



Nieuw icoon voor de skyline van Eindhoven

Slanke constructie voor monumentale Bunkertoren

Onder het motto van constructieve veiligheid wordt bij veel nieuwbouw gekozen voor het toepassen van heel veel beton. De relatief lage kosten van het materiaal staan dat niet in de weg. Vanuit het principe duurzaam construeren is dat echter niet wenselijk. Daarom is voor de nieuwbouw van de 100 m hoge

***Bunkertoren** (foto 1) gezocht naar een minimale betonconstructie, zowel voor de vloeren als de betonwanden.*

→



auteurs



IR. PATRICK VAN DODEWAARD

Projectleider
IMd Raadgevende
Ingenieurs



IR. ROB TREELS RC

Projectleider
IMd Raadgevende
Ingenieurs



IR. PIM PETERS RO

Directeur / Raadgevend
Ingenieur
IMd Raadgevende
Ingenieurs

De Bunker is een begrip bij iedereen die in Eindhoven heeft gestudeerd.

Van de vroegere mensa tot de studentenverenigingen die er tot 2016 gehuisvest waren: veel (oud-)studenten hebben herinneringen aan deze markante plek (foto 2). In 2015 is gestart met de ontwikkeling om de Bunker een nieuw leven te geven. Het gebouw was niet meer van deze tijd en bouwkundig in slechte staat. Maar het was ook een pand met monumentale waarde op een interessante locatie in de stad. Daarom is de bestaande Bunker in de nieuwbouwplannen gedeeltelijk gehandhaafd (fig. 3). Door het toevoegen van een toren en parkeerkelder, die opbrengsten genereren, is dit ambitieuze plan haalbaar gemaakt.

Door de Bunker niet geheel te slopen maar te gebruiken als podium voor de nieuwe woontoren, ontstaat er een unieke plint die de eenheid tussen het monument en nieuwbouw creëert.

De nieuwe toren, met variërende plattegronden, telt 127 huurappartementen en 85 koopappartementen. In de plint zijn kantoren en horeca gesitueerd. Onder het voormalige parkeerterrein is een parkeerkelder ontworpen, met op maaiveldniveau een stadspark. De draagconstructie is opgebouwd uit dragende wanden, een betonnen kern en penanten in de gevel. De constructie is grotendeels in het werk gestort.

Waardering voor bestaande Bunker

De vorm en materialisering van de nieuwe toren zijn direct afgeleid van de karakteris-

tieke elementen van de bestaande Bunker (foto 4). Hierbij valt te denken aan rauwe materialen en gevels met een hoekverdraaiing. Het effect van de samensmelting wordt versterkt ter plaatse van de entree; hier zijn bestaande gevelelementen doorgezet in de nieuwbouw (foto 5).

In het ontwerp van de bestaande Bunker van de beroemde architect Huig Maaskant is bij de bouw in 1969 een zeer uitgekende constructie toegepast met weinig reserve in de draagcapaciteit. Hoewel de naam anders doet vermoeden, bezit het bestaande gebouw een slanke constructie opgebouwd uit dunne betonnen gevels, balkenstructuur en zelfs een staalskelet. De kenmerkende elementen van het gebouw blijven behouden. Zo blijven de buitengevels zo veel mogelijk (architectonisch) ongewijzigd.

Door de jaren heen hebben er behoorlijk veel interne verbouwingen plaatsgevonden aan het gebouw, waardoor de logica van de constructie soms niet te achterhalen is. Het ontbreken van constructieve archiefgegevens was hierbij een groot gemis. Iedere aanpassing aan de bestaande constructie moest dus in het werk worden onderzocht. Het uitgangspunt hierbij was dat er geen extra belastingen worden toegevoegd aan de constructie en dat bij alle nieuwe constructieve ingrepen de krachten direct worden afgedragen naar de bestaande draaglijnen.

