

Konstruktief gezien kan men de betonbuizen, die voor transportleidingen worden gebruikt in drie groepen onderbrengen:

- Gewapend betonbuizen.
- Betonbuizen, voorzien van een plaatstalen kern.
- Voorgespannen betonbuizen.

Alvorens ons te verdiepen in de verschillende bovengenoemde buistypen, is een bespreking van enkele eigenschappen van beton, die van speciaal belang zijn voor de fabricage van de buizen, noodzakelijk.



IR. J. KAMMINGA

Algemeen directeur Bonna,  
Afdelingen Nederland en België

De samenstellende grondstoffen: cement, water, zand en grind, zijn alle ten opzichte van andere materialen verhoudingsgewijs goedkoop.

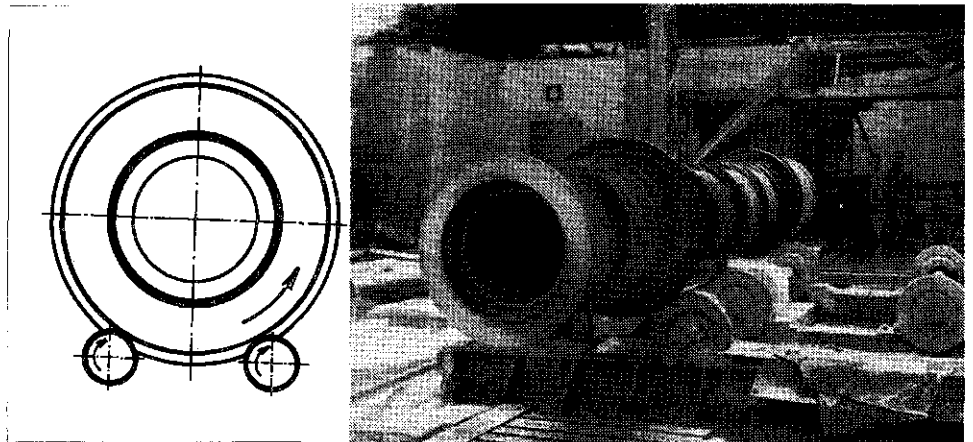
De eigenschappen, die het beton zal hebben na verharding, hangen niet alleen af van de kwaliteit van de gebruikte materialen, of van de goede verhouding van de samenstellende grondstoffen, maar evenzeer van de wijze van verdichten van de betonmortel vóór het verharden. Een dichte beton is sterker, weinig waterdoorlatend en beter bestand tegen chemische invloeden.

Het mag bekend worden verondersteld, dat volledig gehydrateerd cement nog altijd ca. 30 volumeprocenten aan poriën bevat. Wanneer nu dit cementsteen in een bepaald beton één vierde deel van het volume in beslag neemt, rekening houdend met het feit, dat slechts een deel van de gebruikte cement chemisch meereageert, dan betekent dit dat beton van uiterst dichte kwaliteit, zelfs nagenoeg waterdoorlatend, nog 10 volumeprocenten poriën bevat. De 30 % poriën in cementsteen doen veronderstellen, dat niet de hoeveelheid poriënvolume maatstaf is voor waterdoorlatendheid, maar dat de vorm en afmeting van de poriën in dit opzicht belangrijk zijn.

Zonder teveel in detail te treden, kunnen de volgende principes worden aangehouden. Te veel aanmaakwater verhoogt het totale poriënvolume.

Te weinig water is eveneens nadelig, nl. wanneer de gebruikte verdichtingsenergie onvoldoende is om de drogere beton te verwerken (water bevordert de verwerkbaarheid).

Het meest voor de hand liggend is dus het overvloedige water, dat nodig is voor de verwerkbaarheid vóór het verhardings-



Afb. 1 - Centrifugeren.

stadium te verwijderen, zoals gebeurt bij het centrifugeerproces en bij het vacuümprocédé.

### Centrifugeren

Een voordeel van deze methode is, dat de fabricage van een zeer dichte beton snel geschiedt en dat men bovendien geen binnenmal nodig heeft. De verdichting van de beton berust hierbij op het principe van de centrifugaalkracht. De centrifugale versnelling die optreedt tijdens het fabricageproces is  $v^2 : r$ , waarin  $v$  = omtreksnelheid en  $r$  = straal van de buis. Bij een buis van 150 cm diameter en 300 omwentelingen/min. is  $v = 24,6$  m/sec. en  $a = v^2 : r = 24,6^2 (m/sec)^2 / 0,75 m = 800$  m/sec<sup>2</sup>.

Wanneer er nu gelijktijdig met het optreden van deze centrifugale versnelling een trilling ontstaat, die de inwendige wrijving vermindert of opheft, werkt een verdichtende kracht van 80 x de zwaartekracht, waardoor tengevolge van deze fabricagemethode zeer dicht beton ontstaat; immers van de samenstellende componenten is water soortelijk het lichtst, waardoor dit tijdens het centrifugeren ten dele uit de mortel wordt geperst.

Om een goede dichtheid te bereiken moet volgens sommige theorieën de omtreksnelheid ongeveer  $2 \cdot cm \cdot sec^{-1}$  bedragen, volgens anderen dient de versnelling aan het maloppervlak  $10^2 g$  te zijn, terwijl weer andere formules een verband leggen tussen centrifugaalkracht en buisgewicht. In de praktijk lopen de uitkomsten echter weinig uiteen.

Een analyse van de verdichtingsdruk aan het maloppervlak

$$p = \frac{\gamma w^2}{g} \int_{R_1}^{R_2} r dr = \frac{\gamma w^2}{g} \cdot \frac{R_2^2 - R_1^2}{2} \text{ kgcm}^{-2}$$

waarin:

$$g = 9,81 \cdot 10^2 \text{ cm sec}^{-2}$$

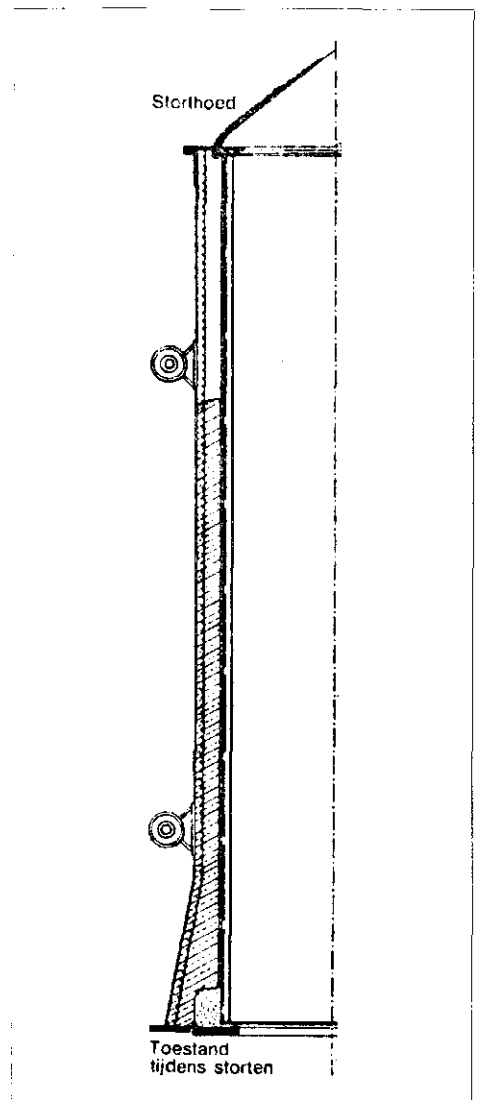
$\gamma$  = volumegewicht beton  $kp \text{ cm}^{-3}$

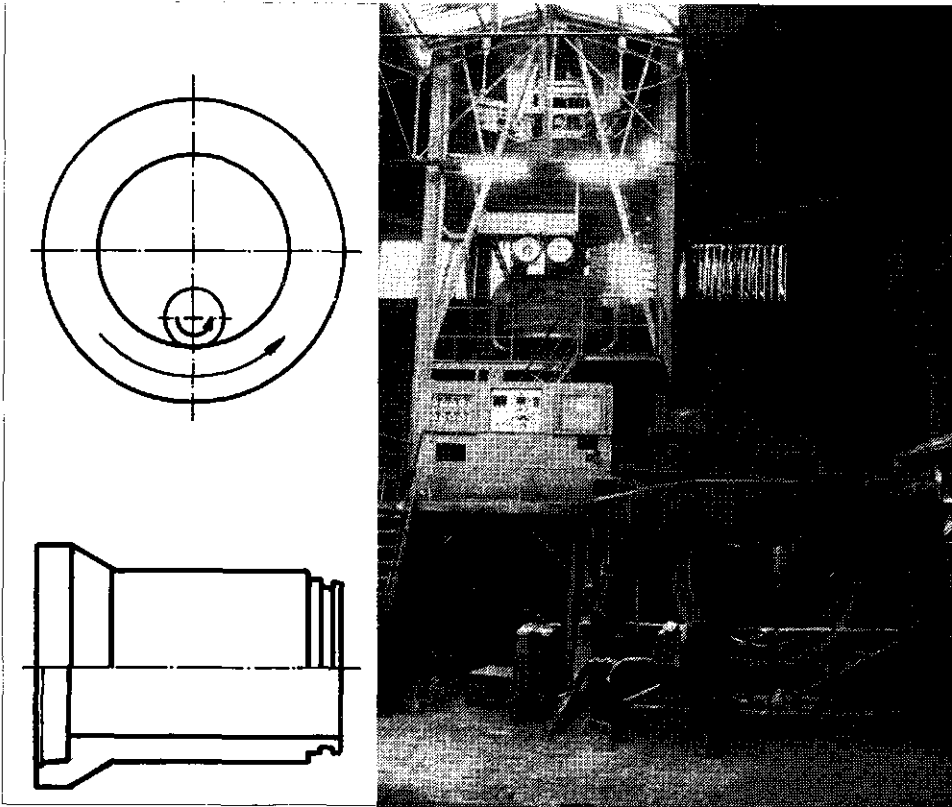
$w$  = toerental  $oec^{-1}$

$R_2$  = uitwendige diameter cm

$R_1$  = inwendige diameter cm

Afb. 2 - Vertikaal storten met behulp van hoofdfrekvent trillers.





Afb. 3 - Compressie door walsen betonbuis.

leidt tot de konklusie, dat in de praktijk de omtreksnelheid van de buis bij groter wordende diameter toe moet nemen om dezelfde verdichting van de beton te bereiken. Ook neemt het buisgewicht door toename van de wanddikte sterk toe, waardoor de centrifugeermachines zwaar en kostbaar worden.

### Vibrereren

Bij buizen van zeer grote diameters (ongeveer 2 m of groter) gaat men dan ook vaak over de buizen vertikaal te storten met behulp van een binnen- en een buitenmal. De verdichting wordt dan in dit geval bereikt met behulp van bekistingsvibratoren, die op deze mallen aangebracht worden. Bij dit fabricageproces is veel energie nodig om een goed verdichte beton te verkrijgen, waardoor de binnen- en buitenmallen, die de trilling op en in de beton moeten overbrengen, nogal robuust gekonstrueerd zijn.

De intensiteit van de trilling wordt gegeven door de formule:

$$I = C A^2 F^3 \text{ cm}^2 \text{ H}_z^3$$

waarin:

C = numerieke konstante afhankelijk van trillingsbron.

A = Amplitude in cm gemeten aan het oppervlak van de trillingsbron.

F = Frequentie trillingsbron in  $\text{H}_z$ .

Door inwendige wrijving gaat een deel van de trillingsenergie, die uiteraard een functie is van betonmassa B, Amplitude en frequentie

$W = f(B, A, F)$  — weer verloren, zodat op een afstand L nog slechts

$W_L = W_0 \cdot e^{-\beta L}$  geleverd wordt.

e = grondtal natuurlijke logaritmische

$\beta$  = dempingscoëfficiënt

Bij een intensiteit  $< 16 \text{ H}_z^3 \text{ cm}^2$  is de werkzaamheid van de trillingsbron te gering om nog enig effect te kunnen sorteren.

Wil men bovendien een dichte beton verkrijgen, dan dient met een betrekkelijk lage watercementfaktor ( $\pm 0,40$ ) te worden gewerkt, waardoor de stortingsnelheid gering wordt. De procestijd is dus lang.

### Comprimeren

Deze methode van verdichting wordt onder andere toegepast bij de fabricage van de walsbetonbuizen of Roclabuizen, genoemd naar de Australische uitvinder van dit systeem. Hierbij hangt de stalen mal, waarin de buis vervaardigd wordt op een stalen walsrol. Door aandrijving van deze walsrol wordt ook het model in draaiende beweging gebracht. De beton, door een verrijdbare vulband in de mal gebracht, wordt door de centrifugaalkracht tegen de wand geslingerd

en vervolgens tussen het stalen model en de walsrol samengedrukt. De hierbij optredende trillingen geven een nog grotere verdichting van de beton. Het voordeel van deze methode is, dat beton met een lage watercementfaktor kan worden toegepast ( $\pm 0,30$ ), terwijl toch snel gestort kan worden.

