

Constructieve en bouwfysische aspecten kantoorgebouwontwerp

door ir. A. J. de Boo

adjunct-directeur Raadgevend Ingenieursbureau Aronsohn b.v.



'Arnhem Staete' is een kantoorgebouw dat voor rekening van BOZ NV te Amsterdam werd gebouwd in Arnhem-Zuid. Het werd ontworpen door Vink VandeKuilen Klein B.V., Architectuur en Stedebouw te Amsterdam. Het gebouw is gefundeerd op palen. De constructie is voor een groot gedeelte uitgevoerd in geprefabriceerd gewapend beton; de lijfschachten, de noodtrappehuizen en de vloeren nabij de schachten werden ter plaatse gestort. De vloer van de dakopbouw werd, vanwege de grote uitkringen, uitgevoerd in voorgespannen beton. De gevel is opgebouwd uit geprefabriceerde, dragende elementen van gewapend beton. De verbinding van de op elkaar gestapelde gevel-elementen met de rest van het skelet vroeg om een aangepaste detaillering. Met behulp van een computer werden warmte- en vochttransmissieberekeningen gemaakt. Aan het kiezen van de juiste soorten kit werd veel aandacht besteed.

len is opgedragen aan de N.V. Schokbeton. Na de gunning van het totale werk aan Sanders verenigde bedrijven b.v. werd Schokbeton onderaannemer van Sanders, waardoor de eindverantwoordelijkheid tegenover de opdrachtgever voor het complete werk bij Sanders kwam.

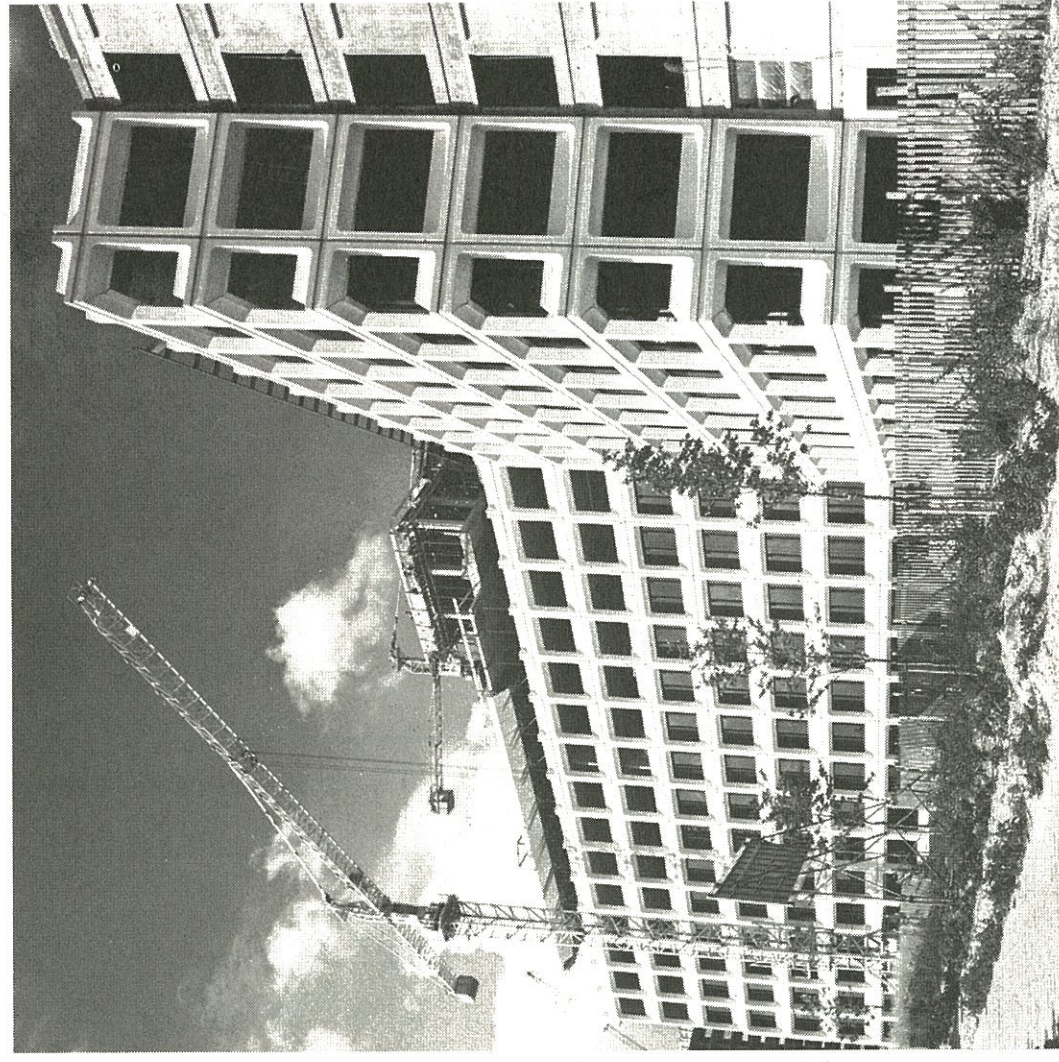
De fundering

Ervaringen in de omgeving van het bouwterrein wezen op een sterk wisselende grondgesteldheid: alle bebouwingen werden onderheid en de paallengten varieerden van 8 m tot 24 m. Om een goede indruk te krijgen van de grondgesteldheid op het bouwterrein werden 17 sonderingen en een boring gemaakt.

Voor een optimale keuze van het paalttype met de daarbij behorende betonfundering werden drie mogelijkheden onderzocht:

- geprefabriceerde, voorgespannen betonpalen met een draagvermogen van 85 resp. 65 ton; lengte 13 m. In verband met de grote conusweerstand in de bovenlagen werd zwaar heilwerk verwacht waarbij het gebruik van een spuitlans werd overwogen;
- in de grond gemaakte palen, systeem 'van Parera', met een draagvermogen van 100 tot 155 ton; lengte 13,5 m;
- hoger belaste boorpalen, met een draagvermogen van 125 tot 300 ton.