De funderingswijze was in eerste instantie ook onbekend. Veldonderzoek heeft uitgewezen dat er een paalfundering was toegepast. →



3

Dankzij de relatief dunne vloeren van 280 mm was het mogelijk binnen het gestelde kader van 100 m hoogte een extra verdieping te realiseren



4



PROJECTGEGEVENS

- project**
Bunkertoren
- opdrachtgever**
Real Estate Development
Company en Being
Development
- architect**
Powerhouse Company
- constructeur**
IMd Raadgevende
Ingenieurs
- aannemer**
Van Wijnen Zuid
- leverancier prefab
balkons**
Geelen beton
- leverancier
bevestigingssysteem
(I-dock)**
Schöck



Doordat de balkons zijn bevestigd met een I-dockstelsysteem en enkele weken later werden geplaatst dan de penanten, was tijdelijk sprake van 'zwevende penanten'

ENGINEERINGS-COÖRDINATOR

IMd Raadgevende Ingenieurs heeft als hoofdconstructeur ook een aanvullende opdracht voor de rol als engineering-coördinator van de aannemer gekregen. Bij een dergelijk complex project waar veel onderaannemers en leveranciers bij betrokken zijn, is daardoor voorkomen dat er onduidelijkheden zijn ontstaan over de uitgangspunten en de onderlinge samenhang van de diverse onderdelen. Daarmee werd een soepel uitvoeringsproces mogelijk.

Terugplaatsen bestaande gevelelementen

Vanuit de gemeente is de eis gesteld de karakteristieke schuine betonnen gevelwanden van het oorspronkelijke gebouw zoveel mogelijk intact te laten. Een aantal van deze betonwanden zijn eruit gezaagd en tijdelijk ergens anders opgeslagen. Hierdoor ontstond er werkruimte om het nieuwe betonskelet uit te voeren. Nadat deze nieuwbouw gereed was zijn de uitgezaagde gevelwanden op de oorspronkelijke positie teruggeplaatst. Deze betonnen gevelwanden zijn met achterliggende stalen kolommen aan de nieuwe betonconstructie bevestigd (foto 6). Om bevestiging mogelijk te maken zijn speciale stalen hijsjukken ontworpen.

Bouwput binnen bestaand gebouw

Onder de nieuwe Bunkertoren en het naastgelegen voormalige parkeerterrein is een eenlaagse kelderbak voor de benodigde parkeerplaatsen en bergingen voorzien. Door het toepassen van een automatisch parkeersysteem bleek een eenlaagse kelder voldoende. Om dit systeem te kunnen plaatsen, is er gedeeltelijk een extra verdiepte kelder ontworpen. De positie van deze extra diepe bak is zo gekozen dat er geen afsluitende bouwputbodem benodigd was.

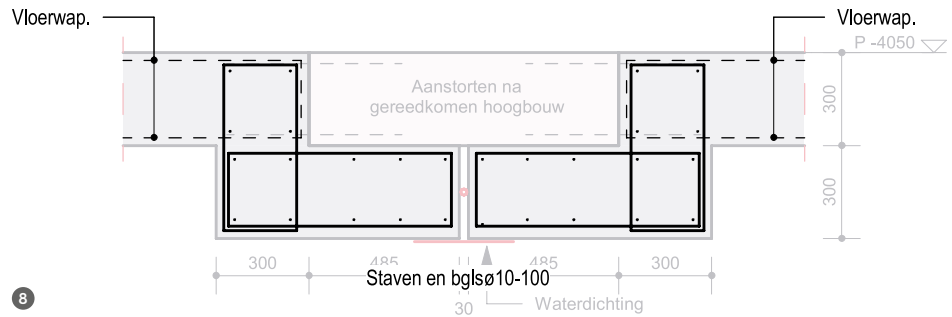
Het ontgravingsniveau van het diepste deel van de kelderbak is circa 6 m, wat vergelijkbaar is met het ontgravingsniveau van de fundering onder de toren. Om deze diepere betonconstructie te kunnen storten is een bouwput met zogenoemde soilmixwanden tegen de bestaande kelders van de Bunker gerealiseerd. Een soilmixwand is een grond- en waterremmende beschoeiingswand die bestaat uit een aaneengesloten reeks soilmixpanelen (foto 7). Deze panelen zijn een mix van grond en water/cement en zijn na menging over de nodige lengte voorzien van een staalprofiel. De soilmixwanden zijn gesteund met behulp van groutankers.