De persdruk, die bereikt kan worden in het gebied tussen walsrol en de binnenzijde van de vorm is

$$p = \frac{G_a + G_b}{A_s \cdot L} \text{ kg cm}^{-2}$$

waarin:

$G_a$  = gewicht vorm

$G_b$  = gewicht betonvulling

$A_s$  = spoorbreedte

L = lengte vorm

De spoorbreedte  $A_s$  kan worden afgeleid uit de formule voor twee elkaar rakende staaloppervlakken en is afhankelijk van walsroldiameter, vormdiameter en enkele materiaalkonstanten.

Ook de diverse 'Packerhead' systemen gebruiken compressie als hoofddichtingsmechanisme. Bij deze systemen wordt een cilinder met de binnendiameter van de buis roterend door de beton getrokken, waarbij het teveel aan beton in de wand wordt gedrukt en hierdoor een zeer grote dichtheid verkrijgt.

Bij de hierna te bespreken Sentabuis, wordt een compressie-effekt bereikt door het uitzetten van een binnenmal, waarbij tevens enig overtollig aanmaakwater via de met linnen beplakte lijsten uitteedt.

Uiteraard zijn er combinaties van deze hoofdgroepen van verdichting mogelijk.

Het in de ongewapende buizenwereld veel gebruikte 'rüttel-press verfahren' is hiervan wel het bekendste. Ook is het trillingseffect bij centrifugaal buizen en zowel centrifugaal als trillingsinvloed bij walsbetonbuizen niet te verwaarlozen. De meeste Packerhead systemen gebruiken tevens vibrateurs. Kortom: van een scherp gescheiden indeling van de in de buizenfabricage gebruikte verdichtingsmethoden is geen sprake.

### Gewapend betonbuizen

Deze buizen worden op diverse hiervoor besproken wijzen gefabriceerd en voor lange transportleidingen alleen gebruikt, indien de te verwachten inwendige waterdruk in de leiding laag is. Beton kan immers slechts in beperkte mate trekspanningen opnemen. Veronderstellen wij, dat de normale toelaatbare trekspanning in de beton 15 tot 20  $\text{kg/cm}^2$  bedraagt. Indien bij het dimensioneren van de buizen

alleen een lichte transportwapening wordt toegepast, dan verkrijgt men al spoedig zeer dikke wanden. Een buis met een inwendige diameter van 1000 mm en geschikt voor een inwendige waterdruk van 6 atm. zou een wanddikte verkrijgen van 20 cm.

Om deze wanddikte te verminderen, dient het wapeningspercentage in de buiswand te worden verhoogd. Bij een wanddikte van 12 cm en een verhouding tussen de elasticiteitsmodule van staal en beton

$$\frac{E_a}{E_b} = 20 \text{ zou benodigd zijn } 40 \text{ cm}^2 \text{ of wel}$$

een dubbel net van 18 spiralen  $\varnothing 22$  per meter buiswand. Bij 6 atm. is het wapeningspercentage in de buiswand reeds 3,33 %.

Hieruit blijkt duidelijk waarom men deze buizen dus in de regel slechts gebruikt voor leidingen met lage inwendige waterdruk, en waarom voor hogere drukken alleen reeds op economische gronden andere buistypen de voorkeur verdienen. Bij lage drukken is de gewapend betonbuis een uitstekende oplossing met grote veiligheid tegen breuk. Bij grote bovenbelasting kan het gebruik van geovaliseerde netten staalbesparend werken.

#### Gewapend betonbuizen, voorzien van een dunne plaatstalen kern

Bij proeven is vastgesteld, dat reeds fijne scheurtjes in de betonbuiswand optreden bij een betrekkelijk lage staalspanning. Hierdoor vindt dan reeds enige penetratie plaats.

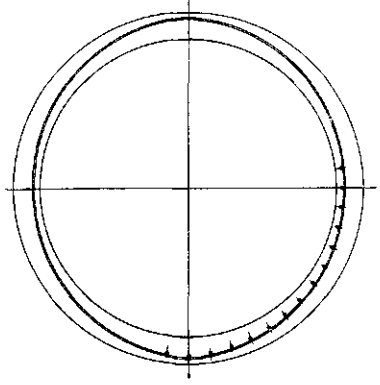
Terugkomend op ons voorbeeld van de buis met inwendige diameter van 1 m en geschikt voor 6 atmosfeer, kan men de binnenronde wapening van 18 spiralen  $\varnothing 12$  vervangen door een plaatstalen kern met een dikte van 2 mm.

De staalspanning kan nu opgevoerd worden tot 1200 à 1600 kg/cm<sup>2</sup>, alvorens gevaarlijke scheurvorming optreedt, terwijl de dichtheid van de buis gewaarborgd blijft. Indien bovendien bij drukstoten in de leiding nog hogere spanningen optreden, dan zal de buis deze gemakkelijk op kunnen nemen.

Hoewel door de ontwikkeling van de voorgespannen betonbuizen het gebruik van deze buizen wel is teruggelopen, wordt de betonbuis met plaatstalen kern nog vaak toegepast voor terreinleidingen.

In dit soort leidingen komen immers veelvuldig bochten en andere van rechte buizen afwijkende stukken voor. Al deze hulpstukken worden in het systeem met plaatstalen kern vervaardigd, en kunnen gemakkelijk met allerlei verbindingen aan rechte buizen worden gekoppeld.

Ook worden deze buizen gebruikt voor zinkers, alsmede voor weg- en spoorwegkruisingen.



Afb. 4 - Doorsnede gewapende buis met ovaal net.

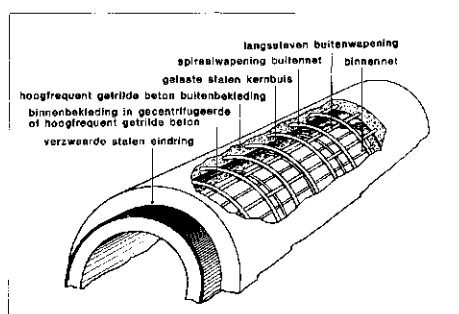
In dit laatste geval worden de buizen uitgevoerd als boorbuis, waarbij de leiding hetzij als mantelbuis hetzij direct als watervoerende buis kan worden gebruikt. In verband met de hoge bedrijfszekerheid van dit type worden deze buizen veel toegepast voor koelwaterleidingen bij elektriciteitscentrales. In dat geval hebben deze leidingen doorgaans inwendige diameters groter dan twee meter.

