



Brugdeel voor luchtkasteel

In het constructief ontwerp van het hoogste woongebouw van Amsterdam, dat recent aan het IJ is verrees, spelen bouwmethode en bouwsnelheid een belangrijke rol. Een speciale rol is weggelegd voor de opbouw van de staalconstructie die de overspanning vormt tussen de beide torens van Pontsteiger.

ir. S.J. Schoenmakers en ir. D.J. Kluit

Steven Schoenmakers is constructeur/projectleider en Dirk-Jan Kluit holding directeur, beiden bij Van Rossum Raadgevende Ingenieurs in Rotterdam.

Het Pontsteigergebouw bestaat uit twee torens van 90 m hoog met hiertussen een brug die ruim 50 m overspant met voornamelijk koopwoningen en een laagbouwdeel van zes lagen met huurwoningen. Het appartementencomplex staat op de plek van de vroegere pontsteiger in het IJ. Op deze locatie werd

ooit aangelegd door vrachtschepen en later door de veerpont over het IJ tegen een houten steiger (afb. 1).

Begin 2015 is begonnen met de sloop van de bestaande houten steiger. De bovenbouw van de steiger is verwijderd, maar de houten palen bleven. Na uitgebreid bodemonder-

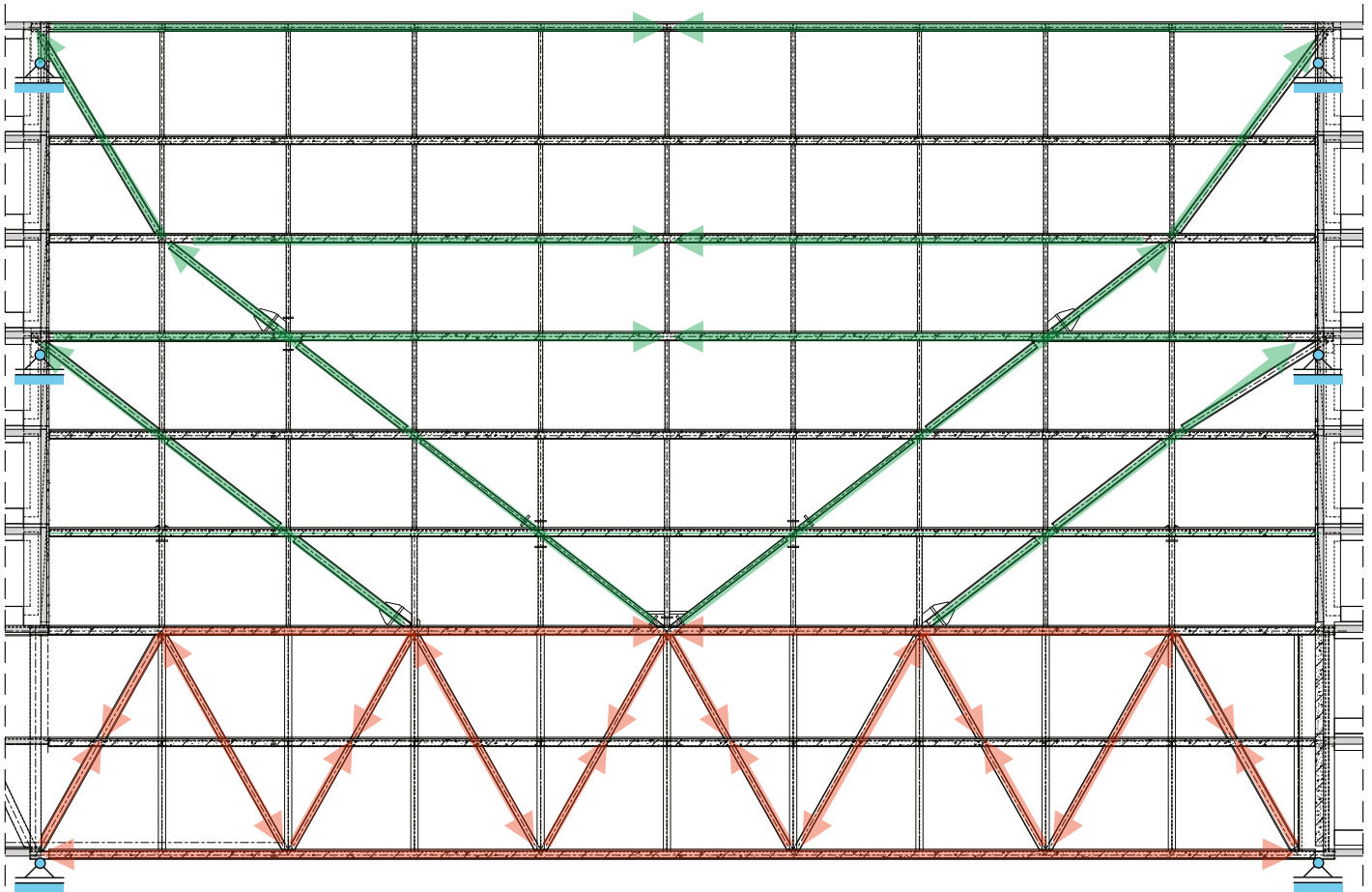
zoek om explosieven uit WOII rondom de bouwlocatie uit te sluiten, is midden in het IJ een bouwkuip in open water gerealiseerd. Direct naast het gebouw is vervolgens een aanvaarbeveiliging aangebracht om aanvaringen door zware vrachtschepen te voorkomen.