Gezien de afwisselende veen- en zandlagen op de locatie en de aanwezigheid van de kelder onder de bestaande bunker, is er gekozen voor een soilmixwand als minst risicovolle en economische oplossing.

De kelder onder de toren en de parkeerkelder naast de toren zijn tijdens de ruwbouw van elkaar losgekoppeld. Dit was nodig omdat de twee delen een verschillend zettingsgedrag zullen vertonen; de kelder onder de toren zakt meer door de geconcentreerde bovenbelasting. Een tijdelijke stortstrook werd opgelaten tijdens de ruwbouwfase (fig. 8). Nadat de toren nagenoeg op het →



Met de Bunkertoren is aangetoond dat constructeurs meer kunnen doen in de ontwerpen om de milieulast van het bouwen te reduceren



hoogste punt was, is deze strook aangevuld en is er één afgesloten kelder ontstaan.

Vanwege de hoge paalbelastingen (ca. 4500 kN) en de wisselende grondopbouw in Eindhoven zijn voor de nieuwbouw Fundexpalen met groutinjectie aangebracht. Hierdoor is het aantal palen geminimaliseerd en zijn lokaal lijnvormige funderingspoeren toegepast in plaats van een plaatfundering.

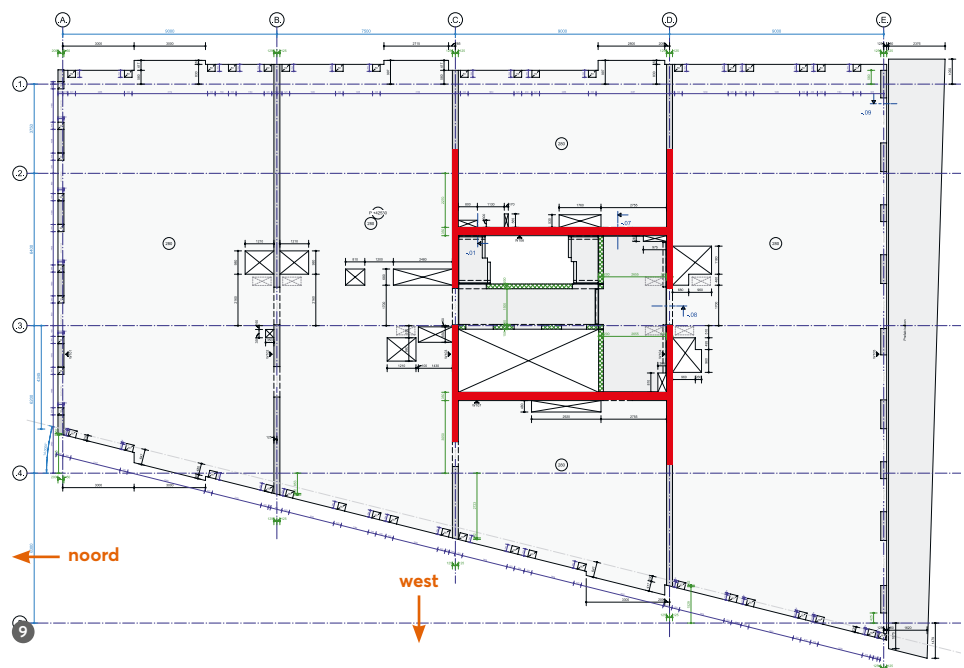
Slanke vloeren met grote beukmaten

De toren heeft grote beukmaten van respectievelijk 7,5 en 9 m (fig. 9). Door deze grote beuken is er een vrije indeelbaarheid mogelijk van de ruime woningen. De vloeren zijn ontworpen in een dikte van slechts 280 mm. Dankzij deze relatief dunne vloeren was het mogelijk om binnen het gestelde kader van

100 m hoogte een extra verdieping te realiseren.