Uit dit vergelijkend onderzoek bleek dat de palen volgens het systeem 'van Parera', in combinatie met een eenvoudig stelsel van funderingsbalken, de goedkoopste fundering vormde voor de hier optredende kolomdrukken en kolomafstanden. De diameters van de palen va-



Omdat het gevel-element zo'n significant onderdeel is van het gebouw (afb. 1), is parallel met het totale ontwerp, de vormgeving en de taillering van dit geprefabriceerde onderdeel in een vroeg stadium ontwikkeld en vastgelegd. Eventueel noodzakelijke aanpassingen bij de aansluiting van de gevel-elementen aan de overige constructiedelen zijn steeds gezocht bij de aansluitende constructie, waardoor vrijwel alle gevel-elementen identiek van vorm bleven. Nog vóór dat het hoofdbestek van het totale werk gereed was werd een deelbestek betreffende de gevel- en de overige constructie-elementen in concurrentie uitgegeven. Dit is gedaan vanwege de lange voorbereidingstijd die de fabrieken noodzakelijk achten alvorens de eerste elementen te kunnen afleveren.

Het leveren van de geprefabriceerde onderde-

kantoorgebouwtwerp

rieerden van 0,48 tot 0,58 m; alleen de bovenste 4 m werd voorzien van een wapeningskorf. Het beton van de palen bevatte 350 kg Hoogovencement A per m³.

De beganegrondvloer werd uitgevoerd als een breedplaat-vloer; de onderlinge afstanden van de funderingsbalken zijn zoveel mogelijk gelijk gemaakt waardoor een grote eenheid ontstond in de geprefabriceerde 'breedplaten'.

Het skelet

De keuze van de kolomindeling van het skelet is een taak van architect en constructeur samen. Om deze gezamenlijke keuze verantwoord te maken zijn de prijzen van een aantal skeletvormen met elkaar vergeleken. Daarbij is tevens in rekening gebracht of de betonconstructie werd geprefabriceerd of ter plaatse gestort (afb. 2).

Als moduulmaat kozen we 1,20 m. Deze maat is constructief-economisch gezien gunstig en biedt bovendien aan de huurders een grote flexibiliteit bij het indelen van de ruimten. Juist ook om een optimale indeling te kunnen maken zijn dragende gevel-elementen toegepast zonder de doorgaans voorkomende kolommen die achter de gevel in de ruimte staan en daardoor vaak storend werken.

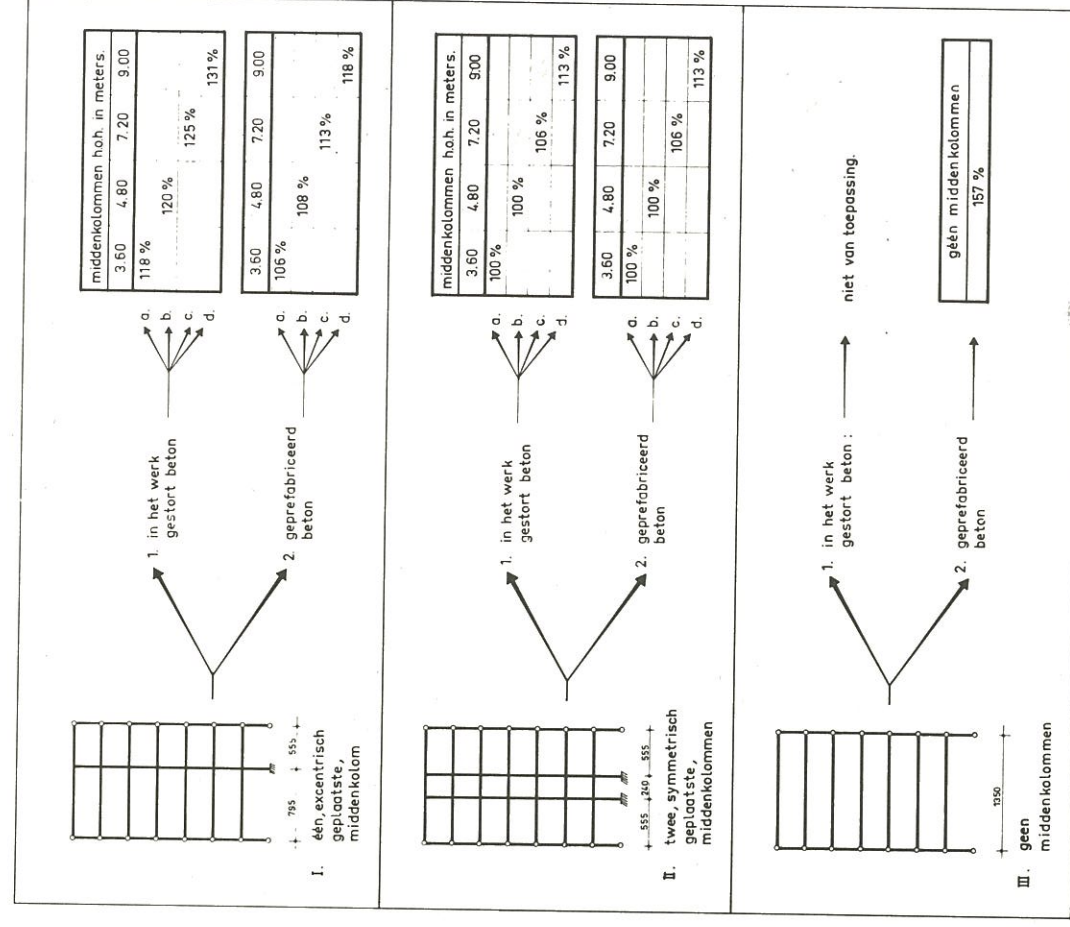
Als belasting is aangehouden
nuttige belasting, inclusief
separaties
vloerafwerking en plafond
totaal

