

Nieuwe oplossingen zijn mogelijk voor constructieve problemen

Waarom verschijnt in een themanummer over hoogbouw een aparte bijdrage over de constructieve aspecten daarvan? De constructie van een gebouw bestaat altijd uit fundering, kolommen met eventuele stabiliteitsvoorzieningen en vloeren; is dat dan bij hoogbouw iets speciaals? Er manifesteren zich in constructief opzicht inderdaad speciale problemen bij hoogbouw waarbij 'het speciale' afhangt van de absolute hoogtemaat.

Het begrip hoogbouw kan men vanuit verschillende uitgangspunten definiëren. Een constructeur zal pas over 'hoog' praten als de hoogte er de oorzaak van is dat verschillende factoren, die bij een normale constructie in principe van een tweede orde zijn, zodanig in belang groeien dat het begrip tweede orde niet meer past. Deze tweede-ordefactoren kunnen zelfs van de eerste orde en bepalend worden voor de constructies.

Het verschuiven van tweede orde naar eerste orde gebeurt niet bij het bereiken van één bepaalde grens, maar vindt als het ware 'glijdend' plaats. Het belang van deze factoren groeit geleidelijk met het toenemen van de hoogte. Dat geldt echter niet voor elke factor in gelijke mate. Het wordt bovendien beïnvloed door de verhouding van de hoogte tot de lengte en breedte van het gebouw en door de vorm van de plattegrond.

Vandaar dat er tussen hoogbouw van een 100 m hoogte en van hoogbouw van 400 m hoogte in constructief opzicht weer duidelijke verschillen zijn. Vermoedelijk zijn er daardoor ook geen voorschriften opgesteld die speciaal de constructies van hoogbouw behandelen. Er zijn dan misschien wel verschillende voorschriften voor diverse hoogten en voor diverse verhoudingen van hoogte tot grondvlak en grondvlakvormen opgesteld moeten worden. Maar voor wie ervaren is in het ontwerpen van constructies en daarbij de theoretische constructieve achtergronden van het bouwen beheerst, zijn er ook geen voorschriften nodig. De vele hoge gebouwen, die waar ook ter wereld werden opgericht, zijn daarvoor een levend bewijs.

In het navolgende zullen verschillende zaken worden behandeld waar de relatief grote hoogte een duidelijke invloed heeft op het ontwerp. Daarbij zal tevens iets van de historische ontwikkelingen worden geschetst.

Kostenvraagstuk

Bij het ontwerp van elk gebouw, hoogbouw of laagbouw, wordt de vraag gesteld: wat kost de constructie en kan die niet goedkoper?

Op deze vraag is altijd een duidelijk antwoord te geven. Het is een kwestie van begroten. Maar dat duidelijke antwoord kan misverstanden teweegbrengen. Het kan immers de suggestie voeden dat een goedkope constructie automatisch leidt tot een goedkoop gebouw.

IR. F. C. VAN ERP

Raadgevend Ingenieursbureau Aronsohn bv te Rotterdam

Bij de bouw van hoge tot zeer hoge gebouwen spelen bijzondere constructieve problemen. Voor deze problemen zijn de afgelopen eeuw allerlei oplossingen gevonden. De auteur van dit artikel geeft een overzicht van de speciale problemen en oplossingen. Daarbij komen aspecten als fundering, draagconstructie en stabiliteit, trillingen, materiaal, gevels en uitvoeringsmogelijkheden aan de orde. De conclusie van dit artikel is dat Nederland door zijn achterstand bij hoogbouw kan profiteren van de ervaringen met nieuwe oplossingen die al elders zijn opgedaan.

Daarom moet de vraag naar de kosten luiden: is het ontwerp van het gebouw, zoals dat is gedacht, zodanig dat er wordt voldaan aan het programma van eisen voor dat gebouw en leidt de raming van de bouwkosten tot een hoog of tot een laag bedrag, vergeleken met soortgelijke gebouwen? Constructie en fundering zijn slechts een onderdeel in de totale bouwkostenraming en zijn beslist niet alléén bepalend voor de duurte of goedkoopte van een gebouw. Kosten ten gevolge van het installatiepakket met liften en airconditioning, kosten ten gevolge van bouwfysische eisen, kosten ten gevolge van het afwerkniveau enz., kunnen de totale bouwsom zodanig wijzigen dat dezelfde constructie in het totaal zowel een belangrijk als een onbelangrijk financieel deel kan zijn. Vaak worden deze zaken bij de beoordeling van de kosten van een constructie 'sec' uit het oog verloren. Als bijvoorbeeld een wat duurdere maar meer 'sophisticated' constructie kan leiden tot een veel gunstiger leidingbeloop, kan dat eventueel voor het totale gebouw een besparing opleveren.

