,1 (172,2— 212,8)	1,3 (131,7)	0,85 (86,1)
10,0 (1013,2)	26	36 (3647,7)	4,1— 5,1 (456,0— 516,8)	3,1 (314,1)	2,05 (207,7)
12,5 (1266,6)	21	45 (4559,6)	8,2—10,1 (830,9—1023,4)	6,2 (628,2)	4,10 (415,4)