Het toepassen van de dunne vloeren gaf technisch een aantal interessante uitdagingen. Zo is er na het storten van de vloeren acht weken doorgestempeld om een deel van de kruipvorming te beperken (foto 10). Om de vervorming door de permanente belastingen en het eigen gewicht te compenseren is een toeg aangebracht.

Door de slanke vloeren en dunne penanten lag er in het ontwerp en tijdens de collegiale toetsing veel nadruk op het ponsgedrag van de vloeren. Hierbij waren de inklemmingsmomenten van de vloerranden onderwerp van discussie. Door in een SCIA 3D-model van de kolom-vloeraansluitingen de spanningen op de periferie te berekenen, was het mogelijk de ponswapening beperkt



te houden (fig. 11). Dit neemt niet weg dat ponswapening onvermijdelijk was, maar dit woog ruimschoots op tegen de opbrengsten van een extra verdieping.

Winst in GO door slanke stabiliteitsconstructie

De nieuwe betonconstructie is volledig los gehouden van de bestaande constructie. De stabiliteit van de bestaande Bunker wordt vanwege de diverse ingrepen ontleend aan de nieuwbouw. Daarom is een verticale dilatatie toegepast, waarbij wel horizontale krachten kunnen worden doorgegeven.

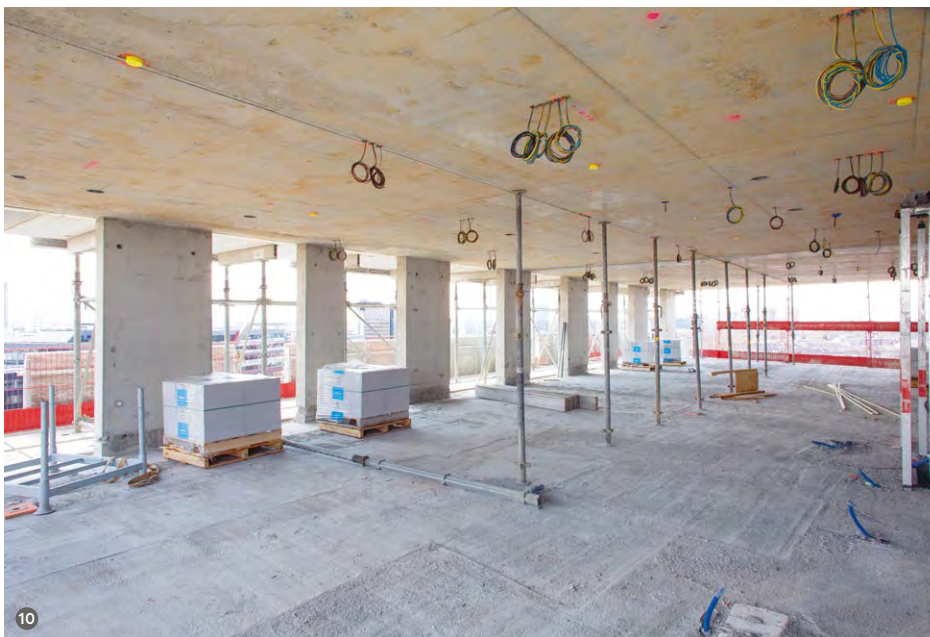
In de nieuwe toren verzorgen de woningscheidende betonwanden de stabiliteit in oost-westrichting. De wanden zijn met lateien in de centrale gangzone gekoppeld zodat er een doorgaande stabiliteitswand ontstaat (fig. 12). Door de gevelpenanten niet mee te nemen in de stabiliteit, konden deze worden uitgevoerd zonder lateien en kleiner zijn dan $0,5 \text{ m}^2$. Hierdoor mogen ze als gebruiksooppervlak (GO) worden meegerekend. Boven de 25e verdieping verzorgt de centrale kern alleen de stabiliteit en konden overal penanten worden toegepast zonder lateien. Hierdoor is extra flexibiliteit ontstaan in de woningtypen.