Constructief ontwerp

Het gebouw kan worden onderverdeeld in vier constructief verschillende onderdelen (afb. 2). Onder het waterniveau wordt een kelder gerealiseerd. Bij de bovenbouw is dit een éénlaagse kelder, hierbuiten een tweelaagse kelder. Samen met de retail- en kantoorfunctie op maaiveld vormt dit de

1. Op deze locatie werd ooit aangelegd door vrachtschepen en later door de veerpont over het IJ tegen een houten steiger.

2. Het appartementencomplex heeft vier 'volumes': onderbouw (in bruin), laagbouw (in groen), torens (in rood) en de brug (in blauw)



3. Principe krachtswerking spanten.

onderbouw van het complex. De kelderconstructie is volledig in het werk gestort. Een zeslaags appartementsgebouw wordt als een lage U gebouwd. Dit is een constructie van in het werk gestorte wanden, breedplaatvloeren en prefab kernen. Blikvanger van het project zijn de twee torens – vrijstaand, tot een hoogte van 60 m – met hierboven een 30 m hoge brugconstructie die een overspanning maakt van ruim 50 m tussen beide torens. De torens bestaan uit dragende prefab binnenwanden en een dragende prefab betongevel. Deze prefab constructie wordt doorgezet tot aan het dakniveau. Door het toepassen van een systeem van prefab betonelementen kon de gewenste bouwsnelheid – van één verdieping per toren per week – behaald worden. Tussen beide torens worden stalen vakwerkspanten opgelegd, vier spanten maken de overspanning van toren naar toren.

Staalconstructie

De brugconstructie bestaat zoals vermeld uit vier stalen vakwerkspanten. Deze spanten maken een overspanning van ruim 50 m tussen beide torens. In de beide gevels van de brug is één spant ontworpen en in het midden van de brug worden twee spanten toegepast. De spanten worden in de torens opgelegd op de betonnen achterwand van de liftschaft, met een dikte van 540 mm of op verzwaarde kolommen in de hoeken van de toren (900x900 mm²). Doordat de oplegging van de spanten is afgestemd op de plattegronden van de torens, varieert de hart-op-hart afstand van de spanten.

In het ontwerp stadium is een parametrische ontwerpstudie uitgevoerd om de spanten zo efficiënt mogelijk uit te voeren en de hoeveelheid staal te minimaliseren. Hierbij is gevarieerd in onder meer de hoogte van het

spant, de posities van de diagonalen en het aantal spanten. Aangezien alle spanten met verschillende hart-op-hart afstand worden toegepast, zijn de vier spanten ook verschillend gedimensioneerd.

