

De bouw van betonnen waterreservoirs

1. Inleiding

Sinds 1964 is de reservoirruimte bestemd voor de opslag van drinkwater bij de NV Waterleiding Maatschappij Gelderland uitgebreid met 27.000 m³. Deze waterberging is gerealiseerd door de bouw van een 10-tal cilindervormige reservoirs, die verspreid liggen over het gehele voorzieningsgebied. In de periode 1964-1967 werden 5 stalen reservoirs gebouwd met een netto inhoud van resp. 2 x 1500 m³ en 3 x 3000 m³.

Van deze reservoirs zijn er 3 (2 x 1500 m³ en 1 x 3000 m³) op grond van landschappelijke overwegingen, voorzien van een grondomhulling, terwijl 2 reservoirs van 3000 m³ zonder grondomhulling in het terrein zijn geplaatst, zoals dat vrij algemeen wordt toegepast voor opslag-tanks van aardolieproducten.

Voor wat betreft de constructie en wijze van uitvoering van deze stalen reservoirs [1], alsmede de toegepaste conserverings-systemen en de daarmee opgedane ervaringen, wordt verwezen naar de literatuuropgaven [1] en [2].

In de jaren 1969 en 1970 zijn vervolgens 2 gewapend betonnen reservoirs van 3000 m³ gebouwd, resp. te Eerbeek en Barneveld, die voorzien zijn van een grondomhulling.

Tenslotte is in 1971 een aanvang gemaakt met de bouw van 3 reservoirs van 3000 m³ in voorgespannen betonnen uitvoering, resp. te Driel, Holk (gemeente Nijkerk) en Zoelen.

Van deze 3 reservoirs, die in een repeti-



Afb. 2 - Het reservoir met pompgebouw te Barneveld.

tiebouw zijn uitgevoerd, zijn er inmiddels 2 in gebruik genomen.

In dit artikel zal nader worden ingegaan op de overwegingen die hebben geleid tot de bouw van de hiervoor genoemde betonnen reservoirs, terwijl tevens een overzicht zal worden gegeven op welke wijze deze reservoirs tot stand zijn gebracht.

2. Overwegingen die hebben geleid tot de keuze van betonnen reservoirs

Voor een waterberging in de orde van grootte van ca. 3000 m³ komen in prin-

cipe 2 materialen als constructiemateriaal in aanmerking, t.w. staal en beton. De materiaalkeuze wordt in de allereerste plaats beïnvloed door de bouwkosten en de onderhoudskosten.

In de afgelopen jaren zijn aanzienlijke verschillen opgetreden in de materiaal-prijzen van staal en beton, terwijl de loonpost een nog steeds stijgende lijn vertoont. Zo bleek bij de aanbesteding van 2 reservoirs van 1500 m³ in 1964 dat het bouwen in staal ca. 20-25 % goedkoper was dan in beton. Dit heeft er toe geleid dat in de periode 1964-1967 door de WMG 5 stalen reservoirs zijn gebouwd met een totale netto inhoud van ca. 12.000 m³.

Toen in 1968 het plan werd gemaakt voor de bouw van een waterberging van 3000 m³ bij het pompstation Eerbeek, bleek de prijs van een gewapend betonnen reservoir voorzien van een grondomhulling nagenoeg gelijk te liggen met de prijs van een stalen reservoir (incl. de kosten voor conservering van de staalconstructie) dat niet aangeaard op maaiveld zou worden geplaatst.

Hierbij zij nog opgemerkt dat een stalen reservoir met aanaarding zware verstijvingsringen vereist, waardoor de prijs van een dergelijk reservoir aanzienlijk wordt verhoogd.

Op grond van landschappelijke overwegingen is toen de voorkeur gegeven aan het betonnen reservoir met aanaarding. Tevens is bij deze keuze betrokken het feit dat een stalen reservoir periodiek onderhoud vergt, terwijl dit bij een betonnen reservoir niet het geval is. Dit reservoir dat — evenals de gebouwde stalen reservoirs — cilindervormig is uit-

Afb. 1 - Aangeaard reservoir te Eerbeek.



gevoerd, heeft een diameter van 26,50 m en een hoogte van 6 m. Het is medio 1969 in bedrijf genomen (afb. 1).

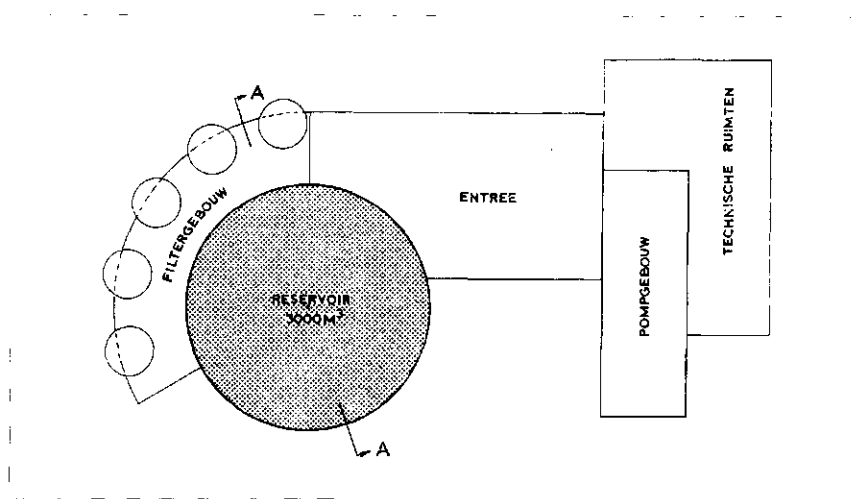
Toen in 1970 te Barneveld een distributiepompstation (waterberging + reinwater-pompgebouw) moest worden gebouwd, werd van de zijde van de gemeente de eis gesteld dat het reservoir landschappelijk zou worden aangepast d.m.v. een aanaarding met beplanting. Door deze eis is ook hier gekozen voor een cilindervormig gewapend betonnen reservoir.