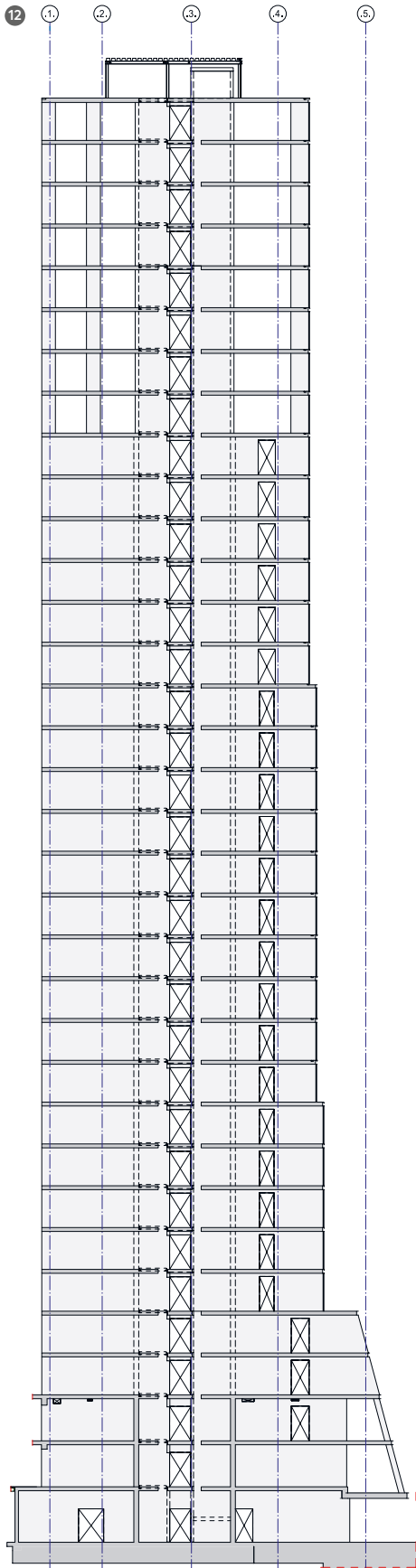
De analyses zijn uitgevoerd met behulp van 2D SCIA-modellen waarmee de verdeling

van de windbelasting tussen de verschillende wanden zijn geanalyseerd (fig. 13). Door de vorm van het gebouw reageert as D bijvoorbeeld een stuk stijver dan as B, waardoor krachten worden herverdeeld. Om de herverdeling van stabiliteitskrachten tussen de wanden onderling mogelijk te maken, zijn er op een aantal verdiepingen in de rekenmodellen koppelingen aangebracht tussen de wanden. Op deze verdiepingen is de schijfwerking in de vloeren afgewapend met extra trekbanden.