Uitvoering en hijsgewicht

Maatgevend in het ontwerp van de stalen spanten is de tijdelijke bouwsituatie. Om tot een efficiënte uitvoering te komen, zijn de spanten zo ontworpen dat ze als één geheel over twee lagen ingehesen kunnen worden en de overspanning kunnen maken van toren naar toren. Deze tweelaagse spanten kunnen het gewicht van de onderste vloer dragen. Doordat in dit stadium de nuttige hoogte van het spant slechts 7 m is, levert dit over de onderste twee lagen van het spant een relatief zware constructie op. Door de uitvoeringsmethodiek is het echter niet nodig om in de



4. In de tweelaagse spanten over de onderste verdiepingen zijn V-vormige diagonalen toegepast, deze worden om-en-om op trek en druk belast (afb. 3).



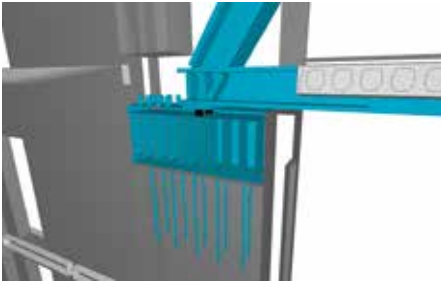
5. De spanten zijn per schip vervoerd en ingehesen.

bouwfase een tijdelijke ondersteuning voor de spanten te realiseren. Speciale aandacht moest hierbij worden besteed aan het maximale gewicht van deze tweelaagse spanten. Dit was gelimiteerd door het hijsgewicht van de kranen die de spanten op hun plaatst moesten hijsen. In de eindsituatie worden tussensteunpunten verkregen voor het onderste tweelaagse spant. Dit spant wordt als het ware opgehangen aan de diagonalen hierboven. De horizontaalcomponent uit deze diagonalen maakt evenwicht tussen beiden torens, zodat voorkomen wordt dat de diagonalen een grote horizontaalkracht op het stabiliteitsstelsel van de torens uitoefent (afb. 3). In het tweelaags spant over de onderste twee verdiepingen worden V-vormige diagonalen toegepast, deze worden om-en-om op trek en druk belast. De V-vormige diagonalen zijn

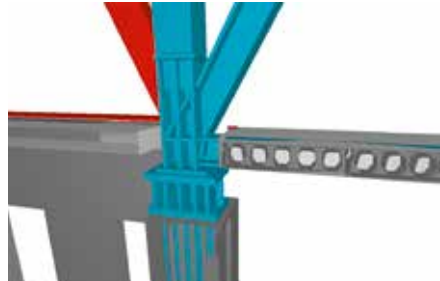
gewenst vanuit het beeld van het gebouw. Het stalen spant is visueel doorgezet in een van beiden torens, als architectonische *feature*. Constructief is dit spant in de toren losgekoppeld van het spant in de brug. Dit om te voorkomen dat het brugspant gaat inklemmen in de toren wat tot te hoge krachten op de onderliggende betonconstructie zou leiden. Het schijnsbant dat in de toren is toegepast draagt uitsluitend de verticale belasting van de bovenliggende torendelen.

Montage

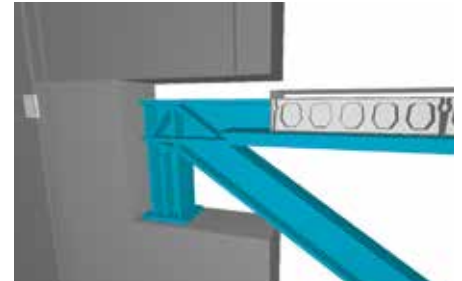
De staalconstructie is geproduceerd en gemonteerd door Buiting Staalbouw. In Almelo zijn de onderste twee lagen van de spanten over de volledige 50 m lengte geproduceerd en in elkaar gelast. Vervolgens zijn de spanten per schip naar de bouwplaats in vervoerd. Hier wordt het tweelaagse spant in één keer



6. Oplegging middenspannt 18e verdieping.



7. Oplegging gevelspannt 18e verdieping.



8. Oplegging middenspannt verdiepingen.



9. De vakwerkspannten worden uitsluitend verticaal opgelegd op de torens.

op de torens geplaatst. In *afbeelding 4* en *5* zijn de eerste twee spannten te zien die in het werk geplaatst zijn.

Nadat alle vier de spannten zijn geplaatst en het montagestaal is aangebracht – dat gedurende de bouw fase uitknikken van de bovenregel moet voorkomen – wordt een hangbord onder de brug geplaatst en worden de kanaalplaten van de onderste brugverdieping aangebracht. Vanaf dit plateau wordt het verdere staal in delen gemonteerd.