400 kgf/m²
150 kgf/m²
550 kgf/m²

In eerste instantie werd een skelet met één, excentrisch geplaatste, middenkolom onderzocht; daarnaast een symmetrisch skelet met twee middenkolommen. In de vergelijking is uitgegaan van vlakke vloeren, al of niet voorzien van gewichtbesparende elementen als polystyreen of bijv. kartonnen kokers. In de lengterichting van het gebouw werden de kolommen gekoppeld gedacht door langs balken. De onderlinge afstanden van de middenkolommen in de lengterichting zijn voor de verschillende varianten gesteld op 3,60 m, 4,80 m, 7,20 m en 9,00 m. Waar het ontwerp een prefab-constructie betrof werd zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de in de handel verkrijgbare standaardelementen. Bovendien is in de vergelijking ook nog betrokken een geprefabriceerd skelet zonder middenkolommen met een vloer van TT-platen.

Uit de weergegeven resultaten blijkt dat het symmetrische skelet met twee middenkolommen, waarbij deze middenkolommen in lengte-

2

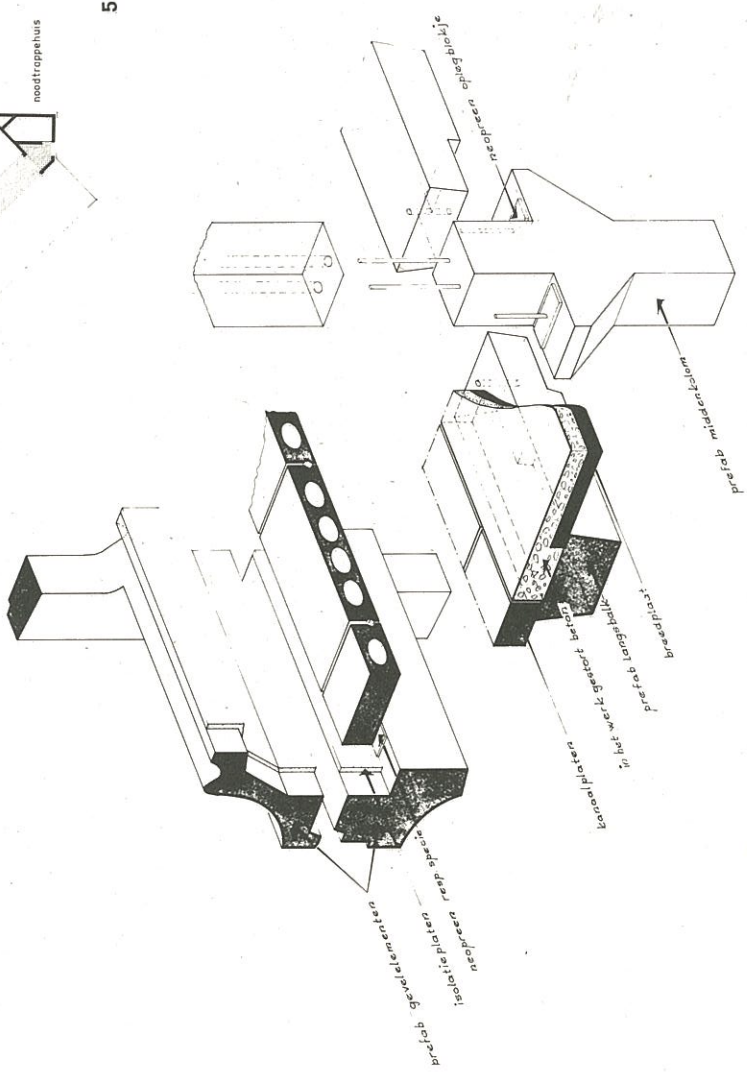
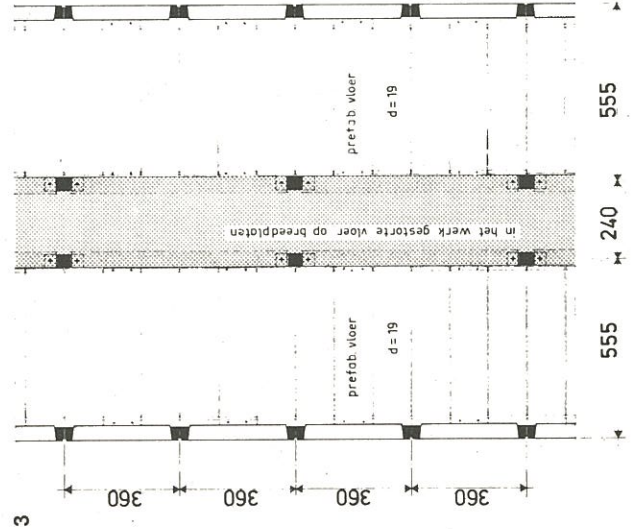
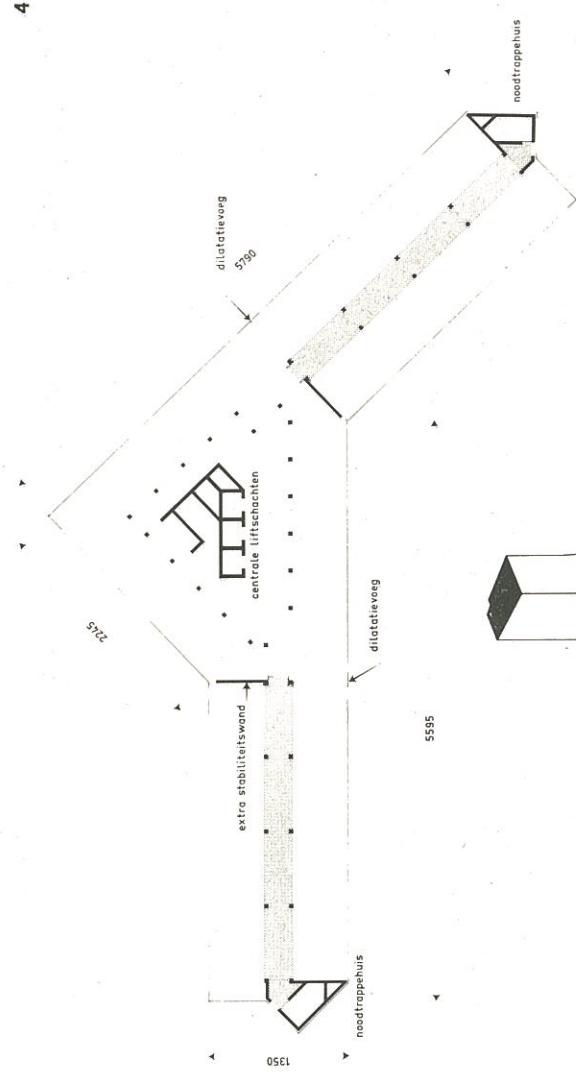