Het reservoir met pompgebouw is in de eerste helft van 1971 gereedgekomen (afb. 2).

Een andere factor die van invloed kan zijn op de materiaalkeuze, is de bodemgesteldheid.

In de hiervoren omschreven reservoirbouw te Eerbeek en Barneveld kon op staal worden gefundeerd nadat een grondverbetering van enkele decimeters was aangebracht. Bestaat de ondergrond evenwel uit vele meters sterk samendrukbare lagen, dan is voor de bouw van betonnen reservoirs een paalfundering vereist.

Voor stalen reservoirs is er onder deze omstandigheden echter nog een mogelijkheid die in de olieindustrie vaak wordt toegepast, nl. een fundering op staal waarbij vrij grote zettingen optreden. Met andere woorden: het criterium voor het vormveranderingsdraagvermogen van de grond wordt veel ruimer genomen dan gebruikelijk is bij bouwconstructies. Hiermee bespaart men een paalfundering met betonnen fundatieplaat. Een voorwaarde is wel, dat de sterk samendrukbare ondergrond homogeen van samenstelling is, zodat gelijkmatige zettingen te verwachten zijn. Met behulp van een proefvulling zal een belangrijk deel van de zetting reeds vóór de inbedrijfstelling van de tanks optreden. Door het seculaire effect van de zetting moeten de tanks evenwel van tijd tot tijd worden opgevijseld en onderstopt, hetgeen een tijdelijk buitenbedrijf stellen met zich meebrengt. In een tankpark met vele tientallen reservoirs behoeft dit geen problemen in de bedrijfsvoering te geven. Bij een waterlei-



Afb. 3 - Reservoir met aansluitende gebouwen.

dingbedrijf daarentegen is het voor enige tijd buitenbedrijf stellen van de waterberging uit een oogpunt van bedrijfsvoering in de meeste gevallen niet aanvaardbaar. Daarom is bij de Waterleiding Mij Gelderland als uitgangspunt gekozen, dat de toelaatbare zetting van stalen reservoirs niet groter mag zijn dan van betonnen reservoirs. Deze overweging heeft een belangrijke rol gespeeld bij de materiaalkeuze voor de laatste serie van 3 reservoirs resp. te Driel, Holk en Zoelen. Al deze reservoirs zijn gesitueerd bij provisorische pompstations en dienen voorshands om de dagproductie van deze provisorica te kunnen vergroten. Bij de situering moest evenwel rekening worden gehouden met de in de toekomst te bouwen definitieve pompstations. Voor het pompstation in Driel was daartoe reeds in 1970 een schetsontwerp gemaakt. In dit ontwerp vormt het reservoir een integrerend geheel met het toekomstig pompstation, waardoor in dit geval een aanaarding niet mogelijk was (zie afb. 3 en 4).

Dientengevolge werd besloten alle 3 te bouwen reservoirs onbekleed te laten, teneinde hierdoor de mogelijkheid te openen om — ondanks de verspreide geografische ligging — tot een serie-

bouw te geraken. Met name voor betonnen reservoirs brengt dit belangrijke voordelen met zich mee door de repetitie van de bekisting.

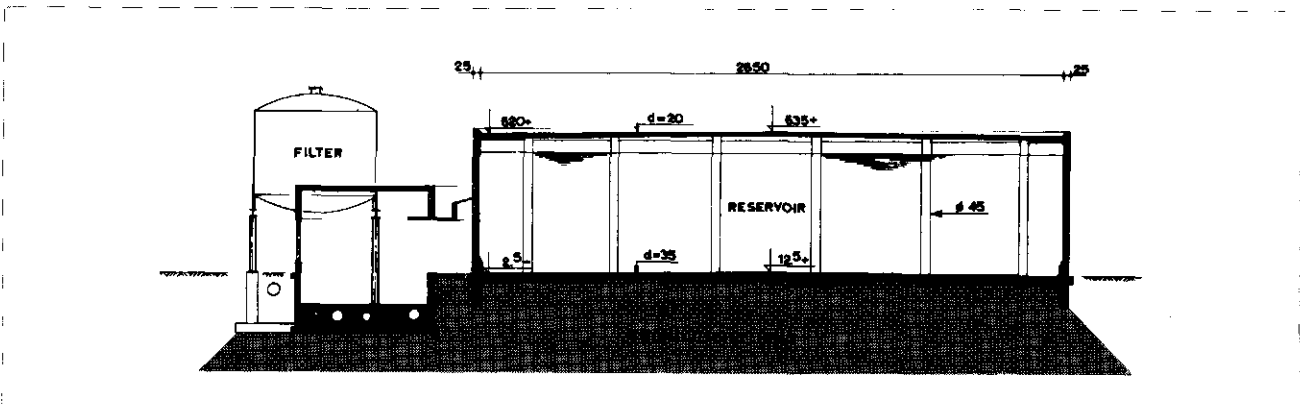
Tenslotte bleek nog uit een globale verkenning van de markt, dat geen grote prijsvoordelen aan de stalen reservoirs verbonden zouden zijn, zodat uiteindelijk de voorkeur werd gegeven aan beton op grond van de volgende overwegingen:

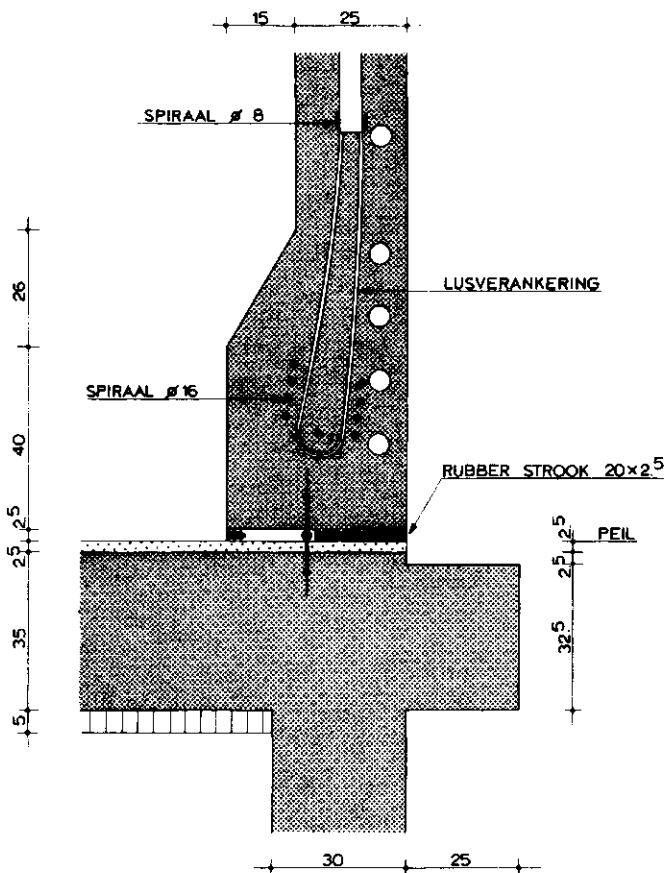
1. zettingsvrije constructie vereist, ook voor stalen reservoirs;
2. repetitievoordeel groter bij betonnen reservoirs dan bij stalen reservoirs;
3. geen onderhoud bij betonnen reservoirs;
4. architect heeft in het kader van ontwerp pompstation te Driel voorkeur voor schoon beton.

3. Bouw van 3 onbeklede betonnen reservoirs van 3000 m³

Bij een betonnen waterreservoir dat onbekleed dient te blijven zal men rekening moeten houden dat ondanks optredende temperatuurspanningen een waterdichte constructie gewaarborgd blijft. Indien daarbij in aanmerking wordt genomen dat voor de reservoirs de cilinder-

Afb. 4 - Doorsnede A-A.





Afb. 5 - Aansluiting bodem-wand.

vorm is gekozen, zal men al direct voorspanning overwegen.

De reservoirs hebben een diameter van 26,50 m inwendig en een hoogte van 6 m, hetgeen een netto inhoud van 3000 m³ geeft. Gekozen is voor een constructie waarbij het dak niet op de wand doch alleen op kolommen rust. De bodem, het dak en de kolommen zijn gewapend met normaal staal. De wand bestaat uit een in 2 richtingen voorgespannen cilinderschaal. Voor de voorspanning is het systeem Freyssinet gekozen. Voor de details bodem-wand en dak-wand zie afb. 5 en afb. 6. De reservoirs in Driel en Holk zijn gefundeerd op een grondverbetering, in Zoelen zijn palen toegepast.

3.1 Voorspanning

Bij een wand van een cilindervormig reservoir, alleen belast op waterdruk, kan de horizontale ringtrekkracht berekend worden met de „ketelformule” $T = \gamma \cdot R \cdot h$, als R de straal en h de hoogte van de waterspiegel voorstelt. T is maximaal bij de bodem en 0 bij het dak, de bekende driehoeksbelasting. De benodigde voorspanning hiervoor laat zich gemakkelijk berekenen. Indien in een schaal temperatuurverschillen kunnen ontstaan, zullen deze niet

omgezet kunnen worden in krommingen. Daardoor zullen toegevoegde trek- en drukspanningen ontstaan, die kunnen worden berekend met

$$\sigma \Delta t = \frac{1}{2} \alpha_t \cdot E_b \cdot \Delta t \text{ (in 2 richtingen).}$$

Hierin is:

α = lineaire uitzettingscoëfficiënt (°C⁻¹)

E_b = elasticiteitsmodulus (kg/cm²)

Δt = temperatuurverschil (°C)

In het onderhavige geval zijn verder de volgende gevallen welke temperatuurverschillen kunnen veroorzaken nader in beschouwing genomen:

- wisselende zonnestand;
- door wisselende waterstand binnen;
- afdekken in een later stadium van een deel van de buitenzijde door aansluitende gebouwen.

Bij de formule voor temperatuurspanningen is uitgegaan van een oneindig lange cilinder. Omdat de bodem en het dak losgehouden zijn, zullen de temperatuurspanningen in verticale richting daar ter plaatse niet kunnen optreden, hetgeen tot gevolg heeft, dat op deze plaatsen nog eens extra horizontale trek- en drukspanningen zullen optreden, die in het onderhavige geval $\pm 35\%$ bedra-

gen. Bij de keuze van de voorspanning is ervan uitgegaan, dat in het ongunstigste geval een scheurdiepte van 4 cm kan optreden.