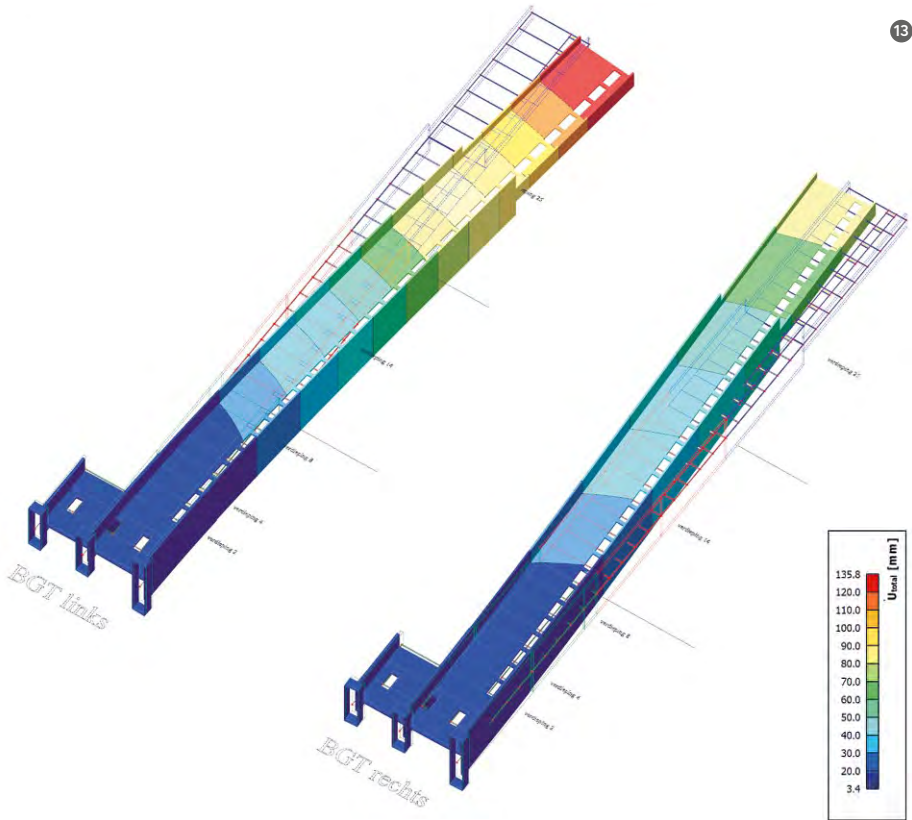
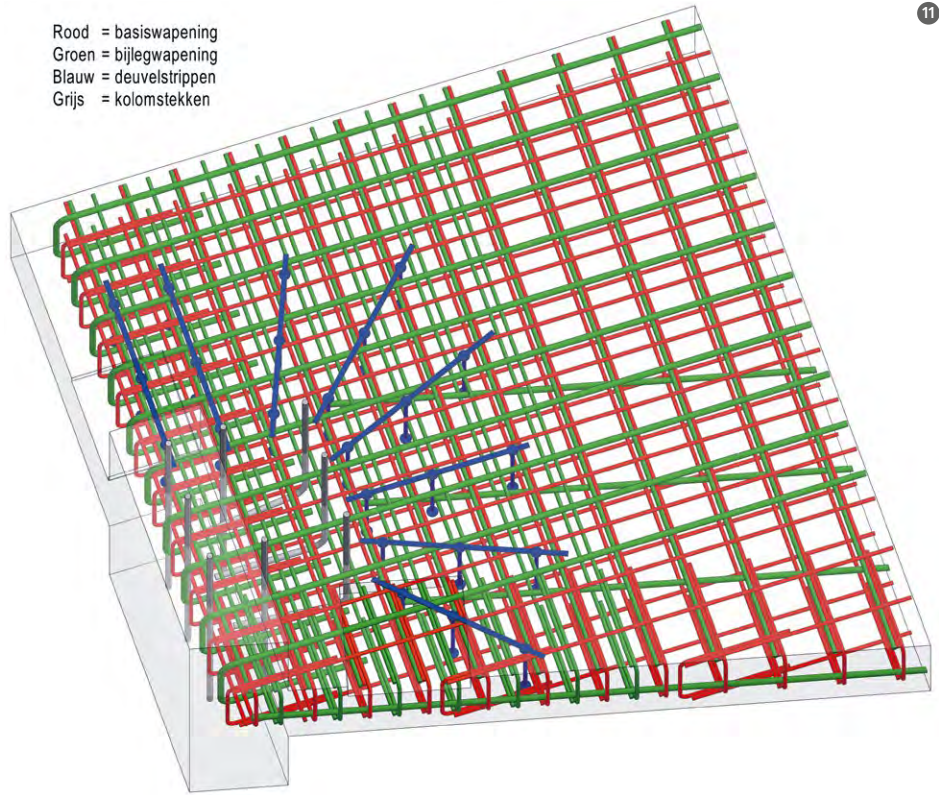
Om een diversiteit aan woningen mogelijk te maken, is voor de stabiliteit in noord-zuidrichting gekozen voor slechts twee relatief korte dwarswanden die op de onderste twee commerciële lagen met een stramien zijn verlengd. Samen met de wanden op de assen C en D vormen ze een stijf dubbel H-profiel (fig. 9). De slankheid boven de 2e verdieping is hiermee 1:11,5, waarmee de Bunkertoren zeer slank is.

