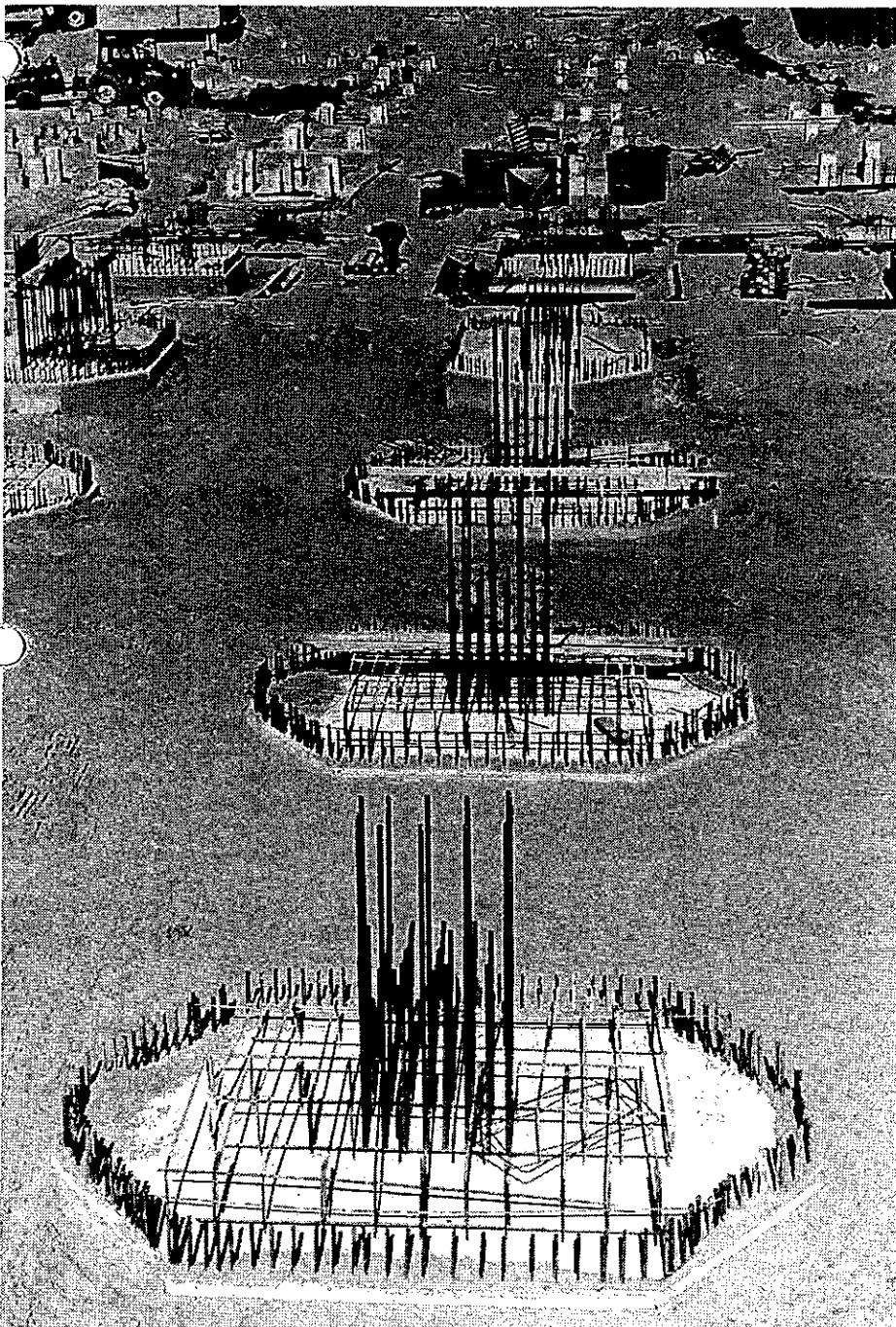


De draagconstructie van de KB Het betonskelet met enkele aanvullingen in staal

In dit artikel wordt een overzicht gegeven van de overwegingen die tot de gevolgde constructiewijze hebben geleid. Naast de belangrijkste facetten van de betonconstructie, zoals die voor de verschillende gebouwonderdelen van de Koninklijke Bibliotheek zijn toegepast, wordt aandacht besteed aan de fundering op palen en de incidentele staalconstructies voor daklichten en dakopbouwen. Apart worden ook facetten als dilataties en maattolerantie besproken.

Fundering van de kelder.



Voor een constructeur is een gebouw altijd iets anders dan voor een architect, en helaas ook een veel 'drogere' zaak. Een constructeur probeert de ontwerpgedachte van de architect kritisch te volgen en tracht door het tonen van varianten een passende rationele draagconstructie te ontwerpen. De architect kan aan de hand daarvan zijn oorspronkelijke algemene gedachten over het ontwerp meer specificeren en kan rekening gaan houden met de limieten die kunnen voortvloeien uit de eisen van een rationele constructie. Na alle discussies over de mogelijkheden om het ontwerp te realiseren, bekijkt de constructeur vervolgens de gezamenlijk gekozen constructie meer in detail in verband met de

ir. F.C. van Erp

eisen van sterkte, stijfheid en stabiliteit. Daar moeten zowel de totale constructie als de onderdelen aan voldoen.