Tengevolge van de verschillende condities binnen-buiten zullen tevens spanningen optreden door het verschil in krimp. Met name in de periode wanneer nog niet gespannen is, dient hier ook terdege op gelet te worden.

Uit overwegingen hiervoor genoemd, is de voorspanning gekozen zoals deze in afb. 7 en 8 is weergegeven. De horizontale kabels zijn over 180° gespannen, voor de verticale voorspanning is een blinde verankering toegepast (zie afb. 9 en 10). De voorspanpananten zijn zo aangepast, dat een open hemelwaterafvoer is ontstaan (afb. 11).

3.2 De uitvoering

Bij de bespreking wordt buiten beschouwing gelaten de uitvoering van de fundering en het maken van bodem en dak, omdat hier geen bijzondere constructies of uitvoeringsmethoden zijn toegepast.

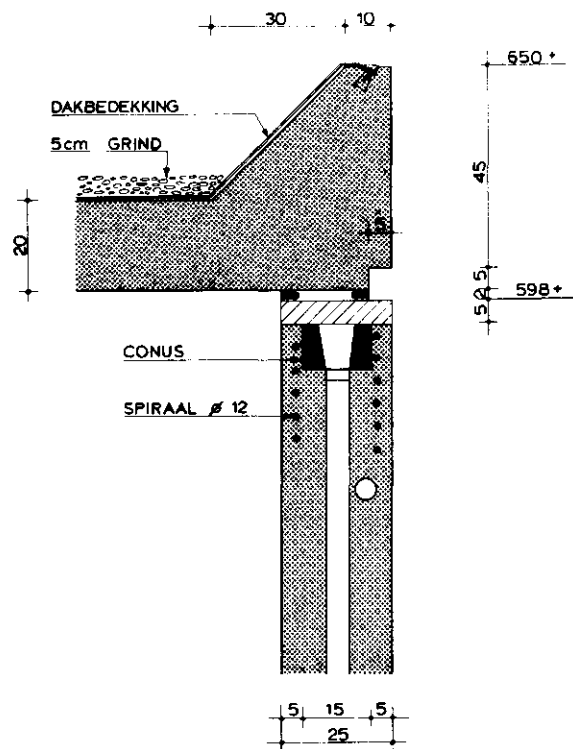
Voor de bekisting van de wand is gebruik gemaakt van een systeembekisting, mede omdat deze meerdere malen kan worden toegepast. Zoals ook op afb. 12 is te zien, worden de centergordingen gevormd door tralieliggers, die rond kunnen worden gesteld. Deze zgn. Fix-Flexdragers zijn onderworpen aan een proefbelasting, waaruit bleek, dat met een stijghoogte van de beton van 0,5 m per uur de spanningen en vervormingen binnen de daarvoor gestelde normen bleven. De afb. 13 en 14 geven een overzicht van de bekisting.

In afb. 15 is nog te zien, dat de voorspanomhullingen beschermd zijn tegen eventuele beschadigingen door de tralnaalden, die in het algemeen van bovenaf werden ingelaten. Het storten van de wanden heeft plaatsgevonden met 2 mobiele kranen.

In verband met de hoogte van 6 m zijn stortkokers gemaakt, die tussen de wapening ingelaten konden worden. Bij de eerste wand traden ernstige moeilijkheden op bij het storten, die geleid hebben tot de volgende wijzigingen om de uitvoering te vergemakkelijken:

a. betreffende de constructie:

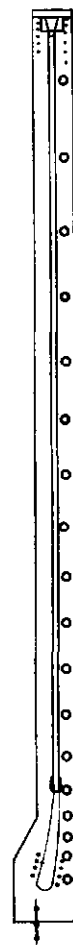
- de wanddikte werd vergroot van 25 tot 27 cm;
- de maaswijdte van de wapening werd vergroot door toepassing van grotere diameters;
- de haken aan de bovenzijde van de verticale wapening werden weggelaten; inplaats daarvan werden haarspelden toegepast;
- een sponninglat met een diepte van 5 cm, die diende om een sponning te formeren voor de aansluiting met het toekomstige pompstation, werd vervangen door een in te storten profiel van geringere afmetingen;



Afb. 6 - Aansluiting dak-wand.



Afb. 7 - Schema voorspanning.



Arb. 8 - Schema voorspanning.

b. betreffende de bekisting:

aan de binnenzijde van de wandbekisting werden 2 rijen inspectieluiken aangebracht om meer licht te krijgen, een betere controle tijdens het storten te hebben en om de mogelijkheid te hebben, waar nodig, extra te trillen (afb. 13);

c. betreffende de betonsamenstelling:

de maximale korrel van het grind werd vastgesteld op 15 mm en omdat de vereiste drukvastheid K 300 bedroeg, werd i.p.v. 325 met 350 kg hoogovencement per m³ beton gewerkt.

Tevens werd van de oorspronkelijk toegepaste stalen kokers het onderste deel

vervangen door een flexibele slang, waardoor het gewicht van de stortkokers minder werd.

Al deze maatregelen hebben ertoe geleid dat het storttempo aanzienlijk kon worden verhoogd. Het aantal mensen, dat zich direct met het storten bezighield bedroeg 24, verdeeld over 2 ploegen. De wand werd zonder stortnaden uitgevoerd, waardoor in Holk 22 uur, in Driel 18 uur en in Zoelen 16 uur continu werd gestort.