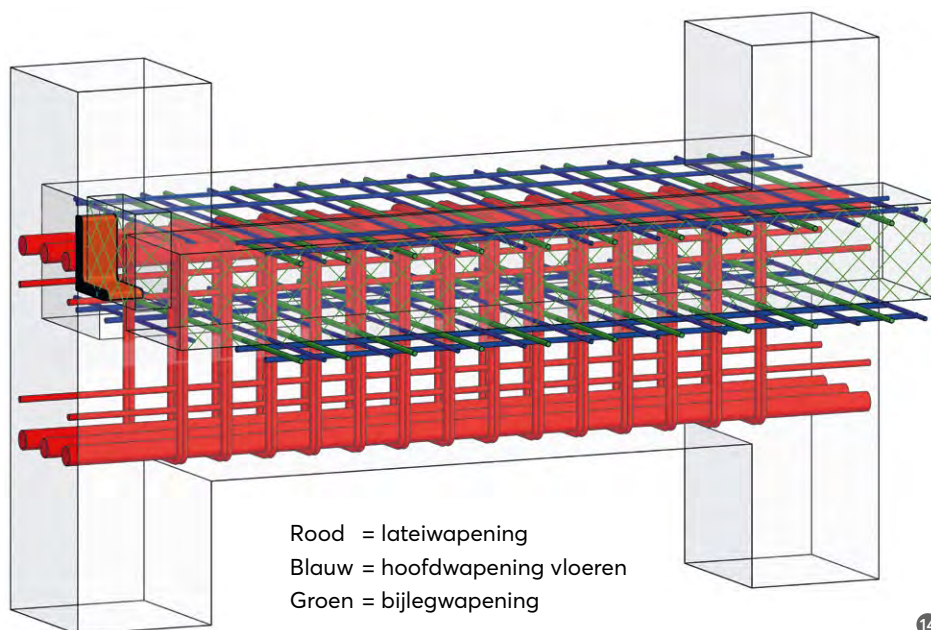
De hoge slankheid van de toren resulteert in een relatief grote vervorming met een aanzienlijk tweede-orde-effect tot gevolg. Om de vervormingen en het tweede-orde-effect te beperken (en daarmee de kritische lateikrachten), is er extra stijfheid toegevoegd aan de H-kern. De stijfheid is gevonden in het toevoegen van verticale wapening in de wanden van de H-kern (fig. 14). Met →





Rood = basiswapening
 Groen = bijlegwapening
 Blauw = deuvellstrippen
 Grijs = kolomstekken





14

M-N-kappaberekeningen is de daadwerkelijke stijfheid bepaald en daarmee de optredende vervormingen en krachtswerking nauwkeuriger bepaald. De kosten van deze extra wapening wogen op tegen de winst in GO doordat de wanden hierdoor over de gehele hoogte dunner konden worden uitgevoerd.