#### Voorgespannen betonbuizen

Het hoeft eigenlijk geen betoog waarom voorspanning wordt toegepast. Allereerst is beton veel meer drukvast dan trekvast. Daarom passen we een staalwapening toe: staal heeft een belangrijke treksterkte en kan dan de functie van het niet trekvaste beton waar nodig overnemen. Bij een betonbuis mag uit dichtheidsoverwegingen het beton niet of nauwelijks scheuren.

Voor een grove benadering van het probleem mag men het volgende stellen: De breuktrek van beton is 0,3 ‰, de E-moduul van staal is  $2 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>. Vóórdat een scheur komt in het beton kan het staal dus slechts komen tot een trekspanning van  $0,3 \times 10^{-3} \times 2,1 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup> zodat in het geval van buizen zelfs gewoon zacht staal slechts ten dele kan worden benut.

Afb. 5 - Gewapend betonhuis met plaatstalen kern.

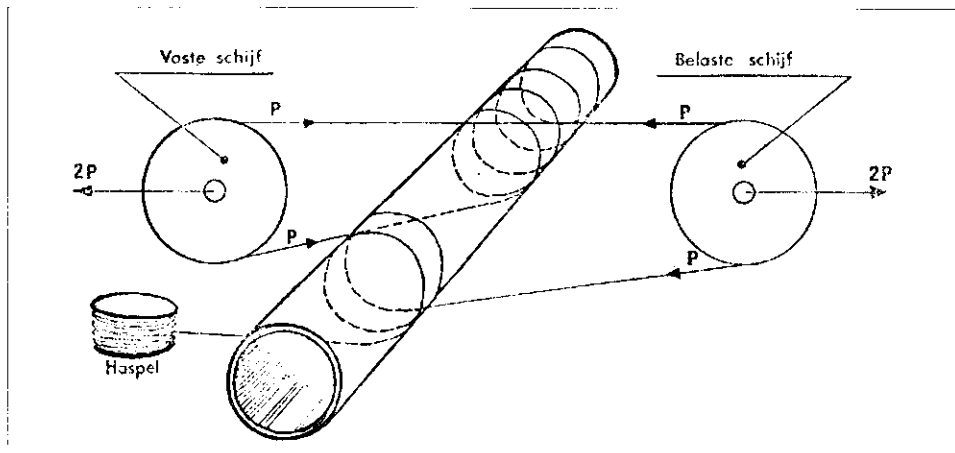


Om aan het hoge wapeningspercentage in betonbuizen te ontkomen, heeft men getracht het beginsel van de voorspanning ook voor dit produkt in toepassing te brengen. De gedachte om buizen van voorgespannen beton te vervaardigen is niet nieuw. Reeds in 1910 heeft de Zwitserse ingenieur Siegwart betonbuizen onder voorspanning gebracht. Het daar toegepaste hoogwaardig staal werd tot een spanning van 62,5 kg/m/m<sup>2</sup> belast. Een toentertijd door Siegwart gemaakte buis met een inwendige middellijn van 20 cm en een wanddikte van 2,25 cm weerstond een inwendige druk van 55 atm. De buis bezweek bij een druk van 58 atm. Uit de door hem gedane proeven blijkt, dat reeds een halve eeuw geleden intensief de toepassing van voorspanning bij buizen is bestudeerd onder hoge inwendige drukken. Door het gebrek aan goed hoogwaardig staal — dat tevens voor een economische prijs te leveren zou zijn — is in die dagen de ontwikkeling van het voorgespannen beton ook op het gebied van buizen niet doorgezet. Praktische toepassingen volgen dan ook eerst veel later. In de dertiger jaren is men met de fabriek van voorgespannen buizen in Noord-Afrika begonnen. De moeilijkheden, die men ondervond, waren het verzekeren van de waterdichtheid van de buis bij hoge inwendige waterdrukken en de verbinding van de buizen onderling. Deze problemen werden opgelost door de buis van een plaatstalen kernbuis van  $\pm 2$  mm dikte te voorzien. De verbinding werd tussen de plaatstalen kernen gemaakt. De konstruktie was dus eigenlijk een evolutie van de reeds bekende Bonnabuis.

#### 1. De in dwarsrichting voorgespannen buizen, voorzien van een waterdichte stalen kernbuis

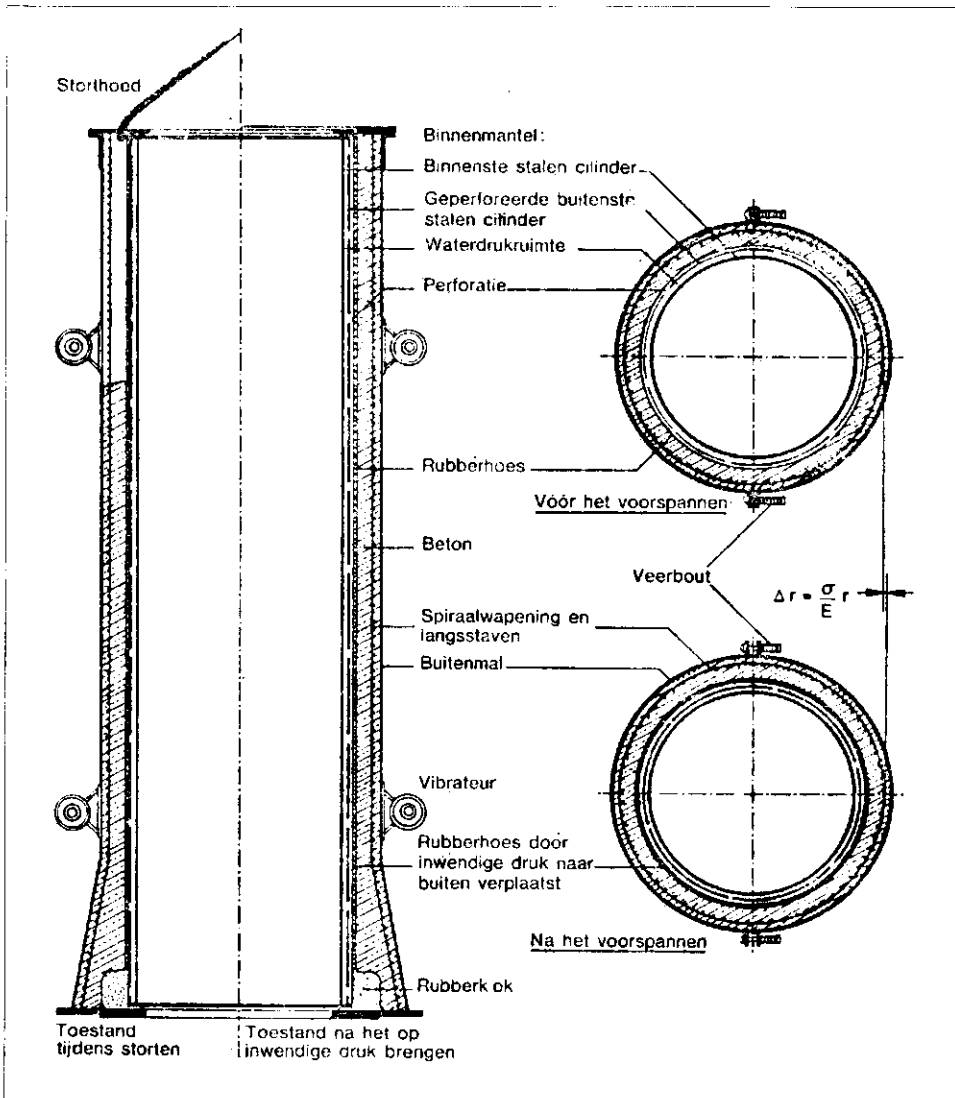
De primaire betonbuis wordt zonder wapening in een stalen kernbuis geslingerd, waarna het beton door middel van stomen snel wordt verhard. Nadat het beton een voldoende hoge sterkte heeft verkregen, wordt de spiraalwapening onder spanning op de stalen kernbuis gewikkeld, waarna een beschermlaag van beton om deze wapening wordt aangebracht. Deze beschermlaag is ongeveer 20 mm dik en wordt niet voorgespannen.