In het mengsel is per m³ beton 350 kg hoogovencement toegepast. Bij het voorspannen zijn eerst de verticale kabels gespannen en daarna de horizontale. In verticale zin is voor de horizontale voorspanning de volgorde zodanig ge-

kozen, dat geen trekspanningen in verticale richting opgewekt zouden worden. Afb. 16 geeft een beeld gedurende de spanwerkzaamheden. De techniek van het voorspannen is trouwens zodanig ontwikkeld, dat dit niet meer als iets bijzonder beschouwd hoeft te worden. Uiteindelijk zijn een 3-tal wanden tot stand gekomen die zowel constructief als wat aanzien betreft volkomen aan het beoogde doel beantwoorden.

Afb. 17 toont het gereedgemaakte reservoir te Holk.

3.3 De beproeving

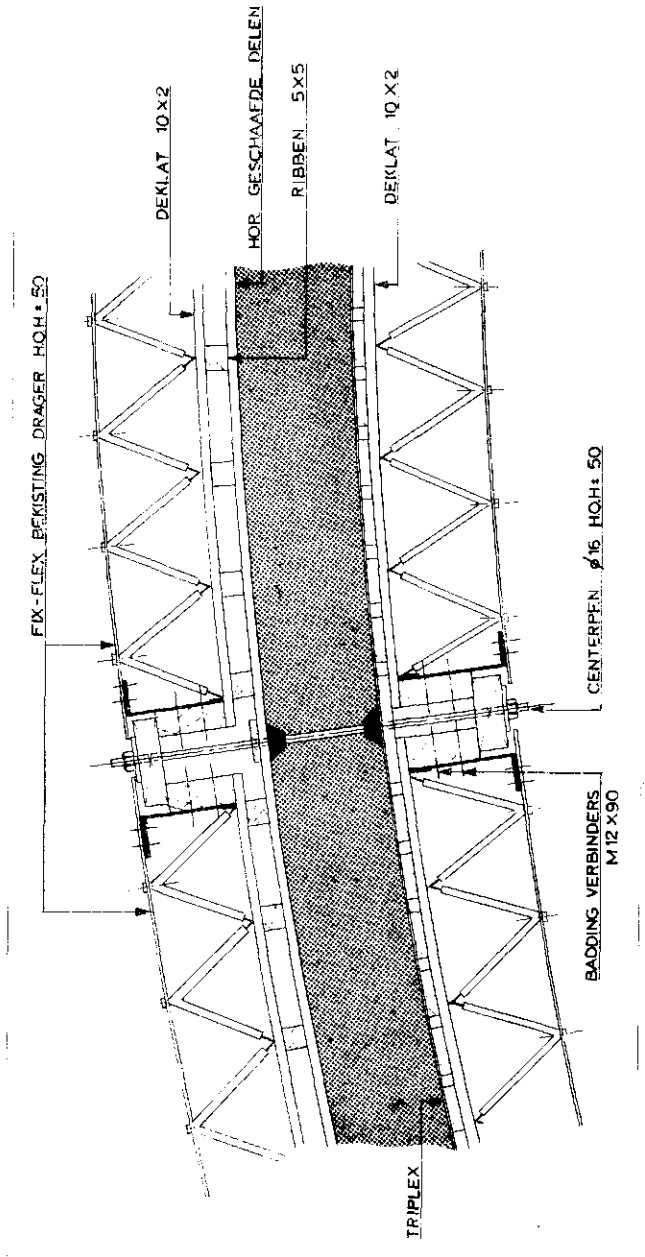
Nadat het reservoir gereedgemaakt is, wordt het grondig schoongemaakt en van binnen met chloorwater schoon-



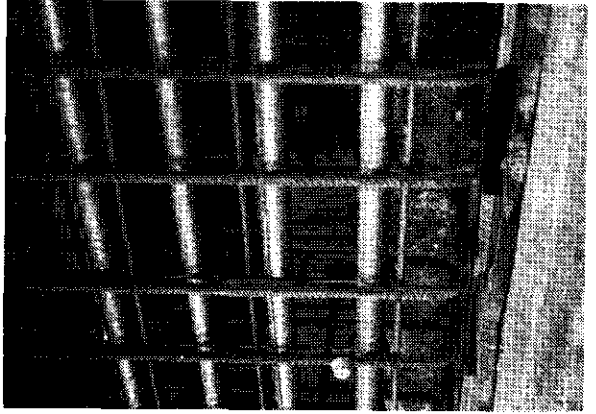
Afb. 11 - Aanzicht van één der voorspanningen.



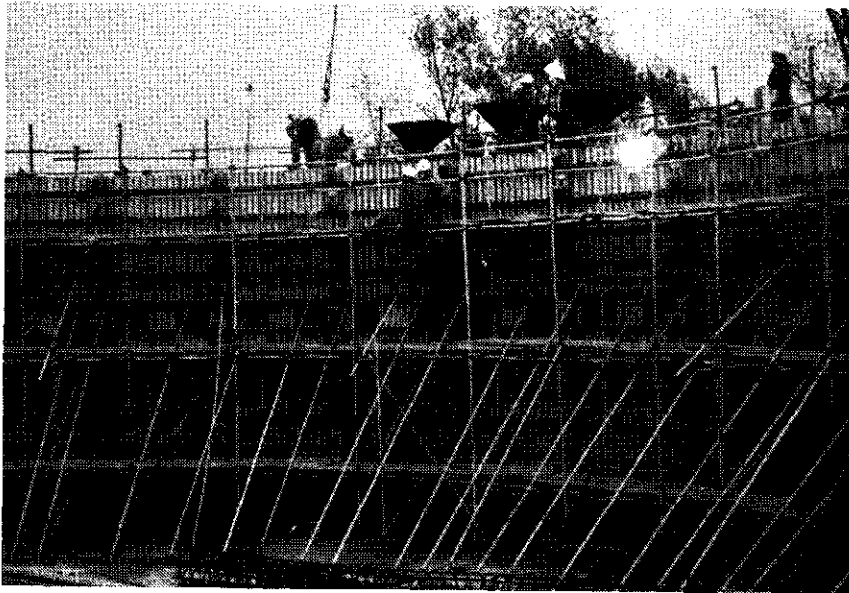
Afb. 9 - Detail horizontale voorspanning.