richting 3,60 m of 4,80 m h.o.h. staan, de goedkoopste oplossing is. Of zo'n skelet ter plaatse gestort zou worden of geprefabriceerd bleek in prijs niet zoveel uit te maken. Daarbij is op te merken dat de mogelijkheid van snel bouwen als gevolg van prefabricage niet volledig kon worden uitgebuit doordat de liftschachten en de wanden van de noodtrappehuizen toch in het werk gestort moesten worden. Om uitvoeringstechnische redenen echter was prefabricage verre te verkiezen boven een in het werk gestort skelet. Bij prefabricage wordt immers bijna geen specie in het werk aangebracht; daardoor is de kans dat de reeds gestelde geprefabriceerde gevel-elementen besmeurd worden als er op hoger gelegen verdiepingen gestort wordt aanmerkelijk kleiner. Hoewel de hierboven beschreven mogelijkheid

in constructief opzicht de goedkoopste bleek, is in overleg met de opdrachtgever en de architect deze oplossing toch niet gekozen. Rekening houdend met programmatische en bouwtechnische aspecten (een kolomafstand van 7,20 m h.o.h. biedt een groter flexibiliteit voor de indeling) bleek het type II.2.c. optimaal te zijn; gekozen werd dan ook het symmetrische skelet met twee middenkolommen, in lengterichting van het gebouw 7,20 m h.o.h., en dat alles geprefabriceerd (afb. 3).

Het gebouw heeft twee dilatatievoegen. De statibiteit van het middenstuk wordt verzorgd door de centraal gelegen liftschachten. De statibiteit van de beide eindstukken wordt verzekerd door de wanden van de noodtrappehuizen en extra stabiliteitswanden naast de dilatatievoegen; het verband tussen deze twee stijve

- 1 Gebouw met dragende gevel in opbouw
- 2 Overzicht skeletvormen
- 3 Gedeelte plattegrond van het gekozen skelet
- 4 Stabiliteitselementen en dilataties
- 5 Details prefab skelet
- 6 De dragende gevelelementen, klaar voor stapeling



elementen werd verkregen door de gangvloeren uit te voeren in ter plaatse gestort beton, waarvoor een horizontaal spannende ligger ontstond tussen deze stabiliteitselementen (afb. 4). De geprefabriceerde kolommen en gevel-elementen steunen in horizontale zin tegen deze gangvloer.

Een stabiliteitsberekening, waarbij het niet-lineaire gedrag van de constructie in rekening werd gebracht, wees uit dat de centraal gelegen liftschachten en de noodtrappehuizen een dermate grote stijfheid bezitten dat de vergrotingsfactoren minimaal zijn; 1,006 resp. 1,12. Voor de stabiliteitswanden langs de dilatatievoegen werd een vergrotingsfactor van 1,68 berekend.

De geprefabriceerde middenkolommen zijn 400 x 400 mm². Om deze geringe afmetingen te kunnen bereiken is de betonkwaliteit K 400 toegepast. De lengte van de kolommen is twee verdiepinghoogten. Hierdoor werd tijd gewonnen bij het monteren en prefabriceren. Het toepassen van deze lange kolommen brengt wel extra risico's met zich mee voor de uitvoering want grotere maatafwijkingen treden eerder op. De langsbalken die tussen de middenkolommen zijn gemonteerd waren 330 mm hoog; na het storten van de gangvloer, op breedplaten, werkten balk en vloer samen als een flensbalk van 530 mm hoogte. De vloerelementen tussen

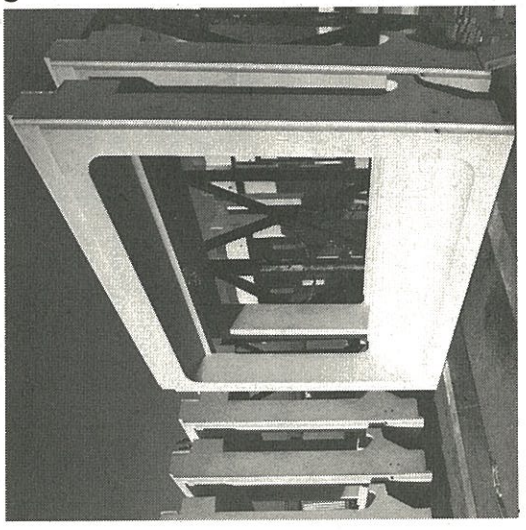
gang en gevel zijn voorzien van kanalen om zoveel mogelijk gewicht te besparen. Omdat de betonnen gevel-elementen aan geheel andere temperatuurschommelingen worden blootgesteld dan het inwendige van het gebouw is de gevel zoveel mogelijk los gehouden van de aansluitende betonvloer, waardoor de gevel in lengterichting kan krimpen of uitzetten zonder weerstand te ondervinden. Van elke drie vloerplaten die op een gevel-element rusten is slechts de middelste star verbonden aan dit gevel-element en aan de gangbalk; de twee overige platen zijn glijdend opgelegd op neopreen (afb. 5).