Bij het wikkelen van de spiraalwapening — dus tijdens het voorspannen — zullen er tengevolge van de plaatselijke vervorming van de buis trekspanningen in lengterichting van de betonbuis optreden, die bij een grotere diameter aanleiding kunnen geven tot het ontstaan van ringscheuren aan de binnenzijde indien de ringvoorspanning in



Afb. 6 - Wickelproces primaire betonbuis.

Afb. 7 - Voorspanning Sentab procédé.



het beton een waarde krijgt die hoger is dan 120 à 130 kg/cm<sup>2</sup>. Hierbij moet worden opgemerkt, dat voorspanning bij een kubussterkte van het geslingerd beton van ca. 800 kg/cm<sup>2</sup> wel tot een waarde van 200 kg/cm<sup>2</sup> zou kunnen worden opgevoerd.

De in dwarsrichting voorgespannen betonbuis met plaatstalen kern heeft vooral in Amerika een toepassingsgebied gevonden bij grote transportleidingen, waarbij enkele met zeer hoge werkdrukken (tot 40 kg/cm<sup>2</sup>) en grote middellijnen tot ca. 2000 mm.

Ook thans nog worden deze buizen overal ter wereld toegepast.

Bij de voorgespannen Lock-joint buizen wordt de verbinding gemaakt met behulp van een mof- en spiering en een rubberring als afsluitorgaan. De stalen verbindingsringen worden zwaar verzinkt. Ook andere verbindingen kunnen bij dit buistype worden gebruikt.

Daar het gebruik van de stalen kern de kostprijs van deze buizen aanzienlijk verhoogt, heeft men allerwegen getracht constructies te vinden, waarbij toepassing van deze stalen kernbuis niet noodzakelijk is.

## 2. De in dwarsrichting voorgespannen buizen, zonder plaatstalen kern, in lengterichting van een zacht-staalwapening voorzien

Bij dit type buis wordt de primaire betonbuis in een stalen mal geslingerd. Voor het slingeren wordt een langswapening aangebracht waarom een spiraal met een grote spoed is gewikkeld. Het doel van de spiraalwapening is om samen met de langswapening een kooi te vormen, die in de mal kan worden geplaatst. Hierdoor wordt tevens bereikt dat de langsstaven ten gevolge van de centrifugaalkracht niet naar buiten uitbuigen.

Na het slingeren van het beton wordt de primaire betonbuis gestoomd, en nadat het beton een voldoende druksterkte heeft verkregen, wordt de spiraalwapening onder spanning om de primaire buis gewikkeld. Tot slot wordt een bescherming van beton aangebracht (deklaag). Ook bij dit type buis zullen evenals bij de voorgespannen buis met stalen kern door de plaatselijke diameterverkleining tijdens het wikkelen trekspanningen in de lengterichting van de primaire betonbuis worden opgewekt, welke trekspanningen bij buizen met een grote middellijn en een hoge dwarsvoorspanning aanleiding kunnen geven tot het ontstaan van ringscheuren. Bij het hier bedoelde type, waarin geen stalen kernbuis aanwezig is, kan elke ringscheur lekkage ten gevolge hebben. In verband daarmee wordt de ringvoorspanning bij dit type lager gekozen dan bij buizen die van een plaatstalen kernbuis zijn voorzien. Dit type buis is nauwelijks tot praktische toepassing gekomen. Het hoge staalverbruik maakt deze buizen niet economisch. Bovendien is het probleem van de verbindingen i.v.m. de discontinuïteit in de spanningsverdeling aan de buiseinden moeilijk oplosbaar.

## 3. De in langs- en dwarsrichting voorgespannen buizen

Hierbij zijn twee buistypen tot ontwikkeling gekomen:

a. buizen, waarbij een in langsrichting

voorgespannen primaire betonbuis onder dwarsvoorspanning gebracht wordt door het aanbrengen van een wikkeling; het voorspandraad wordt dan door een deklaag tegen corrosie beschermd;

b. buizen, waarbij de dwarsvoorspanning overgebracht wordt op de spiraalwapening doordat het beton van de nog niet verharde buis wordt uitgezet.

3a. Dit type buis wordt in Nederland door Beton Arkel vervaardigd.

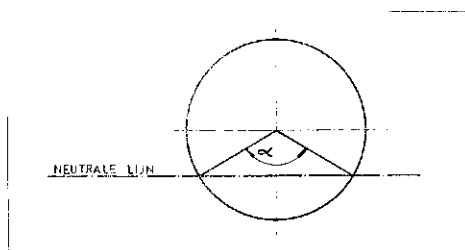
Bij het wikkelen van de spiraalwapening ontstaan er ten gevolge van de plaatselijke vormveranderingen van de buis trekspanningen in lengterichting in de primaire betonnen buis. In de praktijk is gebleken, dat bij grote inwendige middellijnen, waarbij de buigingsstijfheid van de buiswand kleiner is dan bij buizen met een kleine inwendige middellijn, deze trekspanningen aanleiding kunnen geven tot het ontstaan van ringscheuren.