De constructeur kan dat echter niet overzien. Hij kan alleen vele mogelijkheden aandragen, waarbij te zamen met anderen (andere adviseurs en de architect) de kosten voor het totale gebouw kunnen worden geraamd. Als illustratie moge dienen dat voor een gemiddeld ziekenhuis de kosten van de constructie met fundering circa 25 pct. van de bouwsom bedragen. Daarbij is dan afgezien van grondkosten, tuinen en parkeerterreinen met wegen, inventaris enz. Wordt wèl het totaal der stichtingskosten beschouwd, dan wordt het percentage voor de kosten van de constructie met funde-

ring globaal genomen relatief nog veel lager, namelijk circa 10 pct. Toepassing van een constructie met fundering die op zich zelf genomen zeg 15 pct. duurder is dan een variantmogelijkheid, zal dus leiden tot een goed 1 pct. hogere investering. Wanneer daar geen voordelen tegenover staan, heeft dat natuurlijk geen zin, maar mogelijk kan door die duurder constructie de bruikbaarheid van het gebouw worden vergroot. Men komt dan in het subjectieve gebied van evaluatie van een ontwerp in het licht van het programma van eisen en de stedebouwkundige context. Dit is par excellence het gebied van de architect, die in samenspraak met de opdrachtgever tot een beslissing moet komen. Het nemen van zo'n beslissing is moeilijk want subjectieve inzichten zullen een belangrijke rol spelen en helaas blijven subjectieve inzichten altijd aanvechtbaar. Het pad van de architect gaat nu eenmaal niet over rozen.

Bij normale gebouwen zijn dergelijke problemen al moeilijk. Het is duidelijk dat zij bij hoogbouw nog meer spelen. Niet alleen stellen bij hoogbouw de natuurwetten dwingerder hun eisen dan bij 'normale' gebouwen, zodat de architect minder vrijheid krijgt, maar ook het afwegen van hoogbouw tegenover (relatieve) laagbouw wordt moeilijker. De subjectieve factoren, (evenals objectieve factoren die niet direct kwantificeerbaar zijn, zoals horizontaal stedelijk transport) kunnen hierbij de doorslag geven.

Voor een constructeur is de problematiek (althans formeel!) eenvoudiger: de consequenties van de eisen te stellen aan sterkte, stijfheid en stabiliteit van het gebouw in zijn geheel en in zijn onderdelen, worden verwerkt zowel in financiële zin als in de oppervlakte van de beschikbare ruimte, d.w.z. begrensd door de eigenschappen van de gekozen constructieve materialen. Ontwerpen met variantconstructies die zijn ontstaan door het creatief meedenken in de door de architect aangegeven richting, moeten een bewust genomen beslissing mogelijk kunnen maken. Deze beslissing valt in stedelijke conglomeraties vaak uit ten gunste van hoogbouw, zoals over de gehele wereld wordt bewezen door de vele reeds gerealiseerde hoge gebouwen. Dit ondanks het feit dat bij echt hoog bouwen, de kosten van constructie plus fundering op zichzelf genomen niet minimaal zijn per m³ ombouwde ruimte.

Blijkbaar spelen bij de beslissing om al dan niet hoog te bouwen een aantal factoren een rol die in betekenis ver uitgaan boven die van de kosten van de constructie of zelfs van de kosten van het totale gebouw. Naast de reeds aangeduide subjectieve factoren spelen vermoedelijk ook feitelijke en verwachte economische factoren een rol, evenals het horizontaal transport tussen gebouwen met verkorting van communicatie- en informatielijnen enz.



Utrecht: Rijkskantorengedouw Westraven en woonflats Kanaleneiland

Het is duidelijk dat hoog bouwen een plaatselijk zeer hoge belasting op de ondergrond te weegbrengt. Voor rotsachtige grond is dat uiteraard geen probleem en daar zal dus zonder extra funderingsmoeilijkheden kunnen worden overgegaan tot hoog bouwen. Ook daar waar zeer vaste grondlagen op enige diepte aanwezig zijn, kunnen hoge gebouwen vrij eenvoudig worden gefundeerd door toepassing van diepe kelders, door palen of door caissons (al dan niet gecombineerd). De aanwezigheid van zeer vaste lagen sluit zettingen en zettingsverschillen tussen diverse gebouwdelen vrijwel uit of houdt ze in ieder geval minimaal. Er zijn echter vele steden in de wereld waar de bovenbedoelde vaste grondlagen niet voorkomen en toch wordt daar hoog gebouwd. Om slechts enkele voorbeelden te noemen: Brussel, Mexico City en Salt Lake City.

Daar moeten dus in het ontwerp aanvullende maatregelen worden verwerkt om de zakking der gebouwen binnen aanvaardbare grenzen te houden. Dat kan worden bereikt door zodanige kelderlichamen onder de grond te ontwerpen dat het gewicht van de voor deze kelders uitgegraven grond een voldoende deel van het bouwgewicht compenseert. De toename van de druk op de ondergrond kan dan worden beperkt tot een waarde die aanvaardbare zettingen en zettingsverschillen oplevert.

