



WOONGEBOUW KJ, DEN HAAG

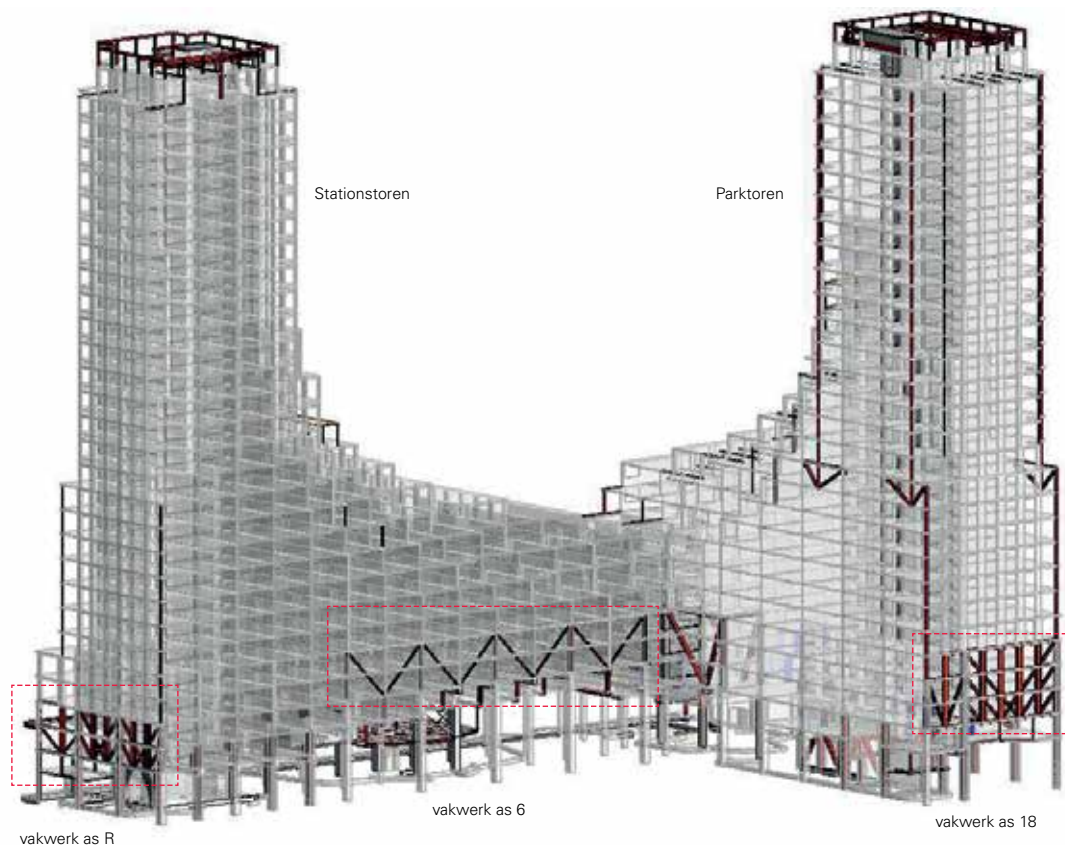
Verscholen staalconstructie

Op een prominente locatie in Den Haag, aan het Koningin Julianaplein, verrijst woongebouw KJ. Twee 90 m hoge woontorens worden op de bestaande fietsenkelder van 8.000 m² gebouwd. De gebouwplint sluit direct aan op de stationshal van Den Haag CS. Naast de opgave van een open structuur voor doorwaadbaarheid op de begane grond, diende ook rekening te worden gehouden met een kolom- en funderingsvrije zone van 14,4x75 m voor het toekomstig doortrekken van het RandstadRail tracé. Het krachtenspel in de Parktoren boven deze zone heeft geleid tot een constructief kunststuk in ontwerp, uitwerking en realisatie.