Indien geen langsvoorspanning in de buizen zou worden aangebracht, zou om ringscheuren tijdens het wikkelen te vermijden, de voorspanning in het beton niet hoger dan tot 120 à 130 kg/cm<sup>2</sup> kunnen worden opgevoerd.

Dank zij de langsvoorspanning in het beton die in de regel 20 kg/cm<sup>2</sup> bedraagt, kan de dwarsvoorspanning tot 200 kg/cm<sup>2</sup> worden opgevoerd.

Bij het ontlaste wikkelen treden praktisch geen buigende momenten in lengterichting in de buis op en is ook het secundaire spanningsbeeld in de buiswand veel gunstiger.

Ook zijn er fabrikanten, die buizen vervaardigen waarbij de deklaag voorgespannen is. Dit is verwezenlijkt bij de Premo-buis, een Zweeds fabrikaat. Alvorens tot het aanbrengen van de deklaag over te gaan, wordt de beton in langs- en in dwarsrichting spanningsloos gemaakt. Dit wordt bereikt door waterdichte eindschotten aan de reeds voorgespannen langsdraden te bevestigen en daarna de inwendige waterdruk zodanig op te voeren, dat het staal van langs- en dwarsvoorspanning op haar initiële voorspanningskracht wordt belast. In dit stadium wordt de deklaag aangebracht. Na verharding van deze deklaag wordt de waterdruk afgenomen waarbij de deklaag wordt voorgespannen. Een bezwaar van dit type buis is dat grote kans bestaat op het loslaten van deze laag, daar in het scheidingsvlak tussen gecentrifugeerd beton en deklaag radiaal gerichte trekspanningen zullen optreden, die juist in het beginstadium ternauwernood door de beton kunnen worden opgenomen. Een ander bezwaar is, dat de verbinding tussen de twee buiselementen zodanig is



Afb. 7a.

uitgevoerd, dat aansluiting op de deklaag plaats vindt, hetgeen onderloopsheid van de verbinding mogelijk maakt.

3b. Buizen waarbij de dwarsvoorspanning overgebracht wordt op de spiraalwapening, doordat het beton van de nog niet verharde buis wordt uitgezet. Dit type buis is destijds door Freyssinet ontwikkeld.

De vormen, waarmee hij deze buizen vervaardigde, waren van een zo ingewikkelde constructie, dat de fabricage van de buizen zeer kostbaar was. Bovendien was het probleem van de verbindingen niet opgelost. De buizen hadden rechte uiteinden en werden met behulp van de Gibault-koppeling verbonden. In Zweden echter heeft men dit idee van Freyssinet verder ontwikkeld en is men er in geslaagd dit type buis met eenvoudige verbinding te vervaardigen. Deze buizen worden in Nederland als Bonna Sentabbuizen in de handel gebracht.

Bij deze zgn. Sentab-buis wordt het geprefabriceerde hoogwaardig stalen net in een van veerbouten voorziene buitenmal geplaatst, waarna een rubber binnenmal wordt aangebracht. De buis wordt vertikaal gestort, waarbij vibrateurs voor de nodige verdichtingsenergie zorgen. Na het storten en sluiten van de topring wordt de binnenmal, die in werkelijkheid uit twee concentrische stalen cilinders bestaat, waarvan de buitenste geperforeerd is en waaromheen een rubberhoes is gespannen, onder inwendige waterdruk gebracht. Bij het oplopen van deze druk wordt het nog niet verharde, maar sterk verdichte beton radiaal verplaatst. Dank zij de veerbouten geeft de buitenmal mee, zodat de voor het evenwicht nodige tegen-druk alleen door het spannen van het net kan worden geleverd. Wanneer na het verharden van het beton de binnenwaterdruk tot nul wordt teruggebracht, rest een homogeen voorgespannen buis.

### Berekening

De aan de buis te stellen eisen worden in principe bepaald door inwendige waterdruk, verkeersbelasting en gronddruk. De beide laatste factoren worden in een van de andere artikelen gepreciseerd.

De totale bovenbelasting wordt gecombi-

neerd met de opleggegevens en eventuele zijdelingse gronddruk of seculair effect omgerekend in een buigend moment in de buiswand. Voor de diverse belastingaannamen werden deze buigende momenten uit de deformatieformules van Bresse afgeleid. De te gebruiken coëfficiënten zijn in diverse handboeken opgenomen.

De benodigde wapening voor gewapende buizen en betonbuizen met plaatstalen kern kan met behulp van de normale gewapend betonberekening worden bepaald.

Wat betreft de berekening op inwendige waterdruk grijpt men doorgaans terug naar de elasticiteitstheorie. Het benodigde staaloppervlak kan in principe uit de ketelformule worden afgeleid:

$$p \cdot D \cdot 100 = 2 \cdot F_y \cdot \sigma_y$$

waarin:

$p$  = inwendige waterdruk in kg/cm<sup>2</sup>

$D$  = diameter kernbuis in cm

$F_y$  = staaloppervlak in cm<sup>2</sup>/m

$\sigma_y$  = toelaatbare staalspanning in kg/cm<sup>2</sup>

Uit ovalisatieproeven alsook de internationale literatuur blijkt, dat het moment in dat geval dient te worden gereduceerd, daar anders een te zware constructie wordt gevonden. De combinatie met de inwendige waterdruk geschiedt doorgaans lineair hoewel ook dit een veilige aanname is en men in de praktijk de parabolische curve van Schlick blijkt te benaderen.

Om een voorgespannen buis te kunnen berekenen dient men de inwendige waterdruk en het gereduceerd ovalisatiemoment om te rekenen in een aequivalente waterdruk. Na vermeerdering met de te verwachten relaxatieverliezen van het staal en de krimp- en kruipverliezen van de beton wordt de effectieve waterdruk gevonden, waarop de buis moet worden geconstrueerd. Wanneer hierbij de fabrikageverliezen worden opgeteld, zijn de manometerdruk of de wikkelkracht per cm met het daarbij behorende voorspanstaal bepaald.

Door van de effectieve waterdruk die relaxatie- en andere verliezen af te trekken, die binnen enkele dagen na de fabricage optreden, kan de fabrieksproefdruk worden bepaald. Deze beproeving, waarbij het beton geheel spanningsloos wordt gemaakt, vindt plaats voor elke buis.