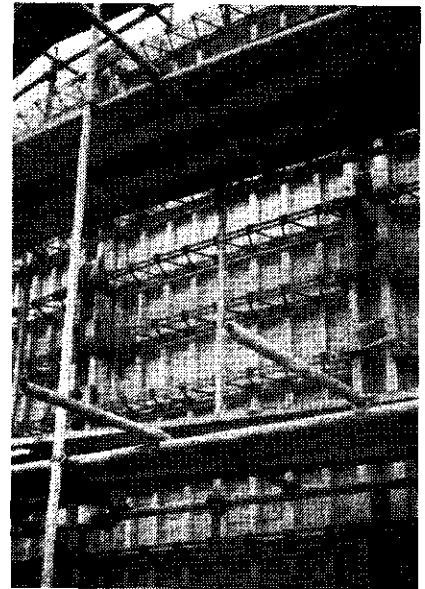
Afb. 10 - Blinde verankering van verticale voorspankabels.



Afb. 12 - Systeem wandbekisting.



Afb. 13 - De wandbekisting.



Afb. 14 - Detail wandbekisting.

gespoten. Daarna volgt de proefvulling ter controle van de waterdichtheid. Eventuele kleine lekkages kunnen tegenwoordig snel en duurzaam worden gedicht met behulp van kunstharsmortel, die onder hoge druk wordt geïnjecteerd.

Aangezien bij onbeklede reservoirs de beproeving de laatste uitvoeringshandeling is, kan het reservoir direct daarna

in gebruik worden genomen, uiteraard nadat het drinkwater op chemische en bacteriologische kwaliteit is gecontroleerd en goedgekeurd.

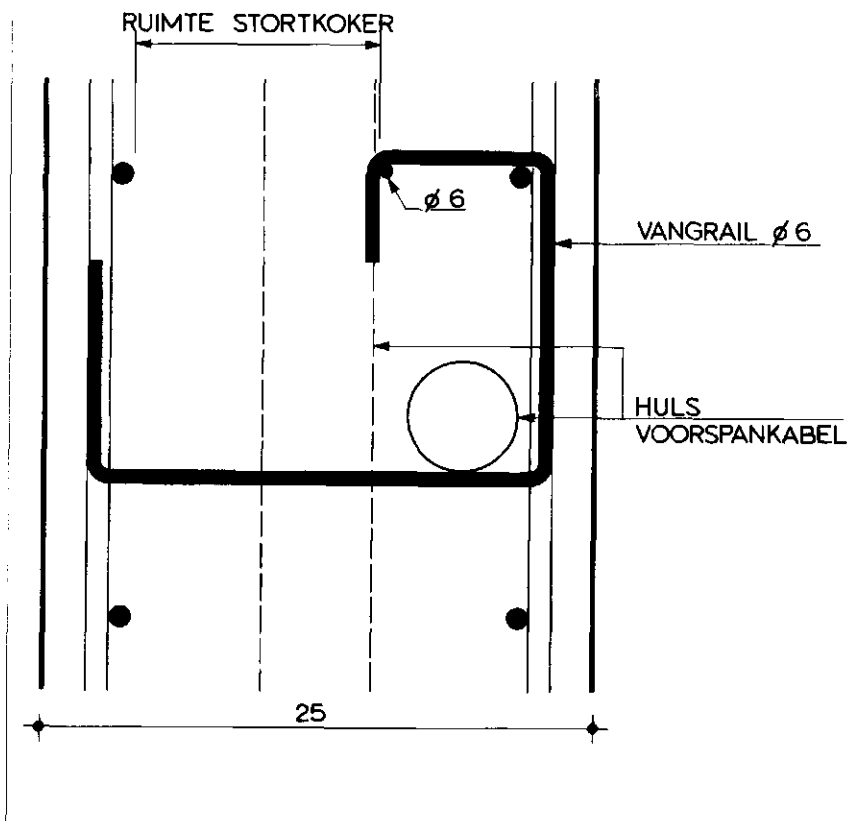
4. De uitvoering van doorvoerstukken benodigd bij het aansluiten van het reservoir op de installaties in 't pompstation

De voorspanning van de wand maakte

het onmogelijk om grote doorvoerstukken in de wand in te storten, zodat daarvoor alleen de bodem- en dakplaat konden worden benut. De doorvoerstukken zijn gedimensioneerd op basis van de te verwachten capaciteit van de te bouwen definitieve pompstations. Voor het reservoir Driel zal hierop wat verder worden ingegaan.

De productiecapaciteit van het pompstation te Driel zal in eerste aanleg 2000 m³/h bedragen, terwijl een uitbreidingsmogelijkheid naar 4000 m³/h eenvoudig gerealiseerd kan worden. De doorvoerstukken zijn gedimensioneerd op een productie van 2000 m³/h, omdat uitbreiding van de productie pas zal plaatsvinden nadat meer reservoirs gebouwd zijn.