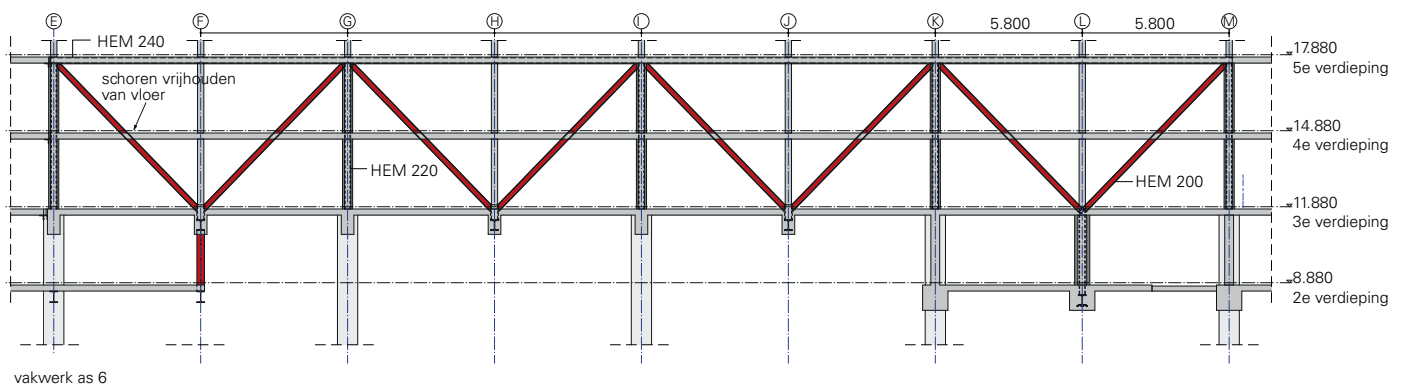
ir. H.L. Luu RC, drs.ir. S.C.B.L.M. van Hellenberg Hubar RC en ir. P. Peters RO

Pim Peters is partner/raadgevend ingenieur, Sebastiaan van Hellenberg Hubar is projectleider, beiden bij IMd Raadgevende Ingenieurs in Rotterdam. Lin Luu is constructeur/projectleider.





1. Constructiemodel, in rood: staalconstructie.



2. Vakwerk as 6.

Voor deze woningbouwopgave is een tender uitgeschreven met het ontwerp op de fiet-senkelder als uitgangspunt. De markt kon inschrijven op een woongebouw dat wordt opgevangen door de fundering van deze kelder.

In plaats van het oorspronkelijke uitgangspunt, een lichtgewicht bouwsysteem voor de bovenbouw, is gekozen voor een betoncascos van wanden met betonnen vloeren. Hierdoor is de constructiehoogte van de vloer gereduceerd, waardoor binnen de toelaatbare gebouwhoogte meer verdiepingen gereali-seerd konden worden. Door de toename van het eigengewicht was het niet overal voldoende om enkel de betonnen woningscheidende

wanden als wandliggers af te dragen op de kolommenstructuur in de onderbouw. Zodoende schuilen er achter deze betoncon-structie onmisbare stalen overgangsconstruc-ties.