Oplegging en vloeren

De vakwerkspannten van de brugconstructie worden uitsluitend verticaal opgelegd op de torens. In horizontale richting wordt een glijdende oplegging gerealiseerd, om te voorkomen dat vanuit de diagonalen een grote horizontaalkracht in de torens wordt ingeleid. De horizontaalkrachten uit de diagonalen

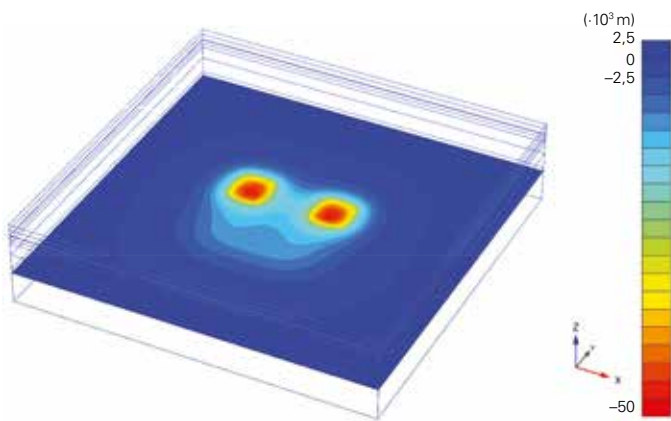
maken evenwicht met elkaar via de horizontale drukregel in het spant. Zodoende wordt de horizontaalkracht op de torens vanuit de vakwerkspannten beperkt. Indien de diagonalen horizontaal aan de torens bevestigd zouden worden, dan zouden de krachten uit de diagonalen een extra dwarskracht op de torens uitoefenen gelijk aan de grootte van de windbelasting. Dit zou resulteren in een meer dan dubbel zo zwaar stabiliteitssysteem van de torens.

Gezien de grote overspanning tussen de beide torens, is in het ontwerp extra aandacht besteed aan het vloersysteem in de brug en de mogelijke trillingen van de vloeren. Diverse varianten voor de vloer zijn onderzocht. Zo is gekeken naar kanaalplaatvloeren, staalplaat-betonvloeren en Slimline-vloeren. Gekozen is voor kanaalplaatvloeren die overspannen van spant naar spant. Hierbij was de

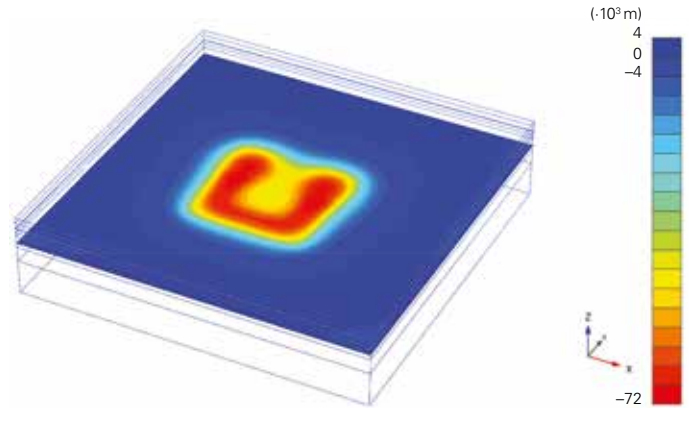
stijfheid van de vloeren maatgevend boven de sterkte. Om de kans op hinderlijke trillingen te minimaliseren, is een relatief stijve vloer toegepast. Hiernaast is ervoor gekozen om massa toe te voegen aan de vloeren. Er wordt een schuimbeton afwerklaag over de constructieve druklaag toegepast, deze afwerklaag biedt ook direct ruimte voor het verslepen van leidingen in de vloer.