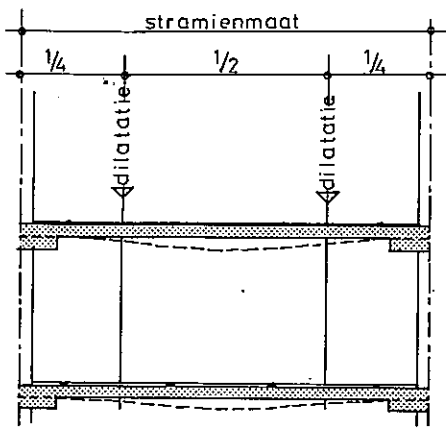
Bij het kiezen van een rationele constructie spelen meestal verschillende factoren mee zoals: materiaalkeuze, stramienmaten, afmetingen, funderingswijze (met eventuele bemalingsproblematiek van de bouwput). Mogelijk zijn er nog wat specifieke details (bijvoorbeeld de gevels) en bovendien doen zich altijd nog twee belangrijke zaken voor, namelijk:

- de beschouwing van de bouwkundige afwerking in relatie tot de aard van de constructie en het te verwachten gedrag daarvan;
- de eventuele bouwfysische problemen die moeten worden gezien en die kunnen optreden zowel in onderdelen als in het grote geheel van het totale bouwwerk.

De bij de Koninklijke Bibliotheek gekozen balkloze vloer heeft een groot voordeel ten opzichte van de vroeger meer toegepaste balkenvloeren: het levert een grote vrijheid voor het plaatsen van de installaties. Ook vergt het een minimale constructiehoogte en dus minder gevel en minder aantal m³ ombouwde ruimte.

Wel kan het ontbreken van een zichtbare structurering in het plafond van een vloer zonder balken als een nadeel voor de vormgeving van de ruimte beschouwd worden. Een ander nadeel is, dat de vrij slappe vloeren doorbuigen en kruipverschijnselen vertonen, waardoor de definitieve doorbuiging pas in de loop van de tijd wordt bereikt en mede afhankelijk is van de aard van de nuttige belasting. Het zonder meer plaatsen van gemetselde binnenmuren kan daardoor op den duur leiden tot schade aan deze binnenmuren door scheurvorming. Aparte voorzieningen zijn nodig om deze scheurvorming te verhinderen, zie figuur 1.

Ir. F.C. van Erp is directeur van Raadgevend Ingenieursbureau Aronsohn BV te Rotterdam.



1. Dilatatie van de gemetselde binnenwanden.

De wens van de architect om geen dilatatievoegen in de afzonderlijke gebouwdelen van de KB toe te passen, is een karakteristiek voorbeeld van een specifiek bouw fysisch probleem. We komen daar nog op terug.

Hoofdzaken constructie

Bij het gebouwencomplex van de Koninklijke Bibliotheek gaat het, vanuit de visie van de constructeur, in feite om vier afzonderlijke gebouwen, namelijk de bibliotheek, het institutenblok, het dienstgebouw en de aula. Door de aard van de volume- en massaverhoudingen van deze onderdelen in het hele complex ligt het voor de hand dilatatievoegen te maken tussen deze onderdelen. Daardoor werken ze als afzonderlijke bouwlichamen. Constructief gezien hebben deze vier bouwdelen gemeen dat als hoofdconstructie gekozen is voor een betonskelet met vlakke plaatvloeren en kolomkoppen. Plaats en afmetingen van de kolommen volgden consequent uit het gebruik van de ruimte zoals de architect zich die had gedacht. Het geheel bleek bij het opstellen van prijsvergelijkingen te voldoen aan de wens om een economische constructie tot stand te brengen.

3. Het sonderingsplan.

Voor diverse onderdelen, gelegen op de hoger gelegen verdiepingen, werd toepassing van een staalconstructie geprefereerd, bijvoorbeeld voor het ketelhuis en de lichtkappen.

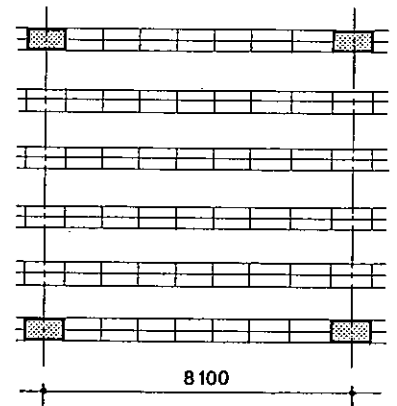
Het kolomstramien van bibliotheekblok en institutenblok werd bepaald op $7,650 \times 8,100$ m met toepassing van een vlakke plaatvloer, dik 270 mm met kolomkoppen groot $1,800 \times 1,950$ m, dik 450 mm.

De kolommen hebben op alle vloeren dezelfde maat van $0,600 \times 1,050$ m gekregen (behoudens enige secundaire kolommen die lichter konden worden). Deze kolommaat vloede, in combinatie met de stramienmaat, voort uit de wens tot een zo economisch mogelijk gebruik van de ruimte. Een economisch gebruik van de ruimte eiste namelijk inpassing van de kolommen in het maatsysteem van de toe te passen stellingen, waarin de boeken worden geplaatst.

De goed isolerende, vrij zware gevels van metselwerk, verstijfd met prefab-kolommen, zijn geplaatst op overstekende vloergedeelten, die ca. 2,100...2,700 m uitsteken buiten de hartlijn van de kolommen. De nuttige vloerbelasting waarmee werd gerekend, bedraagt 10 kN/m^2 (inclusief vloerafwerking). Het dienstenblok en de aula zijn in principe op dezelfde wijze geconstrueerd; ten gevolge van de scheve aansluiting aan het metroviaduct werden ronde kolommen $\varnothing 600$ mm bijgeplaatst (in een stramien van $3,825 \times 7,650$ m).