De dragende gevel-elementen

De gevel is opgebouwd uit los op elkaar gestapelde elementen; de stabiliteit ervan wordt verzekerd doordat elk element in het midden aan de achterliggende vloer is gekoppeld. De vormgeving van het element (afb. 6) werd mede bepaald door de afmeting van de ringleiding ten behoeve van de luchtbehandeling; de doorsnede van de stijlen vloeide voort uit de betonberekening. Om te voorkomen dat het regenwater dat tegen de ramen waait langs de nagenoeg witte gevel-elementen omlaag loopt, is onder langs het raam een goot geformeerd. Het water dat hierin komt wordt via een in de stijl ingestort plastic pijpje afgevoerd naar de verticale, doorgaande spouwing die de voeg

tussen de elementen markeert. Deze verticale spouwing ligt circa 1,5 mm dieper dan de horizontale spouwing die de stapeling van de elementen onderstreepst. De ondersabeling tussen de op elkaar staande elementen diende alléén te worden aangebracht ter plaatse van de boven elkaar staande kolommen.

Bij het ontwerpen van het element werd zoveel mogelijk geanticipeerd op de uitvoering; onderwerpen als het lossen van de kist en hoe de mal op te bouwen werden betrokken bij de



kantoorgebouwtwerp

vormgeving. Om kleur en structuur te kunnen kiezen zijn drie monsters gemaakt: glad-wit, gecanneleerd-wit en uitgewassen wit. Glad-wit werd uitverkoren. Het betonmengsel is samengesteld uit fijn wit grind, zilverzand, witte cement en een toevoeging van titaandioxyde.

Condensatie?

Om een indruk te krijgen van het verloop van de temperatuur en de dampspanning in het element werden berekeningen uitgevoerd met behulp van een door ons ontwikkeld computerprogramma. Dit programma is gebaseerd op de rekenmethode van Glaser, met enkele aanpassingen volgens uit de praktijk bekende meetgegevens. Als uitgangspunt werd gekozen voor de rekencondities volgens Caemmerer, geldend voor een rekenseizoen van 1440 uren (60 dagen) en ontworpen ter controle van inwendige condensatie. Deze condities luiden:

$$T_0 = -10^{\circ}\text{C}$$

$$q_e = 80 \text{ pct.}$$

$$\alpha_e = 23,3 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

$$\text{binnen: } T_i = +20^{\circ}\text{C}$$

$$q_i = 80 \text{ pct.}$$

$$\alpha_i = 9,3 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

$$T_0 = \text{temperatuur buiten}$$

$$T_i = \text{temperatuur binnen}$$

$$q_e = \text{relatieve vochtigheidsgraad buiten}$$

$$q_i = \text{relatieve vochtigheidsgraad binnen}$$

$$\alpha_e = \text{warmteovergangscoefficiënt 'buiten'}$$

$$\alpha_i = \text{warmteovergangscoefficiënt 'binnen'}$$

Aanvankelijk leefde de indruk dat de borstwering

ring van het gevelelement niet geïsoleerd diende te worden. Een berekening wees uit dat de laagste temperatuur van het binnenoppervlak ca. 2°C zou zijn; daarbij hoort een verzadigingsdruk van $5,3 \text{ mmHg}$.

De verzadigingsdruk bij de binnentemperatuur van 20°C is $17,6 \text{ mmHg}$; de maximaal toelaatbare relatieve vochtigheid zou dus bedragen:

$$\frac{5,3}{17,6} \times 100 = \text{ca. } 30 \text{ pct.}$$

Een relatieve vochtigheid van 50 pct, de geëiste ontwerpwaarde, zou nog net geen oppervlaktecondensatie geven als de temperatuur van het binnenoppervlak van de borstwering niet zou dalen onder de 9°C , wat hier correspondeert met een buitentemperatuur van 0°C . Aangezien deze grenswaarde wel 20 à 30 keer per jaar gedurende een etmaal wordt onderschreden, moest toch geconcludeerd worden dat het toepassen van een ongeïsoleerd gevel-element tot ontoelaatbaar hoge oppervlaktecondensatie zou leiden: Om dit te voorkomen werd de binnenkant van de borstwering voorzien van een laag isolatiemateriaal (polystyreenschuim van 30 mm, aan de binnenzijde voorzien van een dampremmende laag aluminiumfolie). De isolatieplaten zijn aangebracht tijdens en nadat de elementen op hun plaats gesteld waren; vervolgens zijn de naden met een aluminium-tape afgeplakt om het damptransport door deze naden te voorkomen.

Ook van dit geïsoleerde element werd een bouwfysische berekening gemaakt. Het resultaat is door de computer getekend (afb. 7).