Dit uitgraven van grond om de uiteindelijke toename van druk op de ondergrond te beperken is een van oudsher toegepaste methode van funderen. Veel kelders in Nederland dankten er hun ontstaan aan, juist in de tijden dat alleen maar uitgesproken laagbouw werd toegepast en de technische mogelijkheden voor paalfunderingen nog onvoldoende waren ontwikkeld. Ook de eerste aanzet tot echte hoogbouw in Chicago, (het Montauk Block van tien verdiepingen, gebouwd in 1880 onder leiding van de architecten D. H. Burnham en

J. Wellborn Root) werd pas mogelijk toen inzicht was ontstaan in nieuwe funderingstechnieken, die mede waren gebaseerd op het uitgraven van grond. Juist het verlangen en de economische noodzaak tot hoger bouwen heeft een zeer sterke impuls gegeven tot het ontwikkelen van de kennis omtrent grondmechanica. Mede daardoor konden nieuwe funderingsmethoden worden ontwikkeld en beproefd en konden bestaande methoden worden verbeterd. Zo is de techniek van paalfunderingssystemen en caissons, bijvoorbeeld in de laatste twintig jaar verfijnd, verbeterd en uitgebreid en is het inzicht in wat een toelaatbaar draagvermogen genoemd moet worden, exacter geworden.

In de praktijk betekent dat vaak het toelaten van een hogere belasting, hoewel niet altijd, zoals het inzicht in de grootte van negatieve kleef heeft geleerd. Toch is het wel opvallend dat nog niet zoveel jaren geleden in West-Nederland als vuistregel algemeen werd gehanteerd de stelling dat de ondergrond (de vaste zandlaag, in de stad Rotterdam beginnend op de diepte van zo'n -18,00 m, N.A.P. en naar zee toe verlopend naar -30,00 m, N.A.P.) gemiddeld niet hoger belast moest worden dan $0,40 \text{ MN/m}^2$ (40 ton/m^2) onafhankelijk van het gekozen funderingssysteem, terwijl nu voor sommige ontwerpen tot $0,60 \text{ MN/m}^2$ (60 ton/m^2) wordt gegaan.

De gemiddelde belasting op de ondergrond, kan althans in Nederland, nog worden opgevoerd door het bouwgewicht of wat daarvan overblijft onder aftrekking van het gewicht van de uitgegraven grond, te laten dragen bijvoorbeeld via boorpalen of caissons, op dieper gelegen oudere zandlagen.*

Wel blijft steeds het grondmechanisch probleem staan dat een hoge belasting op de (onder)grond, zettingen veroorzaakt over een groter gebied, (extra zakkingen en eventuele scheefzakkingen van reeds bestaande gebouwen). Ook de aanwezigheid van een overheer-

sende wind uit één bepaalde richting kan scheefzakkingen veroorzaken of inleiden doordat de ondergrond niet gelijkmatig wordt belast.

Ten slotte kan ook het uitgraven van grond ter ontlasting van de diepere lagen problemen oproepen die zich tijdens de uitvoering van het bouwwerk manifesteren. Grond die eerst langdurig zwaar werd belast, wil na verwijderen van de belasting ontspannen en als gevolg daarvan vergroten in volume.

Praktisch betekent dit dat de uitgegraven bouwput omhoog komt en later, onder werking van het dan aanwezige bouwgewicht weer omlaag gaat. Wanneer deze eventualiteiten niet zijn voorzien, kunnen ze tijdens de bouw problemen leveren.

Uit het voorgaande blijkt dus vóór alles dat hoogbouw begint met een uitvoerig grondonderzoek waaruit de meest gerede fundatievorm moet blijken voor diverse gebouwhoogten en vormen. Tevens moet de invloed op de omgeving worden beschouwd en moet worden gepreludeerd op eventuele consequenties die zich kunnen voordoen tijdens diverse fasen van de uitvoering.

Draagconstructie en stabiliteit

De drang tot hoog bouwen kon vrij baan krijgen door de ontwikkeling van liften. Dat leidde vervolgens tot het zoeken naar aangepaste funderingsmogelijkheden. De drang tot nog hoger bouwen kon pas worden gerealiseerd door het ontwikkelen van aangepaste draagconstructies. Zo werd in vervolg op het in het voorgaande genoemde Montauk Block van tien verdiepingen in Chicago, reeds in 1893, op hetzelfde fundatietype, het Katahdin Building van 16 verdiepingen hoog gebouwd. Maar nu voorzien van een dragend staalskelet met vulmuren in plaats van met massieve dragende muren. In New York vonden in die jaren soortgelijke ontwikkelingen plaats. Het principe van staalskelet met liggers en kolommen waarin vulmuren worden aangebracht en

*Zie BOUW no. 47 d.d. 22 november 1969 'Wolvenkrabbers op drassige bodem' door mijn oud-collega ir. H. J. J. Engel.