Windbelasting

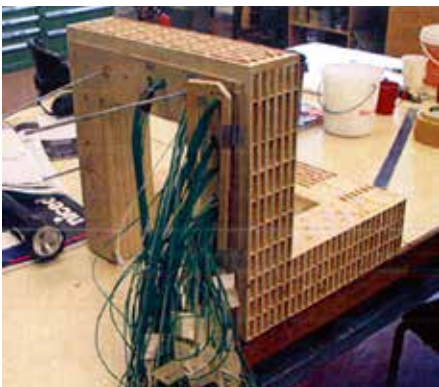
Door de gebouwworm bestaat de kans op windefecten die voor hogere windbelasting op het gebouw kunnen zorgen dan door de Eurocode wordt omschreven. Onder meer het Venturi- of tunneleffect (*afb. 13*) kan worden veroorzaakt door de omgekeerd staande U. Er is een windtunnelonderzoek (*afb. 12*) uitgevoerd om deze windefecten te meten. Op lokale punten zijn in het windtun-



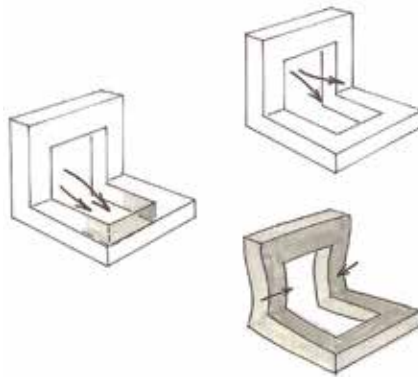
10. Verticale grondvervormingen na 100 jaar op NAP -42 m.



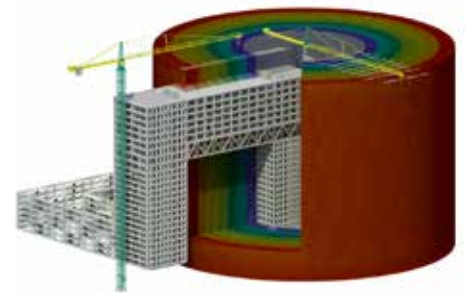
11. Verticale grondvervormingen na 100 jaar op NAP -24 m.



12. Op lokale punten zijn hogere belastingen gevonden dan de windbelasting volgens de Eurocode.



13. Venturi-windeffecten.



14. Kraaninzet uit BIM-model.

nelonderzoek aanzienlijk hogere belastingen gevonden dan de windbelasting volgens de Eurocode. Onder meer in de gevel onder de brug wordt een windzuiging tot een factor 1,75 hoger gevonden.

Voor het globale constructieve systeem geeft het windtunnelonderzoek lagere waarden aan dan de Eurocode. De gevonden momenten en dwarskrachten op de fundering zijn lager. De lokale onderdelen zoals gevelelementen worden echter op de hogere optredende belastingen ontworpen zoals deze volgen uit het windtunnelonderzoek.

Zettingsverschillen toren en laagbouw

Door de grote verschillen in verticale belastingen tussen de torens en de laagbouw is ervoor gekozen om beide op een verschillende diepte te funderen. Zo kon er voldoende draagvermogen voor de torens worden gehaald.

De twee torens zijn gefundeerd op de derde zandlaag in Amsterdam, die ter plaatse van Pontsteiger gevonden wordt op ongeveer -40 m NAP (afb. 10). De omliggende laagbouw is gefundeerd op de tweede zandlaag, op ongeveer -22 m NAP (afb. 11). Door het verschil in verticale belastingen en paalpuntniveau, was de verwachting dat beide delen zich verschillend zullen gedragen en een verschil in zettingsgedrag vertonen. Door de geotechnisch adviseur is een analyse gemaakt voor de te verwachten zettingsverschillen tussen de torens en laagbouw.

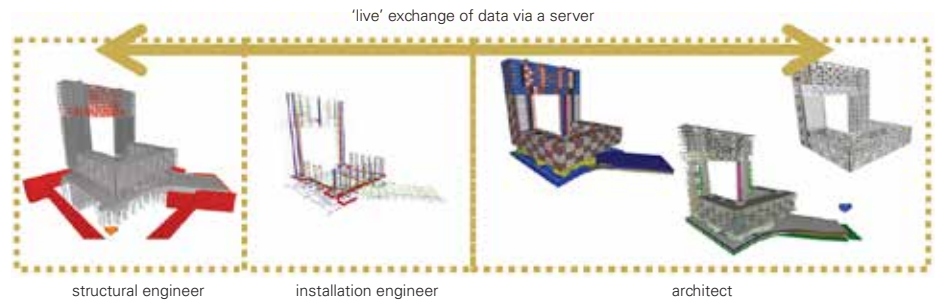
Doordat de torens op een stijvere zandlaag worden gefundeerd, was de verwachting dat de torens minder zullen zakken dan de laagbouw. Berekend is dat de zettingen onder de laagbouw 45% groter zullen zijn dan onder de torens. De zettingsverschillen treden al grotendeels op in de ruwbouwfase, wanneer de