Buizen op paaljukken opgelegd worden extra belast door concentratie van de belasting boven de oplegging met hierdoor verhoogd ovalisatiemoment. Voor het bepalen van de medewerkende oplegbreedte wordt doorgaans de reële breedte van de oplegging vermeerderd met de uitwendige diameter van de buis.

Voor het bepalen van het opneembaar langsmoment in buizen met plaatstalen kern

dient eerst de ligging van de neutrale lijn bepaald te worden met de formule:

$$(e - t) (\operatorname{tg} \alpha - \alpha) = \pi m t$$

$e$  = wanddikte van de buis in mm

$t$  = theoretische wanddikte van plaat + langswapening in mm

$m$  = b.v. 10

$\alpha$  = middelpuntshoek t.o.v. neutrale lijn

Daarna kan het toelaatbare langsmoment gevonden worden door de formule:

$$\sigma = \frac{m \cdot M (1 + \cos \alpha)}{(e - t) R^2 \operatorname{tg} \alpha \sin^2 \alpha}$$

waarin:

$\sigma$  = toelaatbare staalspanning in  $\text{kg}/\text{mm}^2$

$R$  = gemiddelde straal van de buis in m

$m$  = 10

$M$  = buigend moment in  $\text{kgm}$

Bij gewapende buizen is de langswapening doorgaans te gering om een substantiële invloed uit te oefenen, zodat hier het opneembaar langsmoment doorgaans met behulp van een aangenomen buigtreksterkte van bijv.  $35 \text{ kg}/\text{cm}^2$  in de uiterste vezel van de beton wordt berekend, gebruik makend van de normale formules voor een lineaire spanningsverdeling. Bij voorgespannen buizen geschiedt hetzelfde, alleen wordt hier uiteraard tevens de aangebrachte langsvorspanning verdisconteerd.

De opneembare dwarskracht van gewapende buizen wordt bepaald door de buis als ongewapend te beschouwen. De berekening van de toelaatbare dwarskracht geschiedt met de formule

$$\tau = \frac{DS}{bI}, \text{ waarin:}$$

$\tau$  = toelaatbare schuifspanning in de beton bijv.  $15 \text{ kg}/\text{cm}^2$

$S$  = statisch moment van het gedeelte van de doorsnede onder de as t.o.v. de neutrale lijn

$D$  = dwarskracht

$I$  = traagheidsmoment

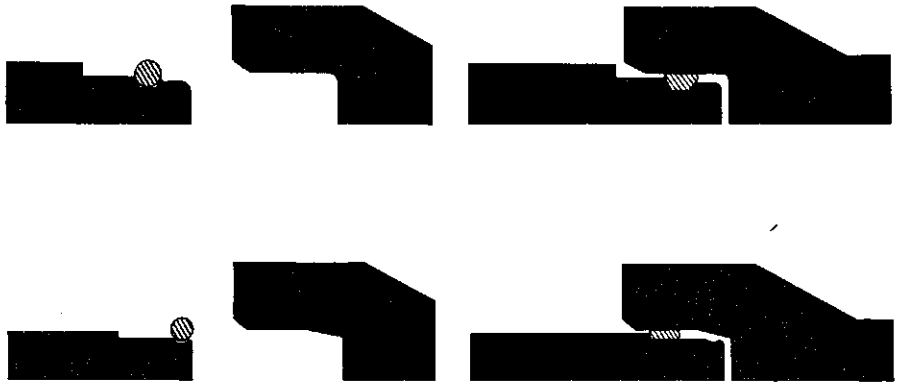
$b$  = breedte van de buis op de beschouwde hoogte

Voor een buis is deze formule terug te brengen tot:

$$\tau = \frac{2D}{\text{max. } F_{\text{bet}}}$$

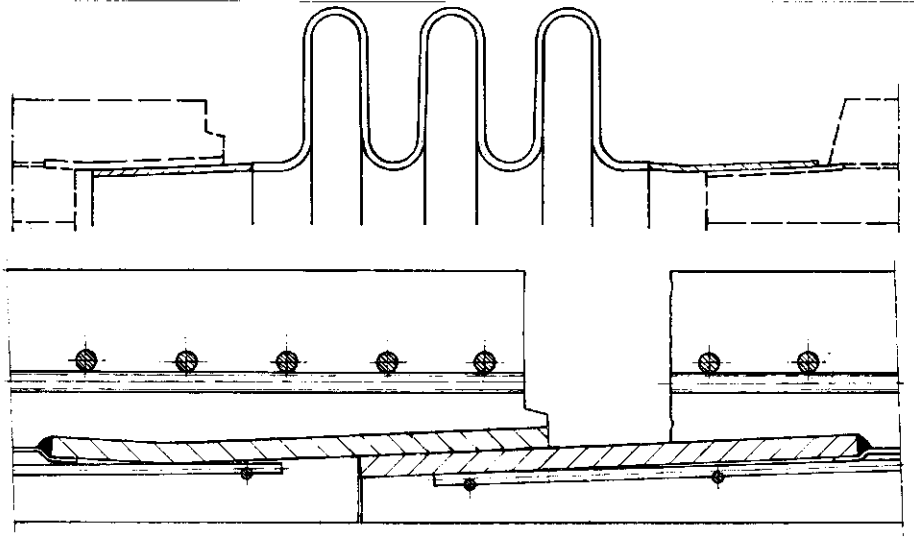
$F_{\text{bet}}$  = betonoppervlak van de buisdoorsnede

Bij plaatstalen kernbuizen speelt het staal wél een rol van betekenis. Voorgespannen buizen verdragen een gemajoreerde schuif-