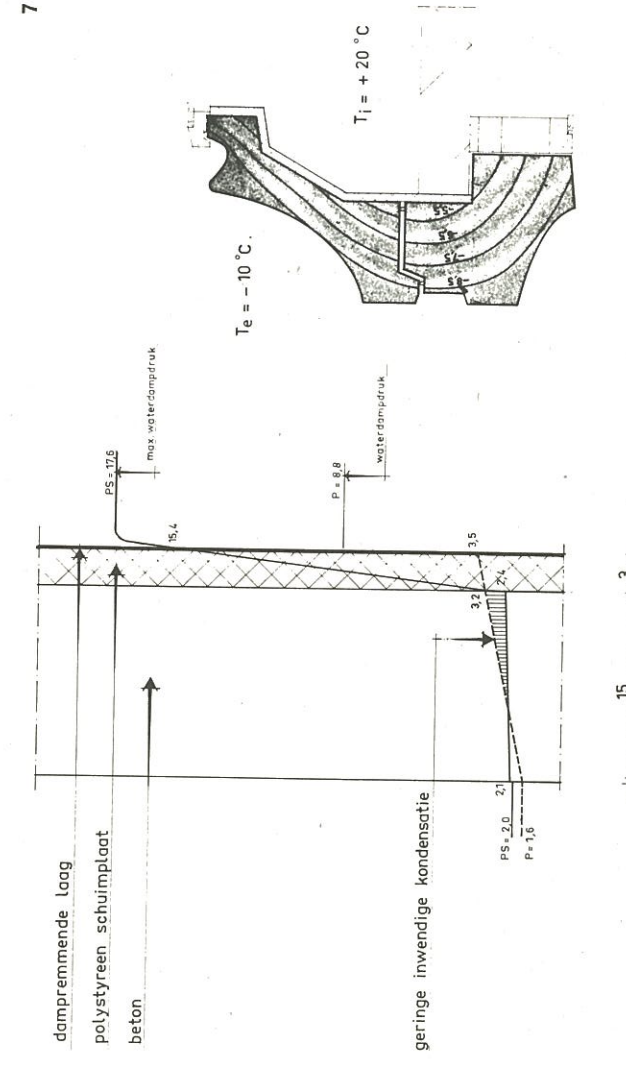
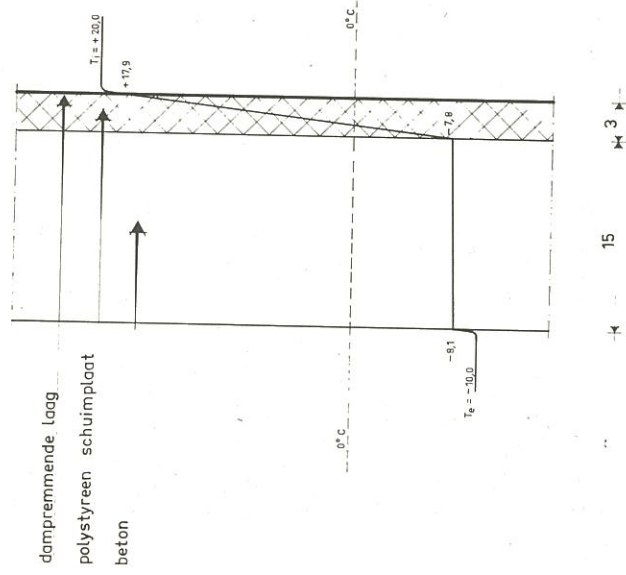
Hieruit blijkt dat bij de eerder genoemde rekencondities niet gevreesd hoeft te worden voor oppervlaktecondensatie. Wel moet een geringe, inwendige condensatie worden verwacht. De hoeveelheid blijft echter ver beneden de toelaatbare. Op grond van berekeningen werd ook het verloop van de isothermen geschat.

De voeg

De breedte van de voegen tussen de elementen is afhankelijk van de toleranties in de maten van de gevel-elementen zelf, van temperatuurverschillen en van krimp, alsook van stel- en bouwtoleranties. Na een onderzoek inzake de mate waarin elk van de bovengenoemde factoren bijdragen tot de voegbreedte is gesteld dat de voegbreedte mocht variëren tussen 12 en 18 mm.

De voegen tussen de elementen zijn afgedicht met kit. Dit kitmateriaal moet aan hoge eisen voldoen omdat het doorlopend wordt blootgesteld aan allerlei soorten van nadelige invloeden en het uiteindelijk toch een zeer belangrijke rol speelt bij het waterdicht maken van de gevel. Als nadelige invloeden kunnen worden genoemd:

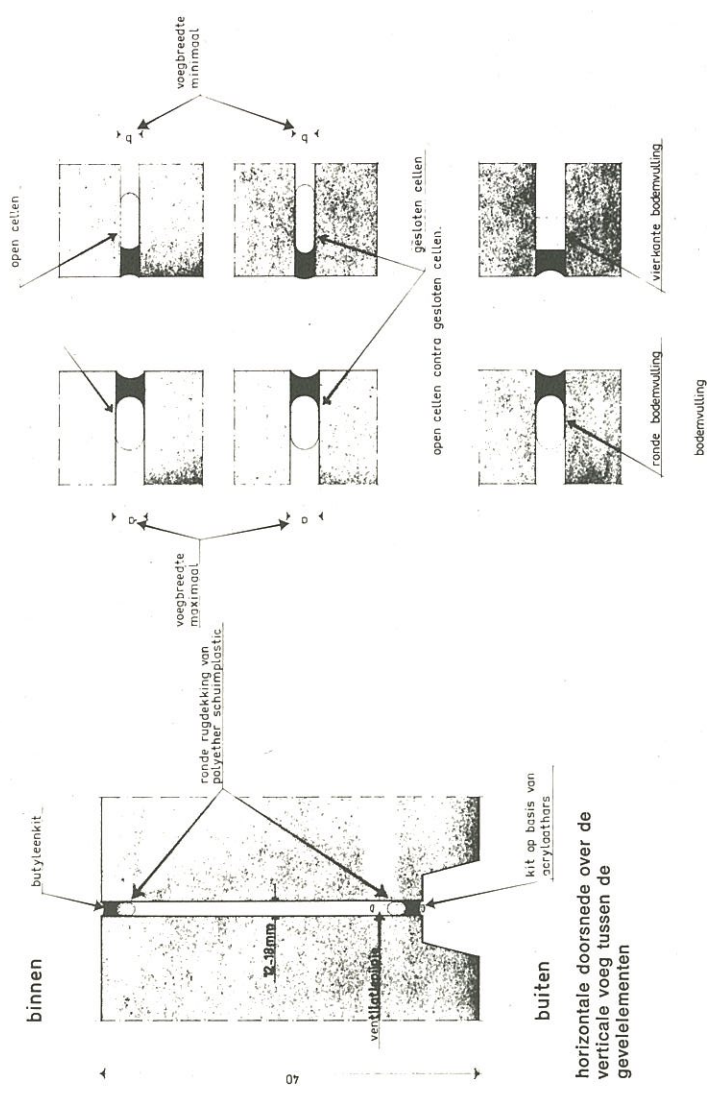
- veroudering door U.V.-stralen en ozon.
- temperatuurwisselingen; regen, sneeuw, water en wind.
- werking in de voegen; daardoor wordt het