Stabiliteit

De stabiliteit van de afzonderlijke bouwdelen wordt gewaarborgd door stijve kernen. Bij de aula kon de stijve kern niet centrisch worden



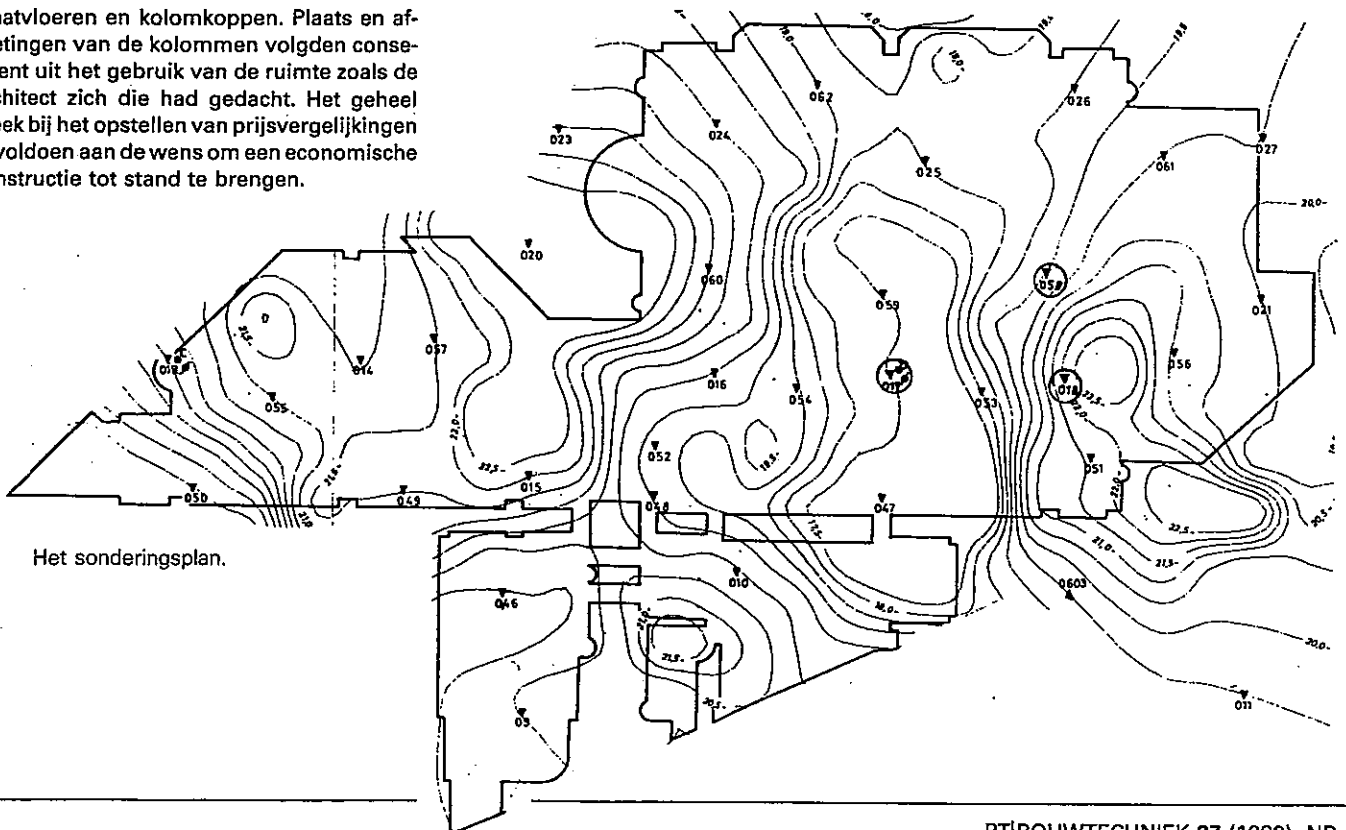
2. De inpassing van de kolommen in een vak met boekstellingen.

geplaatst en daarom is daar een aanvullende stijfheid ontleend aan de spanten. Er is hier, ondanks de plaatvloer, toch sprake van spantwerking, doordat de gevelkolommen op afstanden van 3,825 m konden worden geplaatst.

Fundering

De gekozen funderingswijze houdt nauw verband met het grondonderzoek. Over de uitgebreide oppervlakte van het gebouwencomplex vertoont de grondslag een zeer homogeen beeld, ondanks wat variaties in hoogten: vanaf maaiveld tot circa NAP $-13,00$ m een goed waterdoorlatende zandlaag met daaronder een dichte kleilaag variërend van 1,500...3,000 m dikte. Beneden de kleilaag bevindt zich zeer vast zand.

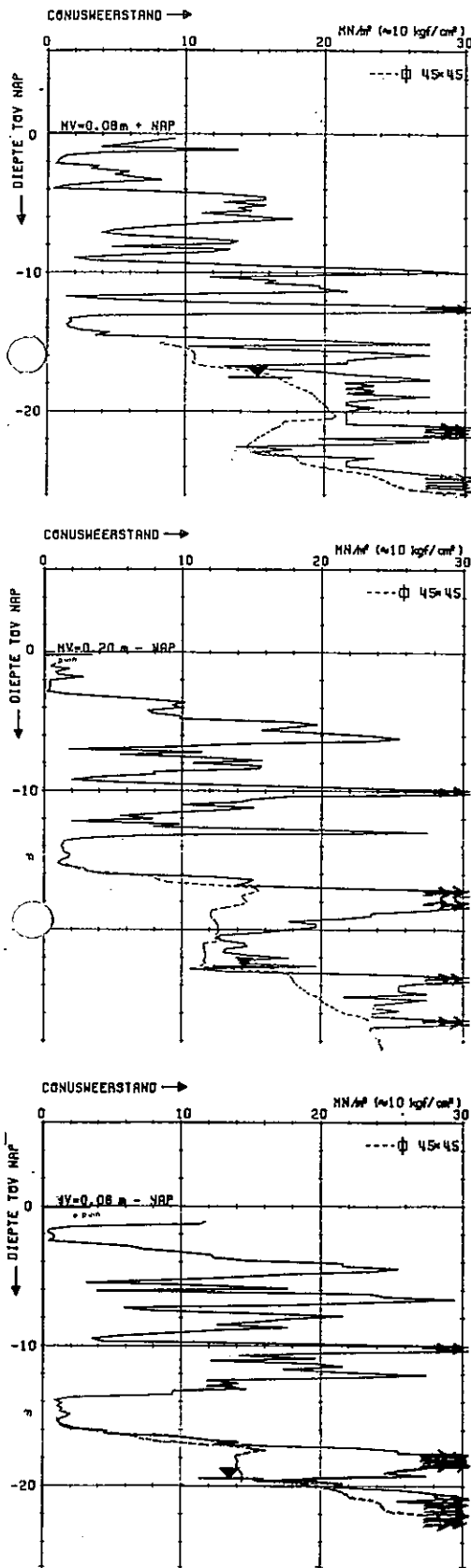
Er is nog even gedacht aan een fundering op staal. Gezien de dikte van de bovenste zandlaag zou dat wel mogelijk geweest zijn, maar