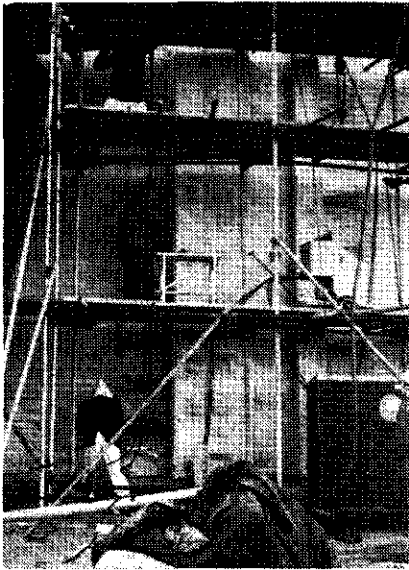
Afb. 15 - Detail wandwapening met bescherming voorspanomhullingen.



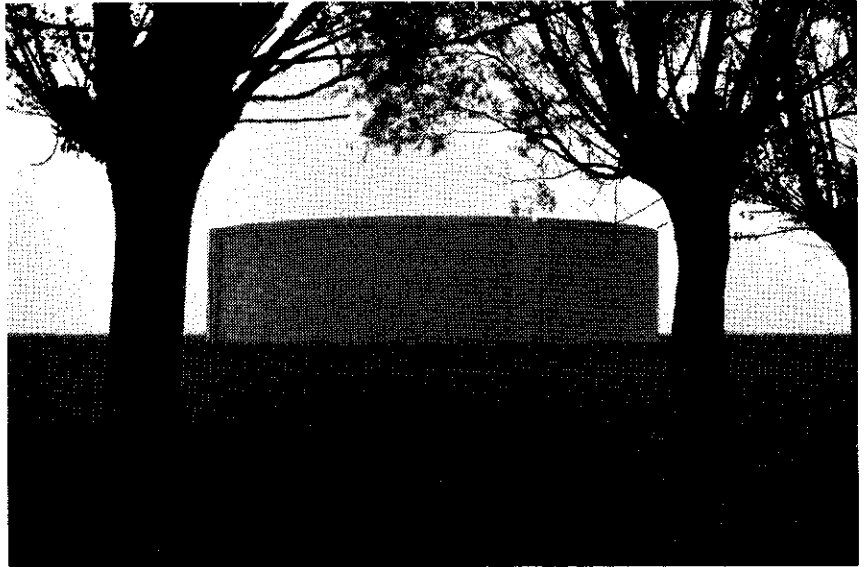
4.1 Bodemdoorvoerstukken reservoir Driel

Afgezien van enkele meet- en monsterleidingen zijn er 4 belangrijke bodemdoorvoeringen: de vulling (Ø 800 mm), de zuigleiding (Ø 1000 mm), de overstortleiding (Ø 800 mm) en de leegloop (Ø 400 mm).

Zolang het definitieve pompstation nog niet gereed is, wordt de leegloop tevens gebruikt als tijdelijke vul- en zuigleiding. Afb. 18 geeft een overzicht van de genoemde doorvoerstukken tijdens het stellen in de bekisting. De vulling wordt voorzien van een injectiepijp (Ø 500 mm) waardoor het water met een snelheid van ca. 3 m/s het reservoir binnenkomt (afb. 19). De energie van het instromende water houdt de watermassa in het reservoir voortdurend in beweging. Modelonderzoekingen van Reitinger [3] hebben aangetoond dat deze werkwijze voldoende is om een goede doorstroming te verkrijgen en te voorkomen dat „dode” hoeken met stilstaand water ontstaan. Tevens bleek uit het genoemde onderzoek, dat de meest gunstige plaats



Afb. 16 - De voorspanning wordt aangebracht.



Afb. 17 - Het gereedgekomen reservoir bij Holk.

voor de zuigleiding direct naast de vulleiding is gelegen.

De constructie van de zuigmond is crop gericht om luchtaanzuiging zo lang mogelijk te voorkomen. Meegezogen lucht kan zich verzamelen in het huis van de centrifugaalpomp waardoor bedrijfsstoringen ontstaan. De zuigmond heeft een verwijd gedeelte om de introdiesnelheid laag te houden en tevens is er een dubbele kam op geplaatst om draaikolkwerking tegen te gaan.

In de praktijk betekent een goede dimensionering van de zuigmond, dat het reservoir tot een lager niveau kan worden leeggepompt ofwel: de nuttige inhoud wordt groter.

De overstortleiding heeft een trechtervormige inlaat waardoor de lengte van de overlaat ($2\pi r$) wordt vergroot. De afvoer over een cirkelvormige overlaat wordt beschreven door de formule [4]:

$$Q = \frac{4\pi r}{3} \mu h^{3/2} \sqrt{2g}$$

waarin:

Q = afvoer (m^3/s)

r = straal van cirkelvormige overlaat (m)