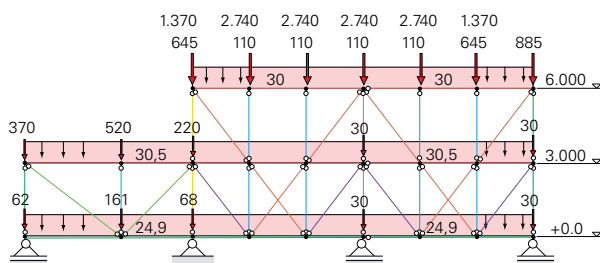
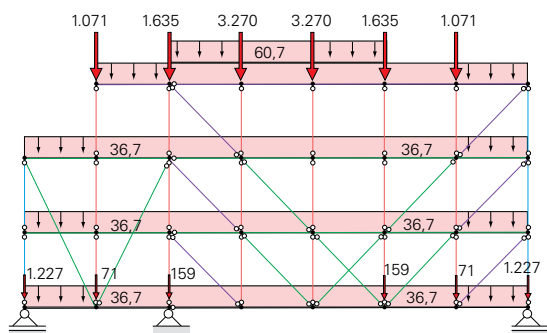
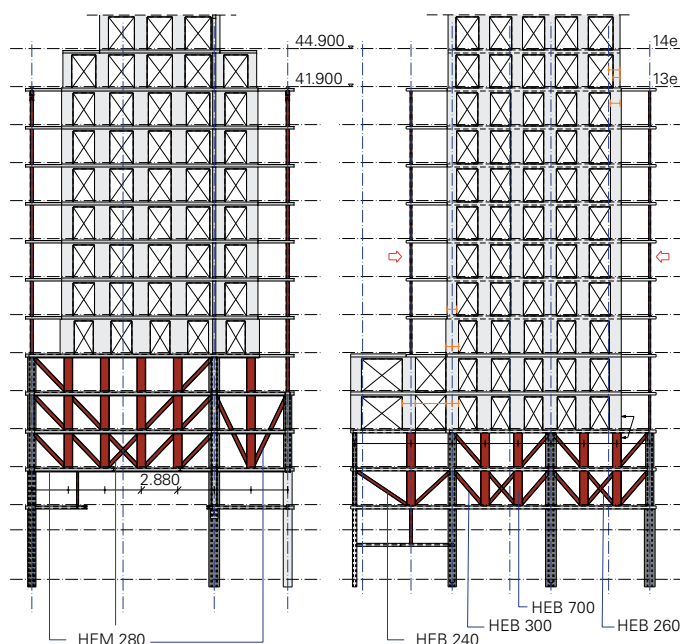
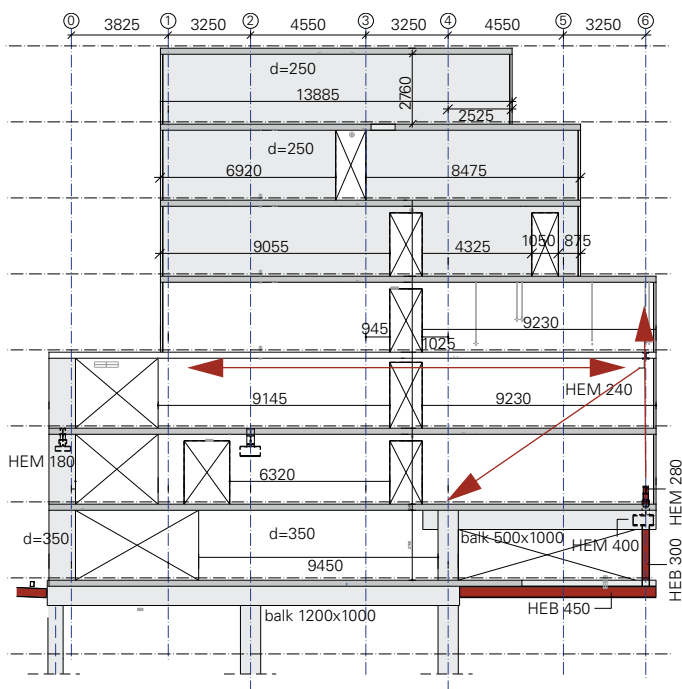
Er is een uitgebreide risicoanalyse uitge-voerd waarbij voor de verschillende kritieke constructie-onderdelen het gevolg bij falen is geanalyseerd. Bij de staalconstructie is onderzocht wat de mogelijkheden zijn om de robuustheid van de (volledige) constructie te vergroten (tweede draagweg).

Verdiepinghoge vakwerken

De noodzakelijke stalen overgangsconstruc-ties zijn vormgegeven in één of meerdere

verdiepinghoge vakwerken. Deze zijn gepositioneerd in de onderste lagen van de bovenbouw van begane-grondniveau tot en met het 5^e verdiepingvloerniveau.

Vakwerk boven doorgang stationshal (as 6)
Vanwege de openheid richting de stationshal was esthetisch de wens om onder de gevel om de stramienmaat een kolom weg te laten. Dit is mogelijk gemaakt via een vakwerk in de gevel. Dit twee verdiepingen hoge vakwerk tussen de 3^e en de 5^e verdiepingvloer brengt de krachten vanuit de tussengelegen assen (F, H, J en L) naar de naastgelegen assen (E, G, I, K en M), zie afbeeldingen 2 en 3. De diagonalen gaan door de 4^e verdiepingvloer en zijn



los gehouden van het beton. Bij de berekening van het vakwerk is onderscheid gemaakt tussen de bouw- en eindfase. Voor de dimensionering is het vakwerk berekend met scharnierende opleggingen. In werkelijkheid zal de aansluiting met de betonconstructie enigszins zijn ingeklemd, waardoor horizontaalkrachten door de verbinding de vloer worden ingeleid. Bij het ontwerp van de verbinding en het vakwerk zijn meerdere rekenschema's gebruikt, rekening houdend met de verschillende tijdelijke situaties.