op den duur zouden zich zakkingsverschillen gaan manifesteren tussen de verschillende gebouwen door:

- de variatie in dikte van de kleilaag en

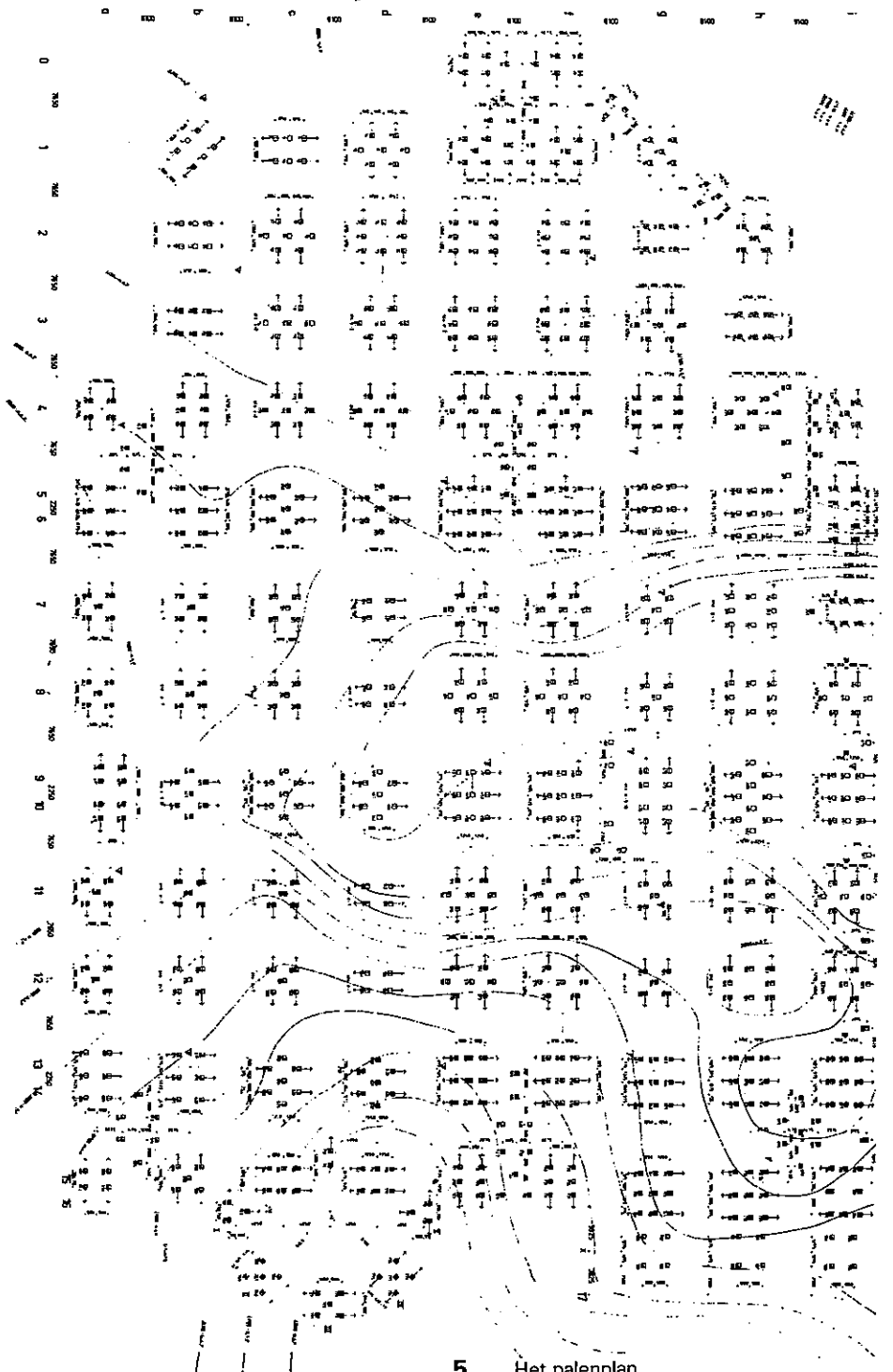
4. Drie verschillende sonderingen (018, 017 en 058).



- de variaties in gebouwhoogte. Daarom is gekozen voor een paalfundering met paalpunten geplaatst in de diepe zandlaag.