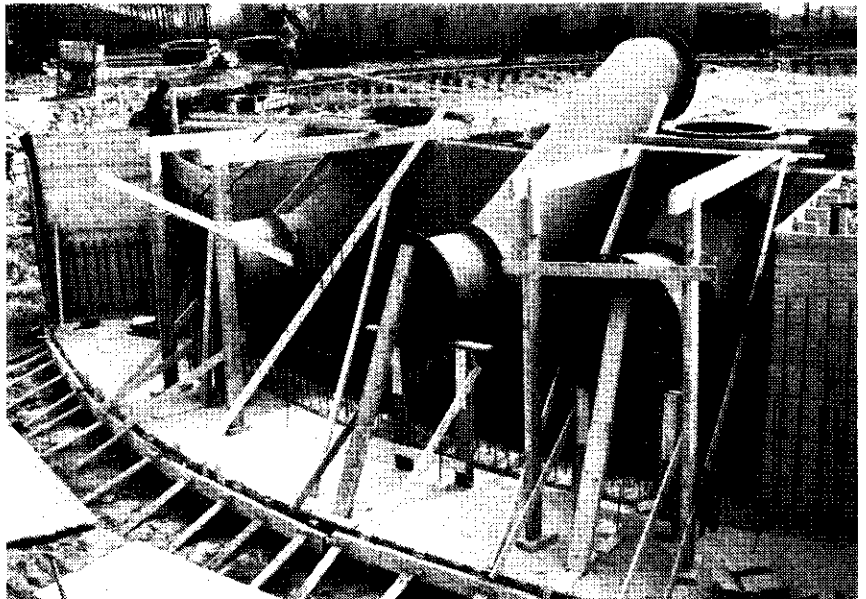
g = versnelling zwaartekracht (m/s^2)

μ = afvoercoëfficiënt

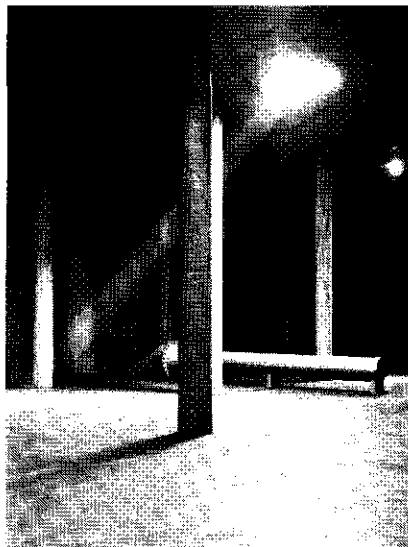
h = hoogte overstortende straal boven de overlaat (m)

De afvoercoëfficiënt μ zal afhankelijk van de constructie van de overlaat variëren tussen 0,5 en 0,8 [5]. De trechter is voorzien van een enkele kam om kolkwerking tegen te gaan. Al deze voorzieningen hebben tot doel de benodigde hoogte h van de overstortende straal te beperken en daarmee de nuttige inhoud van het reservoir te vergroten.

4.2 Dakdoorvoerstukken reservoir Driel
De dakdoorvoerstukken bestaan uit een



Afb. 18 - De bodemdoorvoerstukken tijdens het stellen in de bekisting.



Afb. 19 - Vul- en overstortleiding in het reservoir. (foto: du Parant - Dordrecht)

mangat ($\varnothing 800$ mm), een doorvoerstuk ($\varnothing 1200$ mm) voor het transport van grote stukken en 4 ontluchtingen ($\varnothing 250$ mm). Op de ontluchtingen worden filterkappen geplaatst, waarin zo nodig filterwatten kunnen worden opgenomen.

5. Nabeschouwing

Op grond van uitgebreide calculaties en de inmiddels opgedane ervaringen, kan t.a.v. de constructievormen van de hiervoor beschreven reservoirs het volgende worden opgemerkt:

- a. onbeklede voorgespannen betonnen reservoirs cilindervormig uitgevoerd en met een netto inhoud van $3000 m^3$ zijn niet of nauwelijks duurder

dan niet voorgespannen reservoirs die worden aangeaard of van een isolerende bekleding zijn voorzien.

- b. Op een zettingsgevoelige bodem is een zettingsvrij betonnen reservoir goedkoper dan een zettingsvrij stalen reservoir.
- c. Het uitvoeren van dergelijke betonwerken, die in het algemeen relatief vrij gering van omvang zijn, vereist veel ervaring en kennis, zowel wat betreft de betontechnologische- als de uitvoeringstechnische kant van de zaak.

De volgende hoeveelheden zijn per reservoir verwerkt:

voorspanstaal	8000 kg
voorspanstaal	8.000 kg
wapening Fe B 40	54.000 kg
hulpijzer	5.500 kg
repeterende wand en dakbekisting	1.700 m ²

De kosten per reservoir hebben bedragen: f 370.000,— op prijspeil begin 1971 en excl. fundering en toegangswegen naar de bouwplaats.

De architectuur van de reservoirs, die mede verband hield met het te bouwen pompstation te Driel, is verzorgd door het Architectenbureau Brouwer en Deurvorst te Arnhem.

De constructie van de reservoirs was in handen van het Adviesbureau voor Bouwtechniek NV te Arnhem.

De reservoirs zijn uitgevoerd door Visser en Smit's Aanneming-Maatschappij NV te Papendrecht.

Literatuur

1. Horstmeier, A. J. N., Simhoffer, J. H. *De bouw van stalen reservoirs*. Water 49 (1965) blz. 355-361.
2. Simhoffer, J. H. *Conservering van stalen reservoirs bestemd voor de opslag van drinkwater*. H₂O 2 (1969) blz. 390-397.
3. Reitinger, J. *Sirömungsvorgänge in Trinkwasserbehältern*. Gas/Wasser/Wärme 23 (1969) nr. 2 blz. 33-39.
4. Franke, P. G. *Abfluss über Wehre und Ueberfälle*. Abriss der Hydraulik dl 4, Bauverlag Wiesbaden und Berlin (1970).
5. Binnie, W. J. *Belmouthed weirs and tunnel outlets for the disposal of flood water*. Water and Water Engineering 39 (1937) blz. 335-349.