Tunnelsysteem voor een snelle ruwbouw en flexibele woningen

De bovenbouw is vanaf de 4e verdieping getunneld uitgevoerd om een snelle ruwbouwtijd te halen en steigerloos te kunnen bouwen (foto 15). De vorm van de vloerplategronden is iedere verdieping afwijkend doordat de toren steeds een stukje slanker wordt over de hoogte van het gebouw. De schuine lijn aan de westzijde is meegenomen in het tunnelproces, terwijl de uitdijende vorm aan de zuidzijde met prefab kolommen en breedplaten later volgde in een losse bouwstroom. Hiermee werd het mogelijk om een tunnelcyclus te halen van zes dagen per verdieping. In het constructief ontwerp is aangestuurd op een grote mate van repetitie in de dragende wanden en vloeroverspanningen. Vanaf de 25e verdieping zijn de dichte wanden vervangen door penanten die in het tunnelproces zijn meegenomen. Ook met een tunnelsysteem zijn daardoor verschillende woningtypen mogelijk. →



15

14 Zwaar gewapende latei in de H-kern

15 De bovenbouw is vanaf de 4e verdieping uitgevoerd met een tunnelbekisting

Dit ongebruikelijke detail is op initiatief van Imd Raadgevende Ingenieurs eerst getest met een proefopstelling op de begane grondvloer (foto 18). Alle partijen zijn zo in staat gesteld om input te leveren aan het detail en het te verbeteren. Dit alles met als doel om het detail onder de tijdsdruk van het tunnelproces ook goed te kunnen maken. Door deze uitvoerige voorbereiding is het gelukt om tot een voorspoedige en foutloze montage te komen. Een mooi voorbeeld hoe een samenwerking tussen de ontwerpende en uitvoerende partijen kan leiden tot een maakbaar eindresultaat.

CC3 en kritische elementen

Vanwege de hoogte van het gebouw valt de constructie in gevolgklasse CC3. In overleg met de opdrachtgever is een collegiale toets uitgevoerd door een externe partij. Tevens heeft er intern gedurende alle ontwerpfasen een schaduwteam meegewerkt.

Doordat de toren nagenoeg volledig in het werk is gestort, is er sprake van een hoge mate van robuustheid. De verdiepingvloeren zijn berekend op het wegvallen van een penant of kolom. In de SCIA-modellen van de vloeren zijn diverse scenario's onderzocht, waarbij er steeds een steunpunt is verwijderd. Een resultaat hiervan zijn diverse trekbanden in de vloeren, met name langs de gevels. De wanden zijn getoetst met staafwerkmodellen in het geval er een latei, wandligger of een penant bezwijkt. Ook dit resulteerde in een beperkt aantal trekbanden.

Op as E, ter plaatse van de entree, zijn twee schuine kolommen ontworpen. Deze kolommen maken niet alleen een architectonisch statement in de entree, maar lossen ook heel praktisch de overgang tussen toren, entreehal en onderliggende gedraaide rijbaan in de parkeergarage op. Omdat deze kolommen geen rekenkundig aantoonbare tweede draagweg hebben, zijn ze als kritisch element beschouwd. De kolommen zijn robuust gewapend, berekend als kritisch element en in de uitvoering extra gecontroleerd.

De Bunkertoren

De uitgekende constructie van de bestaande Bunker heeft geleid tot inspiratie om eveneens een slanke woontoren met minimale



betonhoeveelheden te ontwerpen. Dit heeft een positief effect op de milieulast. Met de Bunkertoren is aangetoond dat constructeurs meer kunnen doen in de ontwerpen om de milieulast van het bouwen te reduceren. De slanke constructie is mogelijk gemaakt door uitgebreide analyses, maar vereisen wel een goede samenwerking tussen constructeur en aannemer. Dit is een aspect waar constructeurs in de huidige bouwwereld vaak aan voorbij gaan. Grote slagen kunnen nog steeds worden gemaakt op dat gebied.

Het brutalistische icoon de Bunker, dat al ruim 50 jaar dienst doet, krijgt door toevoeging van de Bunkertoren een nieuwe verwachte levensduur van 125 jaar of meer. ●