Bij de aanbesteding is de prijs gevraagd voor de toepassing van zowel in de grond gemaakte palen als voor prefab-palen. Daarbij bleek de fundering met prefab-palen de goedkoopste en deze is toegepast. De palen variëren nogal in lengte. Het Laboratorium voor Grondmechanica, dat het grondonderzoek heeft verricht, heeft via een computerprogramma de hoogtelijnen van de vermoedelijke puntdiepten aangegeven. Tijdens de

uitvoering bleek dit heel goed te kloppen. De palen zijn gladde voorgespannen prefab-palen (voorspanning 5,7 N/mm²) met een schacht van 450 x 450 mm en een toegelaten nuttig draagvermogen van 1500 kN. Bij de berekening van dit nuttig draagvermogen is de opwaartse druk van water op de kelder niet in aanmerking genomen. Dit was een eis van de gemeentelijke dienst Bouw- en woningtoezicht, die wij nogal zwaar vonden. Naar mijn mening was ook 1750 kN nog wel verantwoord geweest, dat wil zeggen een maximale druk van 8,7 N/mm² op het beton van de paal (kwaliteit B 52) voor het extreme geval dat door toekomstige bemalingen in de



5. Het palenplan.

omgeving inderdaad tegelijk geen waterdruk op de keldervloer zou werken. De palen zijn niet alleen voorgespannen met het oog op transport, maar ook om tijdens het helen de te grote trek op te kunnen vangen, die optreedt na het plotseling doorschieten door de eerste zandlaag.

Kelder

De kelder onder bibliotheek en institutenblok (en onder een klein deel van het dienstenblok) is twee verdiepingen hoog, en zit dus diep in het grondwater. Gezien de bezorgdheid van de opdrachtgever voor lekkages en daaruit voortvloeiende schade aan kostbare boekwerken, werd in het ontwerp stadium

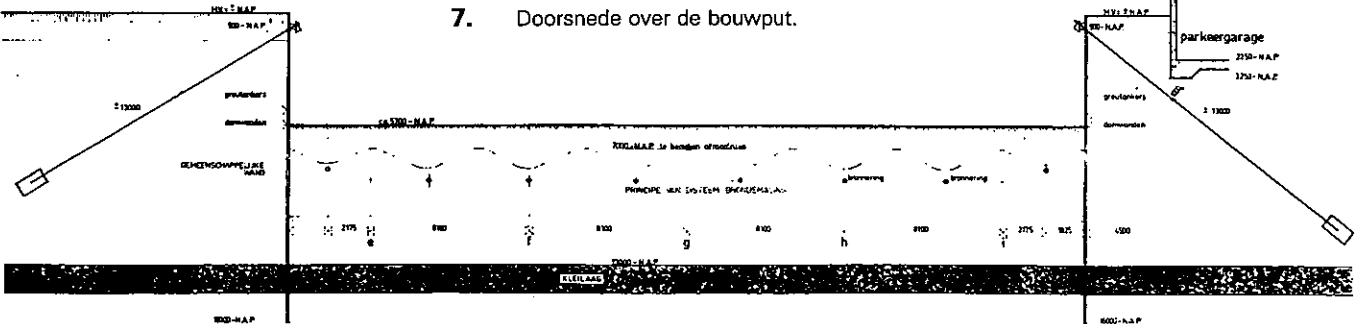
voorgesteld een dubbele kelderwand te maken, zodanig dat tussen de twee wanden een looppad zou overblijven als inspectieruimte en als barrière. Dit was echter niet haalbaar, gezien het programma van eisen; er zou te veel opslagruimte verloren gaan. Er is dus toch een enkele kelderwand toegepast, waarin zogenaamde schijnvoegen werden gemaakt h.o.h. ca. 3,800 m. Dat wil zeggen er zijn door het niet laten doorlopen van de horizontale wapening en het maken van spoinningen, verzwakte doorsneden in de kelderwand ontstaan. De scheurvorming die in de kelderwand onherroepelijk zal optreden, ten gevolge van het krimpen van het verhardende en verharde beton, wordt nu geconcentreerd in

deze met opzet gecreëerde zwakke plaatsen. Aan de buitenzijde werden die grondig afgeplakt. Bovendien is de gehele kelderwand bekleed met foamglas (dat in bitumen is geplakt); dit is weer afgeplat met twee lagen glasvlies tussen drie lagen bitumen.