Utrecht: kantoorgebouwen Kanaleneiland

lichte gevels, is sindsdien waarschijnlijk het meest uitgevoerde type van draagconstructie voor hoogbouw. Het werd vóór de Tweede Wereldoorlog vrijwel algemeen toegepast. Pas door de vraag naar en de ontwikkeling van verfijnde verwarmings- en airconditioning- en communicatiesystemen werd het nodig, vooral bij steeds toenemende hoogte met meer liften, om aparte verticale kokers te creëren voor berging van liften, kabels, leidingen enz. Deze kokers konden goed worden gebruikt als constructief element. Hoe hoger een gebouw des te meer bestaat de noodzaak tot het opnemen van windkrachten en het handhaven van de vereiste stabiliteit: de natuurwetten eisen nu eenmaal het hunne. Maar hoewel een stijve kern een logisch en constructief gezonde zaak

is, ook met het oog op de torsiestijfheid, krijgen de verder aanwezige kolommen alléén een draagfunctie en worden als het ware verwaarloosd ten aanzien van de stijfheid en stabiliteit (zie afb. 1).

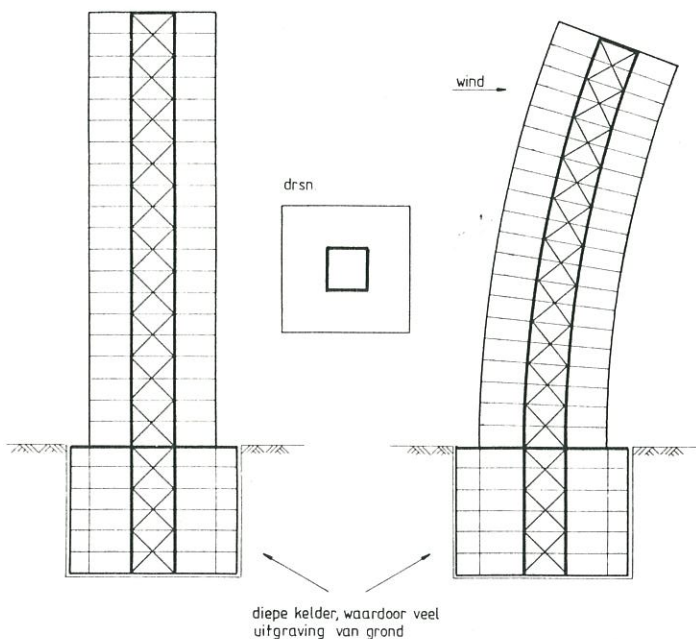
Door een vrij eenvoudige ingreep, namelijk het maken van een stijve 'pet' op het gebouw, bijv. bestaand uit enige utilitaire verdiepingen, kan de aanwezigheid van de gevelkolommen met het oog op de stijfheid van het gebouw beter worden benut. Deze kolommen krijgen dan bij buiging van het torengebouw ten gevolge van de windbelastingen, additionele krachten te verwerken. Daardoor worden diverse gunstige effecten bereikt als vermindering van doorbuiging, verhoging van stabiliteit, vermindering van vervormingen door wisselende temperaturen en temperatuurverschillen. Ook wordt het trillingsgetal van het

gebouw hoger (zie afbeelding schema 2). Dit laatste is vooral van belang met het oog op de frequentie van windvlagen en de bewegingen van het gebouw. Vanuit de schematisch weergegeven constructie van de afbeeldingen 1 en 2 kan men op twee wijzen het principe van de stijve koker in constructief opzicht verder uitbouwen (afb. 3). Ten eerste kunnen de gevelkolommen over de gehele hoogte in horizontale zin zo worden verstijfd dat ze het gevelvlak constructief stijf maken. Er is dan in totaal een stijve koker ontstaan rondom het gebouw. Door de grotere afmetingen is die buitenkoker veel effectiever dan een stijve binnenkern (afb. 3b).

Ten tweede kan de stijve kern, die uit de aard der zaak beperkte afmetingen heeft dan de buitenkoker, toch nog blijven bestaan naast de stijve buitenkoker en additioneel de stijfheid