Het vakwerk op as 6 fungeert, zoals gezegd, als afdrachtsconstructie van de wandliggers op assen F, H, J en L naar de naastgelegen

assen. Door de vorm van de wandligger kan deze bij bezwijken van het vakwerk als uitkragende wandligger fungeren. Hierdoor treedt geen voortschrijdende instorting op.

*Vakwerken kopgevels Park- en Stationstoren
(resp. as 18 en as R)*

De kopgevels bestaan uit penanten die de krachtsafdracht van de eindvelden van de verschillende verdiepingen verzorgen. Aan deze 'wanden' vol openingen wordt geen stabiliteit ontleend. Deze kopgevelwanden dragen slechts verticale belastingen af. Vanwege de funderingsvrije zone moet bij de Parktoren tussen assen A en C een overspanning van $2 \times 7,2 \text{ m} = 14,4 \text{ m}$ worden

gerealiseerd. In de plint is daarom een drie verdiepinghoog vakwerk ontworpen om de belastingen naar de kolommen in de onderbouw op assen A, C en D af te dragen.

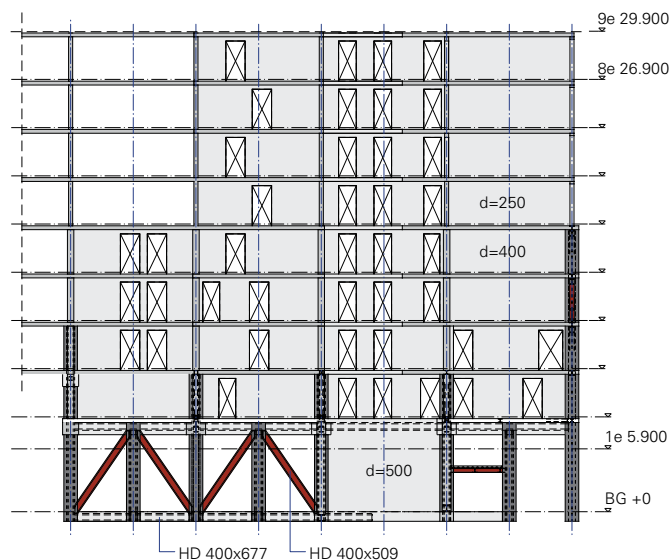
Vakwerk as 18 van 4^e tot 5^e verdieping
Voor de berekening van de vakwerken is gebruik gemaakt van het rekenschema in *afbeelding 5*, waarbij de belastingen uit de penanten aangrijpen op het 5^e verdiepingsvloerniveau.

Daarnaast is gebruik gemaakt van vier aanvullende schema's om de invloeden van de volgende parameters in acht te nemen.

- Bij statisch onbepaalde vakwerken heeft de stijfheid van de opleggingen een significante



6. Plaatsing HD-profiel over stekken onderbouw.



7. Staalconstructie as C, begane grond.



8. Staal-beton kolommen met stalen 'waaier' als drukdiagonaal.

invloed op krachten in de elementen en de verbindingen.

- Het binnenblad van de kopgevels van de boven de vakwerken liggende verdiepingen, bestaande uit penanten en lateien, draagt in zekere mate bij aan de stijfheid van het geheel. In combinatie met de statisch onbepaalde schematisering kan dit leiden tot herverdeling van krachten, zowel in de elementen als in de steunpunten.
- Vanwege de grote kolomdimensies en detaillering waarbij de kolom over enkele verdiepingen bevestigd is aan de bovengelige wandliggers en vakwerken, is er sprake van een inklemming die momenten genereert in de verbinding. Het effect hiervan