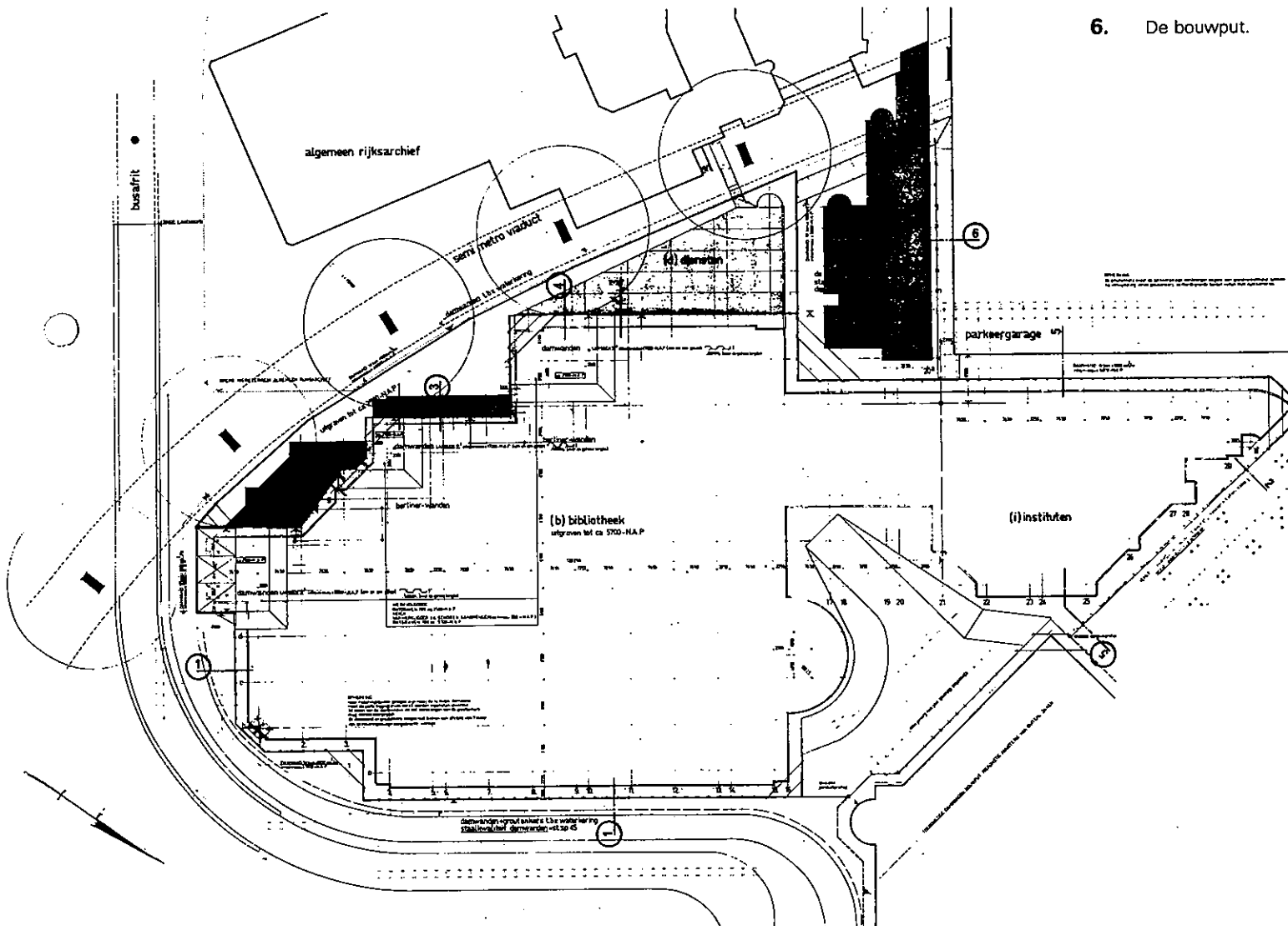
Bouwputbemaling

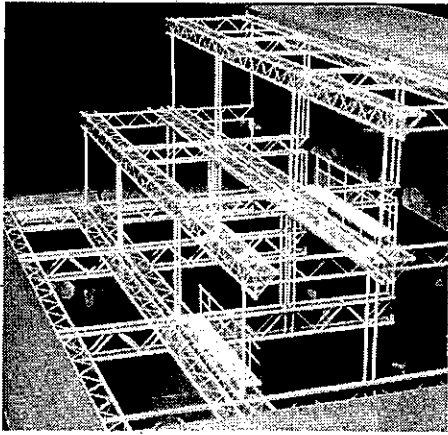
Om de kelder en fundering te kunnen uitvoeren, is in een bouwputbemaling voorzien binnen een gesloten stalen damwand. De damplanken reiken tot beneden de kleilaag, zodat een vrijwel gesloten 'kuip' is gemaakt waarbinnen kon worden gemalen. De diepte van de kelderaanleg is, gezien de beperkte totale bouwhoogte, uiteraard een

7. Doorsnede over de bouwput.



6. De bouwput.





8. Maquette van de staalconstructie voor de lichtkappen.



9. Enkele details van de lichtkappen.



punt van grondige discussie geweest. Dieper dan nu gerealiseerd, had in redelijkheid de kelder niet kunnen worden in verband met het gevaar van opbarsten van de putbodem. Bij nog diepere aanleg had het onder de kleilaag aanwezige overspannen water weggemalen moeten worden door een spanningsbemaling. Dat moest echter voor alles vermeden worden in verband met het verbod tot vervuiling van het diepe water en in verband met het verbod tot onttrekken van water aan de omgeving. Het peil van de putbodem werd aangegeven op circa NAP -5,700 m het peil van het water in de put op circa NAP -7 m. Alleen moest bijvoorbeeld bij diepgelegen liftputten, soms plaatselijk extra grond worden uitgegraven en extra water worden weggemalen.

De gesloten damwandkuip bestaat uit Larsenprofielen en is over het grootste deel nabij de bovenzijde verankerd door middel van

groutankers (hor. $T = 160 \text{ kN/m}^1$). Plaatselijk kon, ten gevolge van de geringere kelderdiepte en geringere keerhoogte, worden afgezien van verankering. Op de overgang van diepe kelder op ondiepe kelder werd een 'Berlinerwand' toegepast (verticaal HE 300 B h.o.h. 1,400 m met horizontaal daartussen hout $65 \times 165 \text{ mm}$).

Staalconstructie

Enige hoger gelegen delen zijn als staalconstructie uitgevoerd, namelijk de lichtkappen, de machinekamer en de leidingruppen. Dit zijn als het ware aparte gebouwtjes die hun stabiliteit ontleen aan het betonskelet. De lichtkappen zijn opgebouwd uit tralieliggers van ronde buizen. In wezen is het een vrij sim-