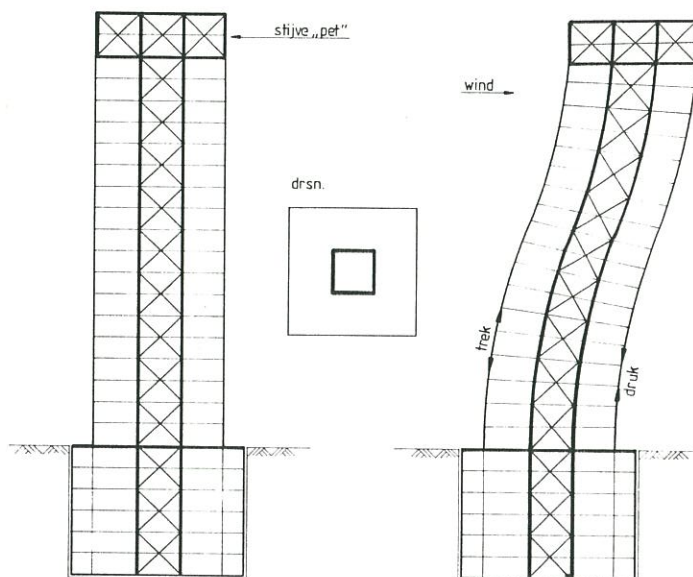
Afbeelding 1

schema doorbuiging



Afbeelding 2

schema doorbuiging





'*Wolkenkrabber*' te Amsterdam en gebouwen van Binnenlandse Zaken en Justitie te 's-Gravenhage

verhogen (afb. 3c). De gevels kunnen tot stijf vlak worden gemaakt door ze als zogenaamde vierendeelliger uit te voeren (afb. 4) of als tralieligger door plaatsing van diagonalen (afb. 5).

Een voorbeeld van het principe van afbeelding 5 in combinatie met afbeelding 3b is het John Hancock Building (Chicago) met honderd verdiepingen. Dit gebouw heeft als bijzonderheid bovendien nog dat het een piramidevorm heeft, hetgeen zeer gunstig is met het oog op windbelasting. De inhoud van het gebouw is bovendien hoog ten opzichte van het gevel- en dakoppervlak, hetgeen bouwfysisch voordelen oplevert. Ook de benodigde hoeveelheid constructiemateriaal, in dit geval staal, is buitengewoon laag per m³ ombouwde ruimte.

Het World Trade Center (New York) is eveneens geconcentreerd volgens het principe van afbeelding 3b maar hier zijn de gevels tot een stijf vlak gemaakt volgens het principe van de vierendeelliger. Welk constructieprincipe in een specifiek geval het best voldoet, hangt af van de absolute hoogte, van de verhouding

hoogte tot grondvlak, van de vorm van dat grondvlak en van nog enige zaken zoals gevelindeling, grootte der ramen enz.

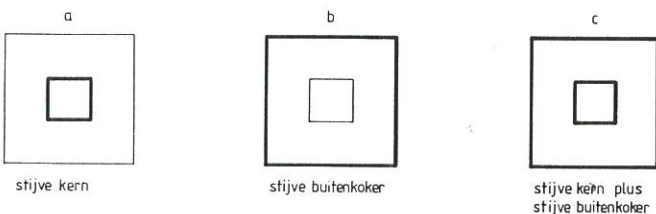
Een vraag die zich dan bij het ontwerpen van een hoog gebouw al gauw voordoet is: hoe slank kan in redelijkheid een hoog gebouw worden gemaakt. Uit de vele hoge gebouwen (waar uiteraard vele constructeurs hebben getracht in dit opzicht het onderste uit de kan te halen) kan worden afgeleid dat de verhouding hoogte tot breedte tot ongeveer 7:1 kan bedragen. Bij een verhouding van 7:1 en hoger gaan extra problemen ontstaan door windbelasting en trilling. Deze problemen kunnen worden opgelost, maar de oplossingen kosten geld. Dat betekent dus dat bij toenemende hoogte in het algemeen de breedte zal toenemen. De liggers die de verdiepingvloeren dragen kunnen bij grote overspanningen tamelijk hoog moeten worden. Daardoor zou dus de verdiepinghoogte toenemen. Men moet echter trachten dat te voorkomen door anders het geveloppervlak toeneemt en dus ook de windkracht, terwijl bovendien meer m³ ombouwde ruimte verwarmd of gekoeld moet worden. Zeer veel aandacht zal dus moeten worden gegeven aan het verkrijgen van een minimale

constructiehoogte van de vloer en een integratie daarvan met het kanalen- en leidingenpakket. Stalen tralieliggers zijn hierbij uiteraard in het voordeel in verband met de ruimte die zij vrij laten voor kanalen en leidingen.

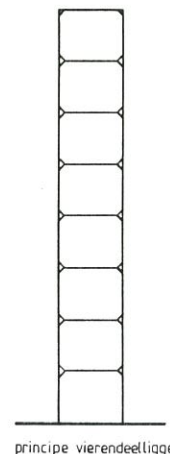
Trillingen

Zeer hoge en vooral zeer slanke gebouwen kunnen een zo lage eigen frequentie bezitten dat ze door windvlagen in trilling kunnen worden gebracht. Ze gaan daardoor vrij grote horizontale bewegingen vertonen. Voor de hoogste gebouwen ter wereld zelfs tot ongeveer 30 cm aan de top. Een bezoek aan de Euromast in Rotterdam die niet zo hoog is, maar wel slank, bij bijv. windkracht 8 of 9 zal dit verschijnsel en de wijze waarop dit door mensen wordt ervaren, kunnen verduidelijken. Een dergelijke beweeglijkheid is natuurlijk ongewenst, onder meer met het oog op liften. Men zal het trillen zoveel mogelijk willen tegengaan. Dat impliceert dat de stijfheid van het gebouw moet worden opgevoerd. In dit licht wordt de aard van de verbindingen van de draagliggers der vloeren aan de binnenkern en/of de buitenkoker van belang. Bij zéér