7 Temperatuur- en dampspanningsverloop, alsmede verloop van de isothermen

8 Voegafdichting en het waarom

8



materiaal steeds belast op trek, druk of afschuiving.

– overdruk en onderdruk.

Bij het bepalen van de toe te passen soorten kit werd onderscheid gemaakt in kit die aan de buitenkant van de gevel wordt toegepast en kit voor het afdichten van de voegen aan de binnenkant van de gevel-elementen (afb. 8). Aangezien kitting op basis van polysulfiden bij lagere temperaturen en vochtige oppervlakken wat moeilijker te verwerken zijn, en het dichtenvan van de gevel mogelijk in de winter zou plaatsvinden, is voor buiten gekozen voor een voegkit op basis van acrylaathars. In het bestek werd voorgeschreven: 'Tremca-Mono of gelijkwaardig'; de gelijkwaardigheid aan te tonen overeenkomstig de beproevingsmethoden voor afdichtingsmaterialen als ontwikkeld door het 'Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf' te Brussel. Tremco-Mono is direct na het aanbrengen weliswaar plastisch maar na verloop van tijd krijgt het elastische eigenschappen.

Bovendien werd een garantie-verklaring geëist inzake de duurzame bewegingscapaciteiten van de voegkit. De aannemer verstrekte een garantie van 10 jaar voor de functionele eigenschappen van het materiaal en voor de kwaliteit van het verwerken.

De dikte van de voegkit bedraagt ongeveer 10 mm. Vóórdat de applicatie begon werden proeven genomen om na te gaan of de toegepaste bekistingolie nadelig zou werken op de hechting van de voegkit aan het beton. Overigens werd geen hechtpriemer toegepast.

De kit in de buitenvoegen werd aangebracht tegen een ronde 'bodenvulling' van een niet te zacht materiaal met open cellen (polyetherschuimplastic) dat zich door de kit niet laat wegdrrukken en voldoende tegendruk geeft om een goede hechting van de voegkit aan het beton tot stand te brengen.

Voor het afdichten van de voegen aan de binnenkant van de gevel-elementen werd volstaan met een plastische kit; voorgeschreven werd een kitsoort op basis van butyleen. Ook deze kit is aangebracht tegen een 'bodenvulling' met een open celstructuur.

De open ruimte in de voegen achter de 'bodenvulling' wordt geventileerd door middel van kleine pijpjes die door de kitmassa heen steken op elke kruising van twee buitenvoegen.

Keuze van de bodenvulling

De vóór- en nadelen van materiaal met geslo-

ten cellen en open cellen en of de doorsnede van de bodenvulling vierkant of rond moet zijn werden uitvoerig geanalyseerd.

Het bleek dat materiaal met open cellen en met een ronde doorsnede de voorkeur verdient. De volgende overwegingen gaven daarbij de doorslag:

Open contra gesloten

– Bij voegbewegingen zal het materiaal met open cellen gemakkelijk meevormen zonder zijdelings uitwijken en dus zonder dat het de kitmassa naar buiten drukt. Bij gesloten celstructuur zal bij samendrukken de bodenvulling wel zijdelings willen uitwijken en de kitmassa uit de voeg willen persen (afb. 8).

– Materiaal met open cellen laat zich gemakkelijker in de voegen aanbrengen en is goedkoper dan materiaal met gesloten cellen.

– Materiaal met open cellen laat zich spanningloos aanbrengen; bij voegbewegingen blijft de bodenvulling dan op z'n plaats. Bij gesloten celstructuren bestaat de kans dat het materiaal bij het aanbrengen uitrekt waardoor bij voegbewegingen in de lengterichting gaten in de kitvoeg kunnen worden getrokken.

– Bij materiaal met open cellen kunnen eventueel vluchtige bestanddelen in de kit normaal uittreden; bij gesloten cellen is dit aan de binnenkant van de kitvoeg moeilijker.

– Hoewel een bodenvulling met gesloten cellen in sommige gevallen als een tweede dichting wordt voorgesteld blijkt dit veelal niet duurzaam te functioneren. Op de duur schijnt een blijvende vervorming op te treden. Bovendien kunnen de cellen knappen waardoor bij sommige bodenvullingen gasvorming optreedt

welke eveneens negatief kan werken op de kit.

– Bodenvullingen met gesloten cellen zijn wat stijver en geven bij het aanbrengen van de kit meer tegendruk waardoor een betere aanhechting aan de voegkanten wordt bereikt en bovendien een betere verdeling van de kit in de voeg ontstaat. Om een goede kitverdeling te krijgen bij een bodenvulling met open cellen moeten daarom géén zachte soorten worden toegepast.

– Bodenvullingen met gesloten cellen nemen geen water op; die met open cellen wel. Dit nadeel van vochtopnemen kan en moet worden ondervangen door ontluchting/ontspanning van de voegen achter de bodenvullingen. Daartoe ventilatiepijpjes door de kitmassa aan te brengen. Dit dient overigens ook te geschieden bij een bodenvulling met een gesloten celstructuur.