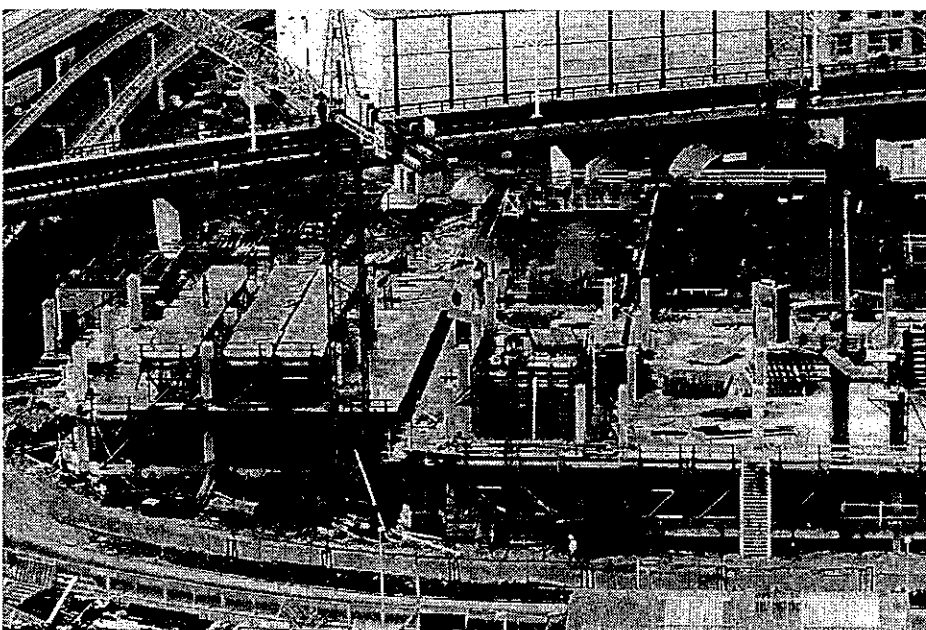
Vloer van de 1e verdieping met krimp- en stortstroken.

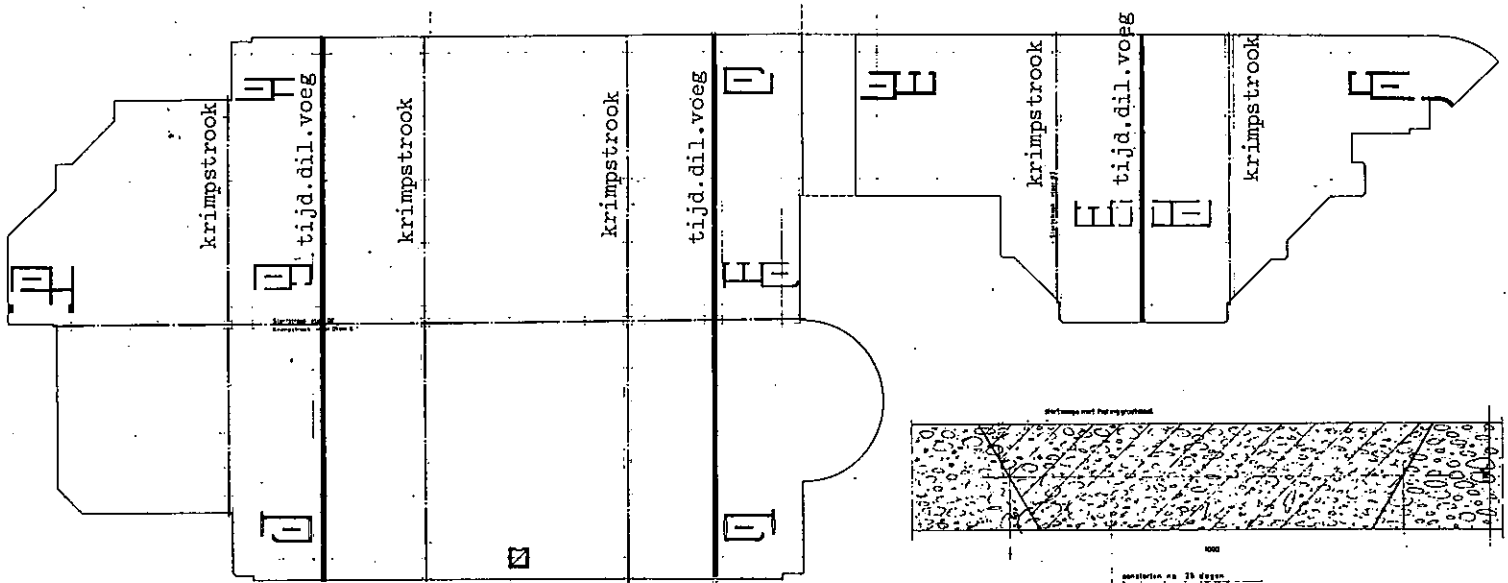
pel systeem van moer- en kinderbalken, voortvloeiend uit de vormgeving. De gevels van de machinekamer en leidingruppen zijn opgebouwd uit prefab-platen van grindbeton; grindbeton in verband met de benodigde massa voor geluidisolatie.

Dilataties

In de inleiding is al vermeld dat bouwfysische zaken altijd bij het ontwerp van een constructie mede in acht genomen moeten worden. Bij de KB waren er enige gebouwdelen met vrij grote afmetingen: het bibliotheekblok ca. $69 \times 107 \text{ m}$ en het institutenblok ca. $37 \times 78 \text{ m}$. Dus er moest worden gedacht over het aantal en de plaats van dilatatievoegen. De architect kon deze eigenlijk niet goed werken en verzocht ons te zoeken naar een bouwwijze waarbij geen dilatatievoegen zouden voorkomen in de afzonderlijke gebouwdelen. Daar werd ten slotte het volgende op gevonden.