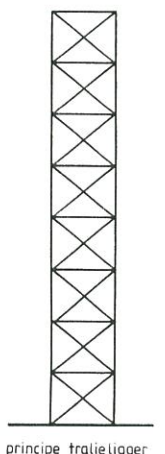
Afbeelding 3

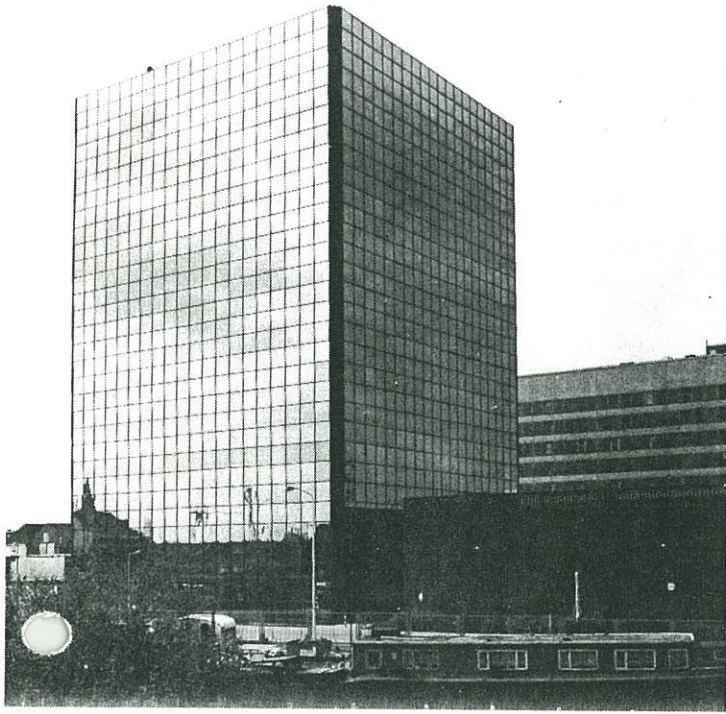


Afbeelding 4



Afbeelding 5





's-Gravenhage: 'spiegelgebouw' en Shell-gebouw

hoge gebouwen kan echter de stijfheid niet zo maar worden opgevoerd zonder extra materiaal en dat levert extra eigen gewicht en dus worden de kolommen weer groter. Men kan dan beter zijn toevlucht nemen tot een aangepaste vormgeving. Er kan bij voorbeeld worden getracht de gevels een zodanige vorm te geven, dat vooral bij de hoger gelegen verdiepingen de geveleppervlakte geringer wordt, zodat windvlagen en windturbulenties zo min mogelijk vat hebben op het gebouw. Het John Hancock Building met zijn piramidevorm kan worden gezien als een voorbeeld van deze aard. Het getuigt uiteraard van wijs beleid om in een windtunnel experimenteel vast te stellen of bepaalde gevelgeledingen en -profilering een gunstig of een ongunstig effect hebben op de door het gebouw op te nemen windkracht. Maar ook kan worden onderzocht of de constructies der verdiepingvloeren een demping van trilling kunnen teweegbrengen bijv. door het toepassen van veren. Het World

Trade Center in New York is een sky-scraper waar een dergelijke trillingsdemping is gerealiseerd. Ook in aardbevingsgebieden is de mate en wijze van trillen van een gebouw van groot belang en moet bij het ontwerpen van de constructie in beschouwing worden genomen.