Rond contra vierkant

– De optredende trekkracht in de kleinste doorsnede van de kitvoeg wordt bij een ronde bodenvulling teruggevoerd op een zo groot mogelijk aanhechtvlak waardoor de aanhechtspanning relatief laag is. Dit voordeel is niet aanwezig bij een vierkante bodenvulling; daar is de aanhechtspanning aan het beton aanmerkelijk hoger.

– Een ronde bodenvulling kan gemakkelijker op de juiste plaats worden aangebracht. Uit de bovengenoemde overwegingen blijkt eigenlijk dat beide mogelijkheden vóór- en nadelen hebben. Soms ook lijken de mogelijke vóór- en nadelen gering of zelfs gezocht. Dat neemt niet weg dat ook geringe voordelen bijdragen tot de kwaliteit van de voegdichting, die al zwaar genoeg belast wordt.

kantoorgebouwtwerp

Dakverdieping en dakopbouw

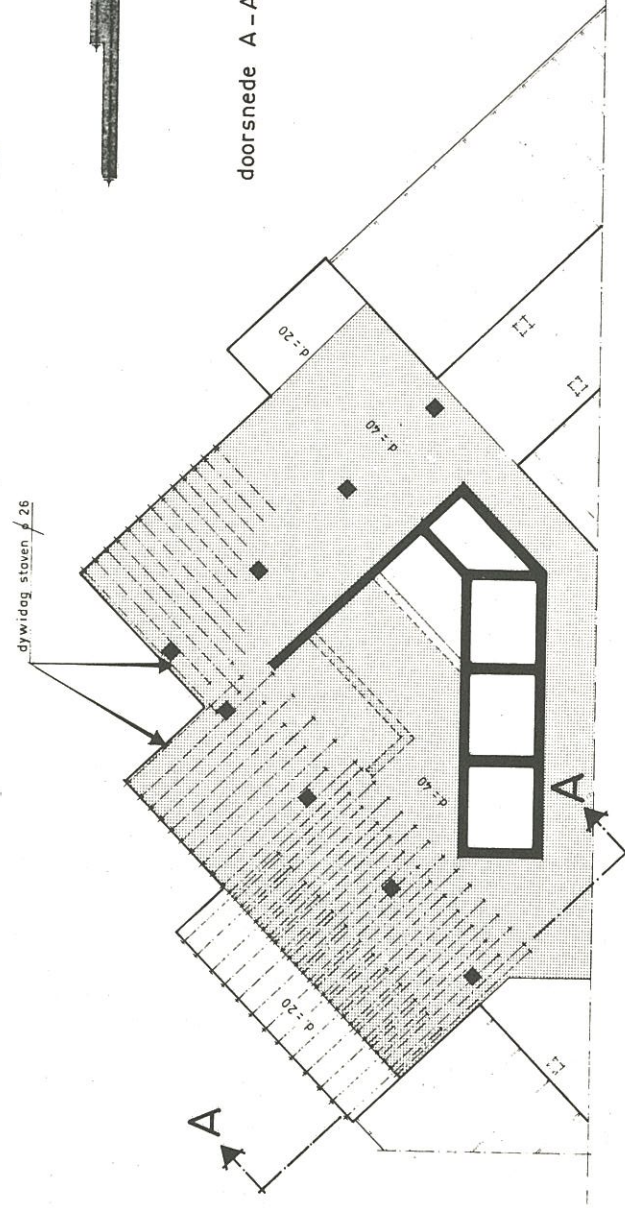
De 8e verdieping is afwijkend van de overige verdiepingen. In de terugliggende gevel zijn de gevelstijlen als stalen kokerprofielen uitgevoerd, sterk genoeg om het dak te dragen. De middenkolommen zijn uitgevoerd in geprefabriceerd beton.

Over de middenkolommen is, gelijk bij de onderliggende verdiepingen, een betonnen vloer gestort; het overige deel van het dak is uitgevoerd als een staalconstructie met bimsbetonkanaalplaten er overheen.

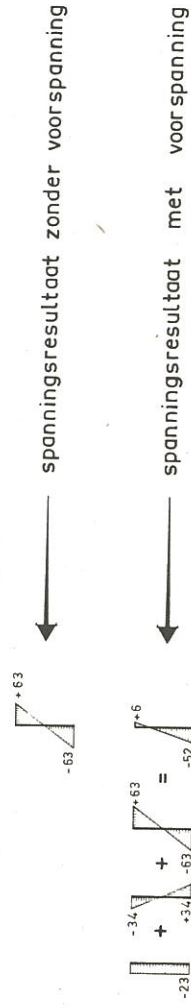
De vloer van de 8e verdieping nabij de centrale liftschachten en de vloer van de daar boven gelegen dakopbouw zijn uitgevoerd in voorgespannen beton. Deze vloeren dragen circa 3,50 m buiten de steunpunten uit, en hoewel dit uit het oogpunt van sterkte in normaal

gewapend beton goed was op te lossen is hier toch gebruik gemaakt van voorspanning, hoofdzakelijk om ongewenste doorbuigingen te voorkomen.

Zonder vóór te spannen zou de betonrekspanning bovenin de vloer circa + 63 kgf/cm² bedragen bij een betondrukspanning onderin van - 63 kgf/cm². Dit permanente grote verschil tussen trek boven en druk onder in de vloer zou op de duur een aanzienlijke doorbuiging ten gevolge van kruip veroorzaakt hebben. Van daar het toepassen van een excentrische voorspanning door middel van Dywidag-staven Ø 26 waardoor het verschil tussen de spanningen in de bovenste en onderste vezels van de betonvloer aanzienlijk werd beperkt (afb. 9).



gedeelte plattegrond 8^e verdieping t.p.v. schachten.



9 Voorgespannen vloer