permanente belasting aanwezig is. In de onderbouw – waar in de kelder de laagbouw en torens bij elkaar komen – wordt in de bouw zo lang mogelijk een stortstrook open gehouden (totdat de ruwbouw van de bovenbouw afgerond is). Hierdoor kunnen zettingsverschillen in de ruwbouwfase optreden, zonder dat dit tot krachten in de constructie leidt. De stortstroken zijn eveneens gewapend op een opgelegd vervormingsverschil, dat overeenkomt met het volledige zettingsverschil tussen hoog- en laagbouw. In de praktijk blijkt dat de optredende zettingsverschillen tussen torens en laagbouw, na gereedkomen ruwbouw van de torens, aanzienlijk minder zijn dan vooraf berekend in de zettingsanalyse.

BIM

Vanaf VO-stadium is door betrokken partijen samengewerkt in een BIM-omgeving en in-

15. De data uit de BIM-modellen worden live uitgewisseld tussen de partijen. Zo heeft iedereen altijd de beschikking over de laatste informatie.



16. Hangbordes.



17. Artist's impression. Het schijnsparnt in de toren rechts draagt uitsluitend de verticale belasting van de lagen erboven en is dan ook ontkoppeld van de brugconstructie.

formatie uitgewisseld. Voor de bouwaanvraag is met de architect en de installatie-adviseur een prestatie-model gemaakt. Dit model bevat feitelijk de bestek-informatie en is door de onderaannemers en leveranciers gebruikt als onderlegger voor hun eigen productiemodellen. In dit stadium is met de architect en de installatie-adviseur gewerkt in een omgeving waarbij de data uit de BIM-modellen live worden uitgewisseld tussen de partijen (afb. 15). Zo hebben alle partijen altijd de beschikking over de laatste informatie van de andere partners.

Het BIM constructie-prestatie-model bevat onder meer informatie als materiaalkwaliteiten, milieuklassen en constructieve brandwerendheids-eisen. Het model kan worden gezien als alternatief voor de traditionele vormtekeningen, met de daarop beschreven informatie. Nadat het prestatie-model aan de

verschillende onderaannemers en leveranciers is verstrekt, heeft verdere uitwisseling van informatie plaatsgevonden via de open BIM-standaard (ifc). Door de verschillende partijen is een eigen productiemodel gemaakt, dat getoetst kan worden aan het prestatie-model. Hiernaast is er informatie over de uitvoering in het BIM-model toegevoegd, zoals de kraanzinnet (afb. 14).

Ook 2D

Als hoofdconstructeur zijn door Van Rossum Raadgevende Ingenieurs de verschillende BIM-modellen van de leveranciers gecontroleerd op de aanwezige informatie. Controle van wapening en dergelijke vindt nog steeds plaats op basis van platte 2D-tekeningen, aangezien deze tekeningen worden gebruikt als productiedocumenten en worden ingediend bij Bouw- en Woningtoezicht. •

Projectgegevens

Opdracht Dura Vermeer Vastgoed/M.J. de Nijs Projectontwikkeling, Utrecht/Warmenhuizen • *Architectuur* Arons en Gelauff architecten, Amsterdam • *Constructief advies* Van Rossum Raadgevende Ingenieurs/Van Rossum Infra, Rotterdam/Amsterdam • *Bouwbedrijf* Bouwcombinatie Pontsteiger (Dura Vermeer Bouw Midden West/Bouwbedrijf M.J. de Nijs & Zonen, Cruquius/Warmenhuizen) • *Staalconstructie* Buiting Staalbouw, Almelo • *Geotechnisch adviseur* Crux Engineering, Amsterdam • *Installatie-advies* Hiensch Engineering, Amsterdam • *Bouwfysisch advies* DPA Cauberg Huygen, Amsterdam • *Oplevering* 2018