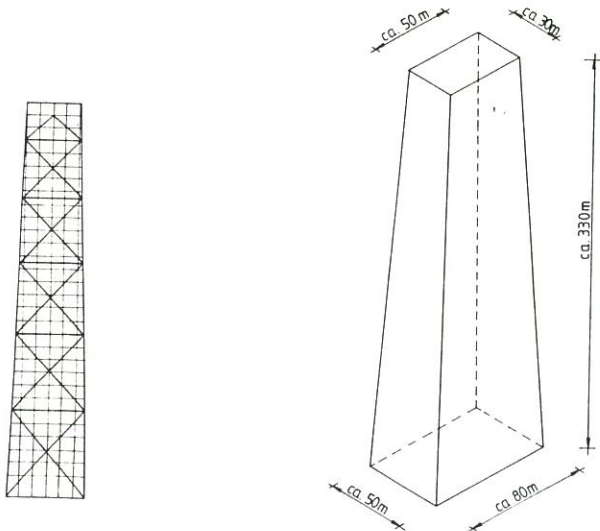
Materiaal

Aanvankelijk werden hoge gebouwen uitsluitend gemaakt met staalconstructies en voor zeer hoge gebouwen blijft dit het aangewezen constructiemateriaal. Bij niet extreem hoog bouwen kan echter, bijv. gezien de eisen ten aanzien van brandpreventie en -bescherming, ook met voordeel worden gedacht aan een betonconstructie. Toepassing van constructief lichtbeton is in dit verband uiteraard belangrijk. Ook met behulp van beton kan toch redelijk hoog worden gebouwd. Dit 'redelijk' is reeds praktisch vertaald als circa zeventig verdiepingen (Water Power Plaza 1973 Chicago). Wel moeten aan de te vervaardigen betonkwaliteit buitengewoon hoge eisen worden ge-

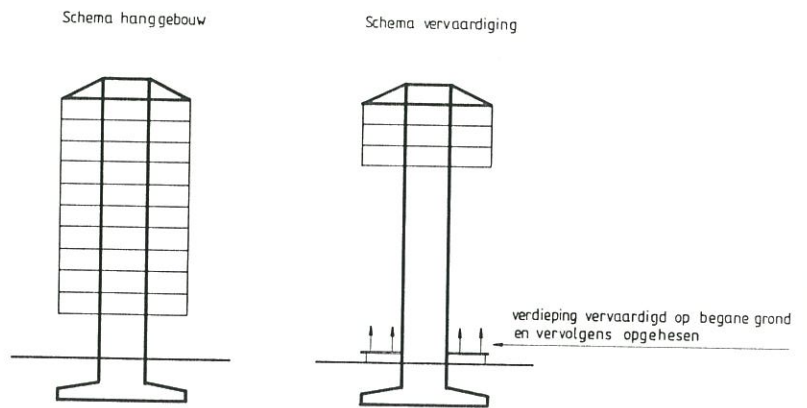
steld. Eisen die bijv. in de Verenigde Staten normaal worden gevonden, maar in Nederland een nieuwe standaard betekenen, die normaal niet wordt geproduceerd, tenzij voor geprefabriceerd beton. Alleen een zeer wetenschappelijk samengestelde en voortdurend gecontroleerde betonspecie kan voldoen bij het realiseren van dergelijke constructies. Ook kan worden gedacht aan samenstellingen van constructiematerialen door bijv. de binnenkern in beton op te trekken en de gevelkolommen van staal te maken. Wel ontstaan daardoor problemen met elastische en plastische verkortingen etc. omdat staal en gewapend beton verschillende eigenschappen bezitten. Het is bij het maken van een ontwerp echt van belang de diverse mogelijkheden en eventuele combinaties na te gaan alvorens te beslissen welke combinatie in een specifiek geval een goede, doelmatige en goedkope oplossing zal leveren.

De vloeren zullen in verband met brandpreventie en geluidsisolatie het best van beton kunnen worden vervaardigd. Stalen tralielg-

Afbeelding 6



Afbeelding 7





Zoetermeer

gers die de vloeren dragen, kunnen veel vrijheid leveren voor het plaatsen van leidingen en kanalen.

Bij toekomstig hoog bouwen in Nederland dienen architect en constructeur mentaal vrij te zijn van eventuele voorkeuren gebaseerd op de traditionele bouwpraktijk; voor matig hoge gebouwen is immers betonbouw gebruikelijk. Ook de in Nederland werkende aannemers zullen zich met het oog op uitvoeringstechnieken moeten heroriënteren.

Gevels

Uit eenzijdig constructief oogpunt is het zaak zo licht mogelijke gevels toe te passen. Reeds omstreeks 1880-1890 werd dit ingezien bij de ontwikkeling van hogere gebouwen in Chicago.

Klassiek voorbeeld is het Home Insurance Building uit 1884. Op den duur heeft dat geleid tot de ontwikkeling van zeer lichte gevels van aluminium en glas met lichte isolatiematerialen. Nu is het kiezen van een juiste gevel met het oog op isolatie- en warmtecapaciteit in verband met het binnenklimaat en de installaties daarvoor altijd al een moeilijke zaak. Met het oog op duurzaamheid, gering energieverbruik, kwaliteit van de voegen, eisen van brandpreventie enz. zal niet altijd beslist kunnen worden een superlichte gevel toe te passen. Een opbouw in lagen ligt het meest voor de hand met stralingschermen buiten en een massa aan de binnenzijde in verband met de warmtecapaciteit.

Maar bij hoogbouw moet bij het toepassen van welke gevel dan ook, bovendien worden gerekend met niet alleen grote lengteveranderingen die kunnen optreden in de gevel zelf door temperatuurverschillen, maar ook met de niet-gelijktijdige lengteveranderingen die zullen optreden in de constructie-elementen waaraan de gevel is bevestigd. Deze constructie-elementen zullen lengteveranderingen ondergaan

door wisselende belastingen, door wisselende temperaturen en eventueel door kruip en krimp. Bovendien zal meestal één der gevels de meeste zonbestraling krijgen en die gevel kan dus met de lengteveranderingen 'uit de pas' lopen ten opzichte van andere onderdelen.