Een gebouw als de KB, goed geconditioneerd, met een grote eigen massa en warmtecapaciteit, zal, als het eenmaal in gebruik is genomen, vrijwel geen lengteveranderingen meer ondergaan. Als men dilatatievoegen maakt, zijn die dus eigenlijk in hoofdzaak nodig tijdens het bouwen, omdat dan nog volop krimp moet kunnen plaatsvinden en de temperatuurwisselingen door klimaatwisselingen volop op de constructie inwerken. Vooral de seizoeninvloeden zijn daarbij van betekenis, want de gemiddelde zomer- en wintertemperatuur verschillen zoveel, dat daardoor het skelet over 107 m enige centimeters in lengte kan variëren. Daarom zijn, naast de gebruikelijke krimpstroken h.o.h. ca. 30 m , die na vier weken dichtgestort kunnen worden, in de vloeren *tijdelijke dilatatievoegen* gehouden, die in een zo laat mogelijk stadium worden dichtgezet (liefst na het glas- en waterdicht zijn van het gebouwdeel). De belangrijkste dilatatievoegen zijn die van de 1e verdieping. De begane grond plus kelder zullen





Overzicht van dilatatievoegen, krimp- en stortstroken.

namelijk altijd al die een vrij constante temperatuur hebben door het contact met de grond en het grondwater. De in afmeting vrij zware kolommen op de begane grond zijn 3,900 m hoog, dat wil zeggen, ze zijn vrij stijf en kunnen op deze korte hoogte nauwelijks horizontale verplaatsing van één der uiteinden verdragen. Het is dus dringend gewenst dat de 1e-verdiepingvloer vrij kan bewegen, althans zo vrij mogelijk, zonder het afgeven van grote horizontale krachten op de kolommen. Bij hogere verdiepingen is het probleem minder extreem, omdat alle betonvloeren vanaf de 1e verdieping toch wel min of meer gelijke temperatuurverschillen zullen ondervinden.

Door het toepassen van tijdelijke dilatatievoegen in bibliotheek en institutenblok ontbond echter een nieuw constructief probleem. Elk van deze gebouwen zou tijdens de bouw in delen worden gesplitst en elk deel zou in zichzelf stabiel moeten zijn. Bij het institutenblok leverde dat door de toevallige lokatie van de stijve kernen geen probleem: elke helft was daar op zichzelf stabiel. Maar de bibliotheek werd zo in drie delen gesplitst, zodat alleen de buitenste twee delen stabiel zijn. Het niet-stabiele middendeel werd daarom als het ware (in horizontale zin) 'opgehangen' aan de beide einddelen, door het maken van een vertanding in de vloer en daaraan zijn stabiliteit te ontlenu. Bovendien werden bij de bibliotheek enige stijve kernen tijdelijk slap gehouden in de 'korte' richting van het gebouw over de hoogte van begane grond en eerste verdieping, zodat lengteveranderingen ten gevolge van temperatuurwisselingen en krimp vrij zouden kunnen optreden. Dat 'slap'-houden is gebeurd door tijdelijk de kopwanden niet te storten en ze pas later aan te brengen. Door middel van uitvoerige berekeningen kon worden aangetoond dat in de uitvoeringsfase, zonder de nuttige last van 10 kN/m² op alle vloeren, toch de stabiliteit voldoende was gewaarborgd.

Toleranties betonconstructies

Het probleem van de toelaatbare toleranties in de afmetingen en plaats van te maken betonconstructies is in de laatste 15 jaar steeds beter onderkend. Vandaar dat in de VB 74 deel B een artikel is opgenomen waar de tolerantie in onderdelen wordt geanalyseerd, namelijk maatafwijkingen in fabricage, meetolerantie en plaatsingstolerantie. Daarbij worden voor normale constructies aan te houden waarden gegeven.

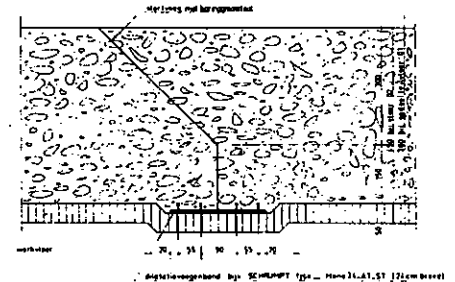
Voor bepaalde onderdelen kan de tolerantie zeer belangrijk zijn in verband met toe te passen bouwkundige afwerking of met het oog op een optimaal gebruik van het gebouw. Daarom werden voor de KB aparte eisen geformuleerd voor de prefab-gevelplaten en voor de kolommen groot 0,600 x 1,050 m. Voor de gevelplaten werd uitgegaan van de eisen die door de toe te passen voegenkit worden gesteld aan maximale en minimale voegbreedte.

Voor de kolommen werd uitgegaan van het volkomen realiseren van het ontwerpcriterium: betonkolommen passend in de stellingen voor boeken.

Voor het constructie-onderdeel wordt een maximale en een minimale maat gegeven die respectievelijk buiten en binnen de nominale afmetingen vallen. Verder wordt binnen en buiten de theoretische nominale maat en plaats een geschaduw gebied aangegeven, door stippellijnen begrensd, waarbuiten geen enkel punt van een zijvlak van de constructie mag vallen, zie figuur 13 en tabel 1.

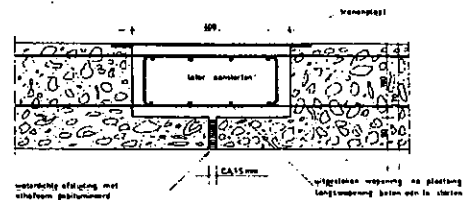
Tabel 1. Ter plaatse gestorte kolommen.

nominaal	maximaal	minimaal
600 x 1050	605 x 1055	595 x 1045
450 x 1050	455 x 1055	455 x 1045
600 x 600	605 x 605	595 x 595
300 x 600	305 x 605	295 x 595
300 x 450	305 x 455	295 x 445
Ø 800	Ø 805	Ø 795
Ø 600	Ø 605	Ø 595
Ø 400	Ø 405	Ø 395



11. Krimp- en stortstrook.

12. Dilatatievoeg.



13. Tolerantie van betonkolommen.