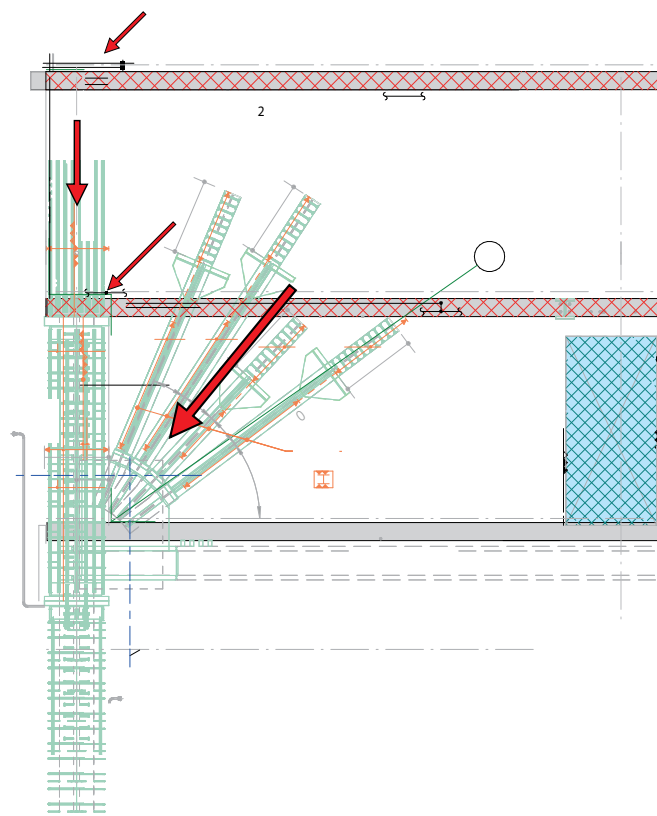
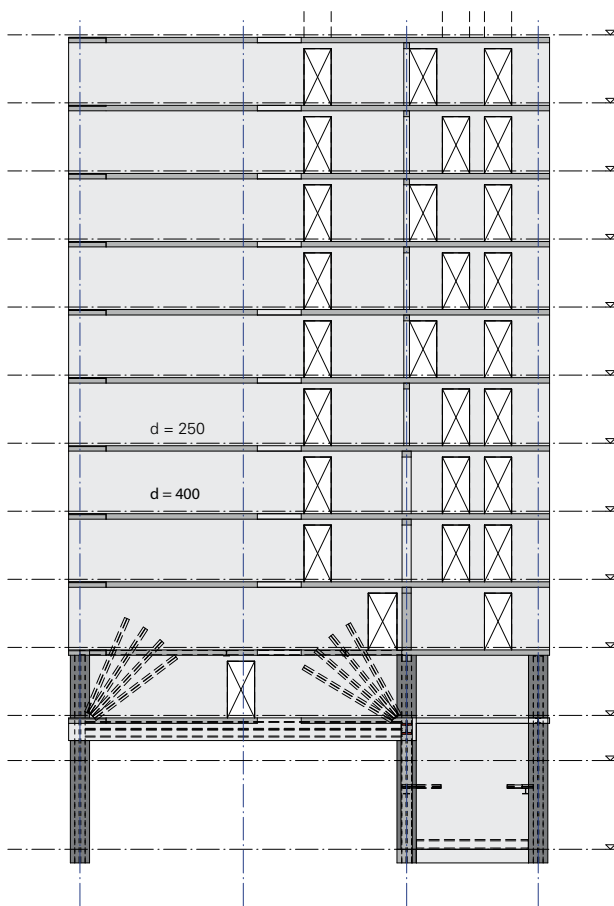
is onderzocht. De doorlopende staal-beton kolommen moeten ook berekend worden op de momenten die veroorzaakt worden door de rotatiestijve verbinding. Dit bleek echter niet maatgevend.

Bij de berekening van de staal-beton kolommen zijn enkel momenten meegenomen die veroorzaakt worden door verhinderde krimp.

- Uit de sonderingen volgt dat een diep gelegen slappe leemlaag aanwezig is. In de tijd leidt deze laag tot zettingen en daarmee een herverdeling die tot verhoogde krachten in het vakwerk kan leiden. Dit effect is in combinatie met bovenstaande punten beschouwd en meegenomen in de uitwerking van de vakwerken.