Speciale uitvoeringen

Bij hoogbouw komt als regel veel repetitie voor van dezelfde elementen. Het is zaak daar maximaal gebruik van te maken om de bouwkosten zo laag mogelijk te houden en de bouwtijd te bekorten. Wanneer er duidelijkheid gaat ontstaan over de vorm van het gebouw en de beste constructie, is het zaak de diverse constructie-elementen en samenvoegingen daarvan nog eens kritisch te bezien in het licht van de uitvoeringsmogelijkheden. De uitvoering moet erop gericht zijn de maattoleranties binnen zo nauw mogelijke grenzen te houden. Bij betonbouw (of bij een betonelement) kan gedacht worden aan een uitvoering in glijbekisting, aan prefab enz. Een speciale vorm van hoogbouw die typische uitvoeringsmogelijkheden biedt, wordt gevormd door de zogenaamde hanggebouwen waarvan er te beginnen rond 1960 diverse in West-Europa werden uitgevoerd. De hanggebouwen bestaan uit een stijve kern, waarop een stijf uitkragend dak is geplaatst, waaraan de verdiepingen worden opgehangen. Er zijn dan geen dragende kolommen in de gevel, wel hangstijlen. Die stijlen kunnen kleinere dimensies krijgen dan draagkolommen doordat uitknikken niet mogelijk is. Dit type gebouw leent zich voor een rationeel uitvoeringssysteem, doordat er de mogelijkheid is de verdiepingvloeren op de beganegrond te maken en ze vervolgens langs de kern omhoog te hijsen (zie afbeelding 7). Bovendien kan de afbouw plaatsvinden van boven naar beneden en kan de gereedgekomen ruwbouw op de voet volgen. Transporten voor de afbouw kunnen binnen de schacht plaatsvinden. Terwijl buitenom de schacht het ma-

ken van de ruwbouw ongestoord doorgaat. Als regel kan men zo'n tien verdiepingen boven elkaar plaatsen en laten hangen aan het dak. Bij hogere bouw kan een stijve tussenverdieping worden gemaakt waaraan eveneens een dergelijk aantal verdiepingen hangt of waarop verdiepingen dragend worden geplaatst. Het is opvallend dat in nieuwe wijken in en rond Parijs enige matig hoge torens recent aldus zijn geconstrueerd. Hoewel de constructie relatief duur is, zijn er blijkbaar voldoende stedenbouwkundige overwegingen (bijv. de grote vrijheid in de ruimte op de beganegrond) om voor deze oplossing te kiezen.

Besluit

In het voorgaande is getracht een overzicht van en een inzicht in de constructieve mogelijkheden te geven van hoge gebouwen. Daarbij is vermeden diep in te gaan op zaken die specifiek tot het beperkte vakgebied van de constructeur behoren, zoals het bezien van de mogelijkheid van materiaalvermoeidheid, het behoud van een zogenaamde statisch onbepaalde reserve in verband met calamiteiten waarop een ontwerp nu eenmaal niet kan worden afgestemd, toepassing van breuktheorie dan wel elasticiteitstheorie enz. Wel is ernaar gestreefd duidelijk te maken hoe het architectonische ontwerp wordt beïnvloed door constructieve problemen die zich aandienen bij hoogbouw en hoe een en ander tot oplossing kan worden gebracht. Daarbij heeft men als Nederlander ten aanzien van het zeer hoge bouwen het voordeel van de achterstand. Men kan namelijk kennis nemen van veel van wat er elders in de wereld reeds is gepresteerd.

Tegelijkertijd rijst echter de vraag waarom die achterstand er nog in belangrijke mate is. Een hoogte van 100 m geldt in Nederland als zeer hoog.* In ons omringende landen is hoog bouwen als regel op veel groter schaal aanvaard. Een feit blijft ook dat men een eeuw geleden in de V.S. reeds overtuigd was van de noodzaak tot hoog bouwen en daarom toen reeds het prototype van de 'sky-scraper' ontwikkelde. Sindsdien werd op vele plaatsen in de wereld eveneens overgegaan tot het bouwen van wolkenkrabbers.

Hopelijk kan dit themanummer van 'BOUW' bijdragen tot een verheldering van de factoren en motieven die ten grondslag liggen aan het beslissen tot hoog bouwen.

Of is het voor Nederlanders toch niet mogelijk een antwoord te geven op de vraag: zijn steden als New York, Chicago, Hongkong, Rio de Janeiro, San Francisco en Singapore groot geworden dank zij hoog bouwen of zijn ze groot geworden ondanks hoog bouwen?

* De hoogte van de Medische Faculteit in Rotterdam bedraagt 104 meter.