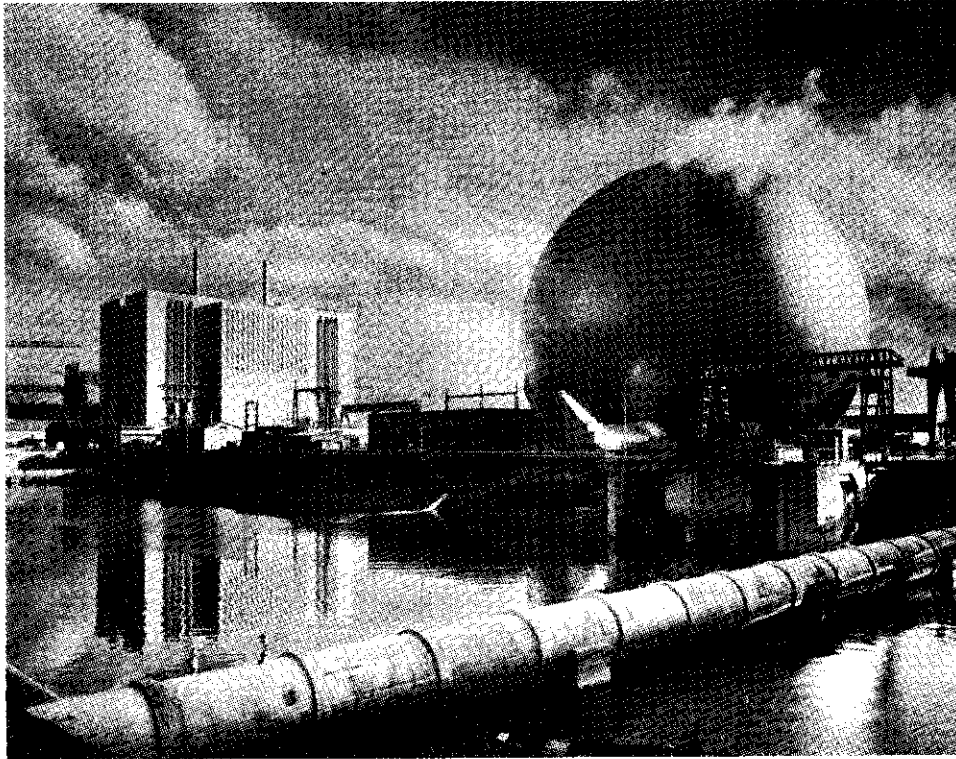
Afb. 9 - Conische lasverbinding. Expansiestuk.

Afb. 10 - Brughuis Atoomcentrale Avoine, diameter 2100 mm, afstand ondersteuning 21 m.

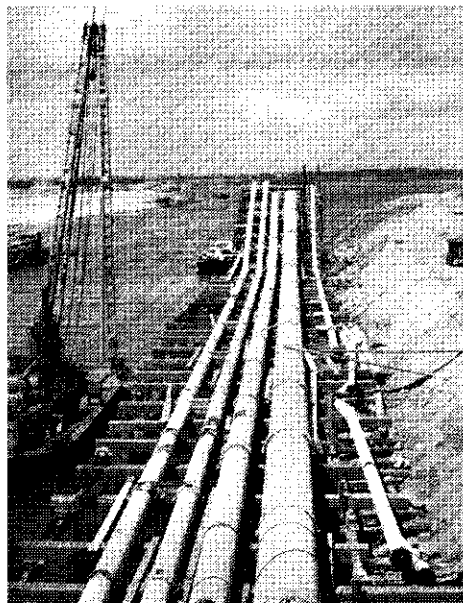


Afb. 8 - Glijverbinding. Rolverbinding.

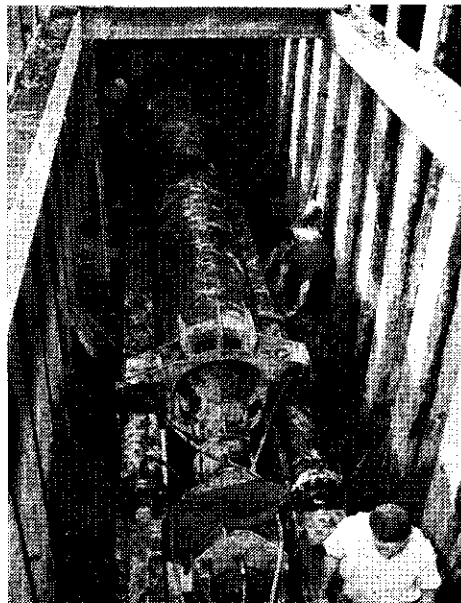




Afb. 11 - Zeewaterleiding Den Haag, Inwendige diameter 2200 mm.



Afb. 12 - Zinkerfabrikage op stelling.



Afb. 13 - Doorpersing.

spanning mede vanwege de langsvoorspanning; gebruikelijk is hier 20 à 25 kg/cm<sup>2</sup> te nemen.

De in de leidingen optredende bochtcrachten kunnen worden opgenomen door ankerblokken. Logischer is evenwel de bochten uit te voeren in hulpstukken met plaatstalen kern en deze door middel van plaatstalen kernbuizen te verlengen, zodat de omringende grond de benodigde tegendruk kan leveren om de desbetreffende bocht vast te houden. De bij andere mate-

rialen gebruikelijke methode om middels trekvast bewegelijke verbindingen de bochten geheel op wrijving vast te houden, wordt in beton weinig toegepast.

#### Verbindingen

Betonbuizen worden doorgaans geleverd met rubberringverbindingen. Dit kunnen glijverbindingen of rolverbindingen zijn. Beide verbindingen hebben voor- en nadelen, zodat men niet kan zeggen, dat de een beter is dan de ander. Mits goed

gefabriceerd en gelegd zijn beide in staat zeer hoge waterdrukken te weerstaan, zonder dat lekverlies optreedt.

Plaatstalen kernbuizen worden meestal met lasverbindingen geleverd, hoewel dit type buis met alle mogelijke verbindingen kan worden gefabriceerd, ook met flensverbindingen en bijv. Dresser (Jonhson, Gibault)-koppelingen. De rubberringverbindingen worden soms trekvast uitgevoerd. Het verdient aanbeveling dit als extra veiligheidsmaatregel te beschouwen en niet a priori op deze werking te rekenen.

#### Bijzondere toepassingen

Zelfdragende brugbuizen worden meestal in betonbuizen met plaatstalen kern met lasverbindingen uitgevoerd, hoewel ook reeds verbinding van buiselementen via voorspandraden is toegepast. Bij de grote temperatuurverschillen, die hier vaak optreden, moet de leiding van expansiestukken worden voorzien, die meestal in staal worden uitgevoerd en direct aan de plaatstalen kernbuis kunnen worden gelast. Uitvalleidingen, die in zee getrokken worden, zoals ze o.a. in Den Haag zijn toegepast, vormen een chapter op zich, daar de buis dan aan bijzondere gewichtseisen moet voldoen, die uiteindelijk de wanddikte bepalen.

Zinkers worden vaak geheel in den droge samengesteld, uitgevaren en afgezonken, wanneer ze uit betonbuizen met plaatstalen kern worden samengesteld. Bij zeer grote lengte en diameter worden strengen van bijv. 50 m tot een geheel gelast en gebetonneerd om het aantal onderwaterverbindingen te verminderen.

De betonbuis wordt veelvuldig als boorbuis gebruikt. Boringen van honderden meters — meestal met tussenstations — in diameters van 2 meter en meer zijn geen zeldzaamheid. De op te nemen perskrachten van soms 1000 ton en meer dienen uiteraard in de berekening te worden verwerkt.