Tenslotte is het vakwerk zo opgebouwd dat meerdere krachtslijnen naar de kolommen mogelijk zijn. Hiermee is de tweede draagweg gewaarborgd bij wegvallen van één willekeurige diagonaal. Voor de berekening van de verbindingen dient hier tevens rekening mee te worden gehouden. Het verwijderen van kolommen niet zijnde die op as A, C of D is ook mogelijk. De kolommen op as A, C en D moeten worden gezien als het verlengde van de staal-beton kolommen op de begane grond en zijn daarmee key-elementen (zie ook 'Staal-beton kolommen').

De overige vakwerken in dit plan fungeren ook als overgangsconstructie. De wijze van berekening van deze vakwerken is gelijk aan



9. Links: wandligger as 16 (Parktoren), rechts CCT-knoop in wandligger as 16.

die van het vakwerk op as 6. Bij alle vakwerken is dus ook rekening gehouden met de verschillende bouwfasen waarin verschillende rekenschema's van toepassing zijn.

Vakwerk begane-grondniveau Parktoren (as C)
De wand op as C met een lengte van $4 \times 7,8 \text{ m} = 31,2 \text{ m}$ is verantwoordelijk voor de stabiliteit van de gehele Parktoren en vormt samen met de kern in de Stationstoren de enige stabiliteits-elementen in het hele complex die doorlopen tot en met de begane grond. Vanwege de openheid is van deze $31,2 \text{ m}$ slechts $7,8 \text{ m}$ als betonwand uitgewerkt. De rest wordt gevormd door een staalconstructie. Deze staalconstructie fungeert ook als overgangsconstructie

naar de kolomposities van de onderbouw. Via aangelaste stekken op een ingestorte stalen ligger worden op 1e verdiepingvloerniveau de stabiliteitskrachten in het beton naar het staal ingeleid. Vanaf dit niveau wordt de totale belasting gespreid door de staalconstructie naar ook de tussengelegen steunpunten in de onderbouw. Om de afdracht van de stabiliteit mogelijk te maken, is de onderbouw zo afgestemd dat in deze zone iedere $3,9 \text{ m}$ een kolom aanwezig is in de fietsenstalling.

Staalconstructie as C, begane grond

Vanuit de al gerealiseerde onderbouw is stekwapening opgenomen om de afschuifkrachten vanuit de bovenbouw in het kelder-

dek in te leiden. Vanwege de belastingspreiding naar begane-grondniveau is hier ook een staalprofiel aanwezig. De stekken dienen door beide zijden van de flens gestoken te worden. Voor J.P. van Eesteren waren de posities van de stekwapening een gegeven. Voor alleen as C betroffen dit 37 ankers M36 bij de stalen liggers en ter plaatse van de betonwand twee rijen $\varnothing 25-150$.

Normaliter werkt men in de uitvoering met overmaatse gaten om passingsproblemen te voorkomen. Constructief was de ruimte hiervoor beperkt. Zodoende zijn alle stekken met een 3D-scan ingemeten en vanuit de puntenwolk meegenomen in het model van de staalbouwer. In de uitvoering heeft dit

Projectgegevens

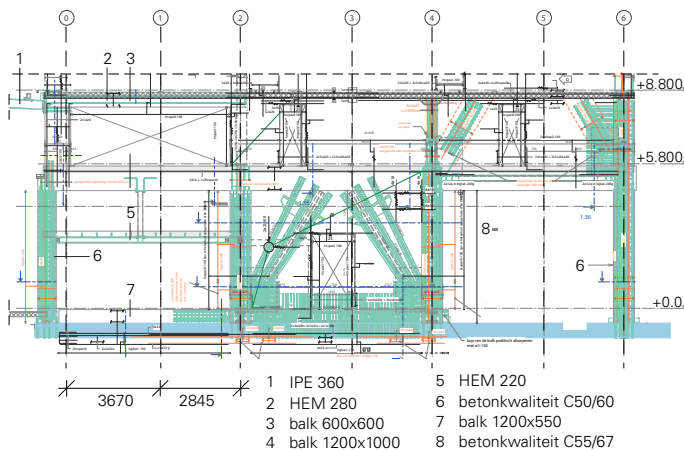
Opdracht Ontwikkelcombinatie Koningin Julianaplein (OCKJ), een samenwerking van Amvest en Synchroon • *Architectuur* Powerhouse Company, Rotterdam • *Constructief ontwerp* Imd Raadgevende ingenieurs, Rotterdam • *Uitvoering* J.P. van Eesteren, Gouda • *Staalconstructie* Staalbouw Nagelhout Bakhuizen • *Staalconstructeur* KTN Engineering, Sint Nicolaasga • *Landschapsarchitectuur* Delva Landscape Architecture & Urbanism, Amsterdam • *Fotografie* David Rozemeyer voor J.P. van Eesteren, Haagsehoogbouw.nl



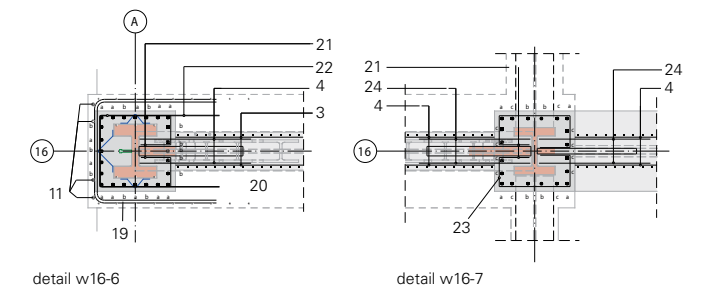
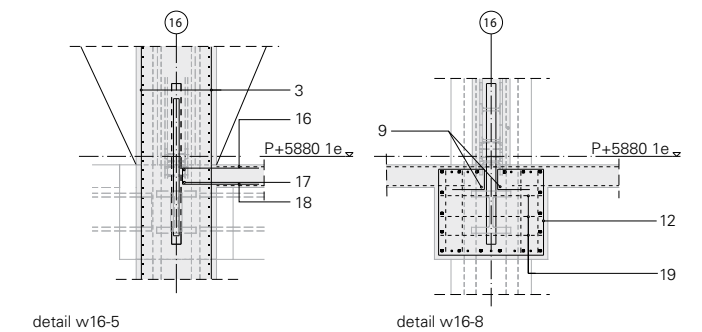
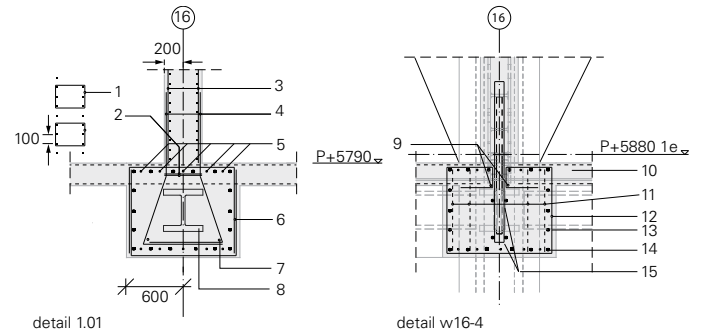
10. Krachtsinleiding knoop met wapeningsstaven.



11. Wandaanzicht as Q (Stationstoren), in uitvoering.



12. Wandaanzicht as Q (Stationstoren), ontwerp.



- | | |
|--|--|
| 1 2 bgls ø16 | 15 2x2 ø32m, gelast aan staalplaat, las l=300mm |
| 2 2xbgls ø16-400 om stekken ø20-100 | 16 vloerwapening |
| 3 2x# ø20-100 | 17 2x ø16n |
| 4 2xstkn ø20-100 | 18 hrsp ø8-100 |
| 5 ø25k | 19 3xhrsp ø25 |
| 6 bgls ø10-200, als dubbele hrsp uitvoeren | 20 stekwapening ø10-400 gelast aan stalen kolom, over volledige hoogte kolom |
| 7 2 ø20i | 21 bgls aan binnenzijde tegen schetsplaat aan |
| 8 HD 400x509 | 22 3hrsp ø10 |
| 9 2x ø10 (langs schetsplaat) | 23 vorm bgls ø10-200 afstemmen op vorm staalconstructie (variabele vormen) |
| 10 6 ø25+4 ø25k | 23 vorm bgls ø10-200 afstemmen op vorm staalconstructie (variabele vormen) |
| 11 4xhrsp ø25 | 24 2xstkn ø20-100r |
| 12 bgls ø10-200, als hrsp uitvoeren | |
| 13 2 ø25 | |
| 14 6 ø25 + 5 ø25j | |

13. Wandligger as 16: detailuitwerking.



14. Torens in aanbouw vanaf Koekamp gezien (foto: Haagsehoogbouw.nl).

geleid tot een soepel proces zonder substantiële aanlopers.

Staal-beton kolommen

Naast de zichtbare overgangsconstructies in de plint is een flinke hoeveelheid staal toegepast in het beton. Tot aan de 5^e verdieping zijn waar nodig staal-beton kolommen toegepast om de hoge belastingen af te kunnen dragen. De grootste kolombelasting bedraagt 46.200 kN. Aanvullend zijn alle kolommen onder de torens getoetst volgens NTA 4614-3 (Convenant Hoogbouw). De torens zijn immers hoger dan 70 m. De zwaarst belaste kolommen, op posities 14A en 16A, zijn dus berekend op $46.200 \times 1,2 = 55.440$ kN. Al deze key-elementen zijn tijdens de productie in de fabriek, de montage en de uitvoering op de bouw uitgebreid geïnspecteerd op uitvoering conform het ontwerp.

Knopen

Deze kolommen steken vanuit de begane grond door tot aan hoogstens de 5^e verdiepingvloer. Daarboven gaat de constructie over in dragende betonwanden via stalen knopen. Deze knopen zijn ontworpen op de bovengrens van de belasting zoals die met de

onderbouw is afgestemd. De optredende belasting varieert bij de torens van 4.620 kN tot 11.600 kN en in de vallei, het gebied tussen de torens, van 4.200 kN tot 35.000 kN. Om de krachtsinleiding vanuit de wandligger naar de kolom mogelijk te maken is afhankelijk van de grootte van de kracht gebruik gemaakt van aangelaste wapeningsstaven tot in de wand ingestorte HEM-profielen. In *afbeelding 10* is de knoop in de wandligger op as 16A getoond.

In deze CCT-knoop (knoop die twee drukstaven (C, compression) en één trekstaaf verbindt (T, tension)) wordt allereerst ingezoomd op de onderste diagonaal. Voor de krachtsinleiding zijn staalprofielen en wapening in de diagonaal toegepast. Hiermee is 39.600 kN van de 55.440 kN in te leiden. De rest wordt ingeleid met de diagonaal op de tweede verdieping en verticaal rechtstreeks boven op de kolom. Een resterend deel wordt ingeleid over de bovengestane verdiepingen en ook deels rechtstreeks in verticale richting. Voor de verticale krachtsinleiding is een kopplaat gelast boven op het staalprofiel van de staal-beton kolom, met aangelaste stekken. Ten slotte is in de betonbalk onder aan de wandligger een stalen ligger HD 400x509 als

trekband ingestort, samen met $8 \times \varnothing 32$.

Deze staal-beton verbindingen leiden tot uitvoeringstechnisch complexe knopen met een hoge dichtheid van wapening rondom de staalprofielen. Gezien de krachtwerving is het ook noodzaak dat alle hoekjes die ontstaan volledig volgestort en goed verdicht worden.

De aannemer heeft daarom extra aandacht besteed aan de samenstelling en de verwerkbaarheid van het beton. Daarbij zijn in de, diagonaal in de wand geplaatste, profielen gaten opgenomen om een goede doorstroming van het betonmengsel te bevorderen.

Extra kolommen en liggers

Naast de hiervoor omschreven grootste staalconstructies zijn er op diverse posities in het gebouw stalen kolommen en liggers (in de vloer gestort) toegevoegd. Dit was nodig omdat de vorm van de vallei en *setbacks* (terugliggende gevel op een hoger gelegen verdieping) het niet mogelijk maakte om overal direct op het stramien af te dragen. Hoewel op het eerste oog niet opmerkelijk op de bouwplaats, schuilt er dus een robuuste staalconstructie achter het betonwerk van dit woongebouw. •