

Licht innovatief



Foto: Ossip van Duivenbode i.o.v. het EPO

De draagstructuur van het nieuwe kantoor van het European Patent Office in Rijswijk is als geprefabriceerd bouw pakket op de bouw geleverd en in elkaar gezet. De keuze voor een volledig stalen skelet is het logisch gevolg van de eisen vanuit de opdrachtgever en de architectuur. Bij het ontwerp van deze, voor Nederland ongebruikelijke, hoogbouw zijn gebruikelijke opties tegen het licht gehouden.

ir. A.J. Robbemont RO

Arnold Robbemont is raadgevend ingenieur/adjunct-directeur bij van Zonneveld ingenieurs in Rotterdam.

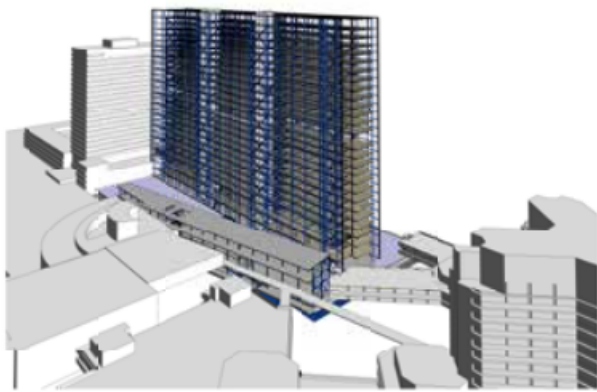
Rode draad in dit project is de fasering van de verschillende bouwdelen, waarbij het bestaande complex continu in gebruik is gebleven. Voorafgaand aan de bouw van New Main is een ondergronds energiecen-

trum aangelegd met leidingtunnels verweven met de bestaande tunnels. Hierna kon worden gestart met gedeeltelijke sloop van het bestaande verbindingsvolume de Hinge en de buiten gebruik name van het oude energie-

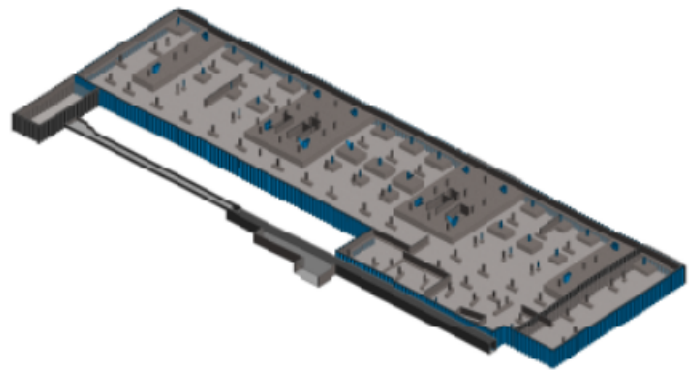
centrum. Na realisatie van de nieuwe Hinge en New Main wordt op dit moment het oude gebouw Main gedemonteerd. Daarna volgt de laatste fase: de bouw van de motor- en fietsenstalling waarop de vijver het complex voltooit.

Omveld

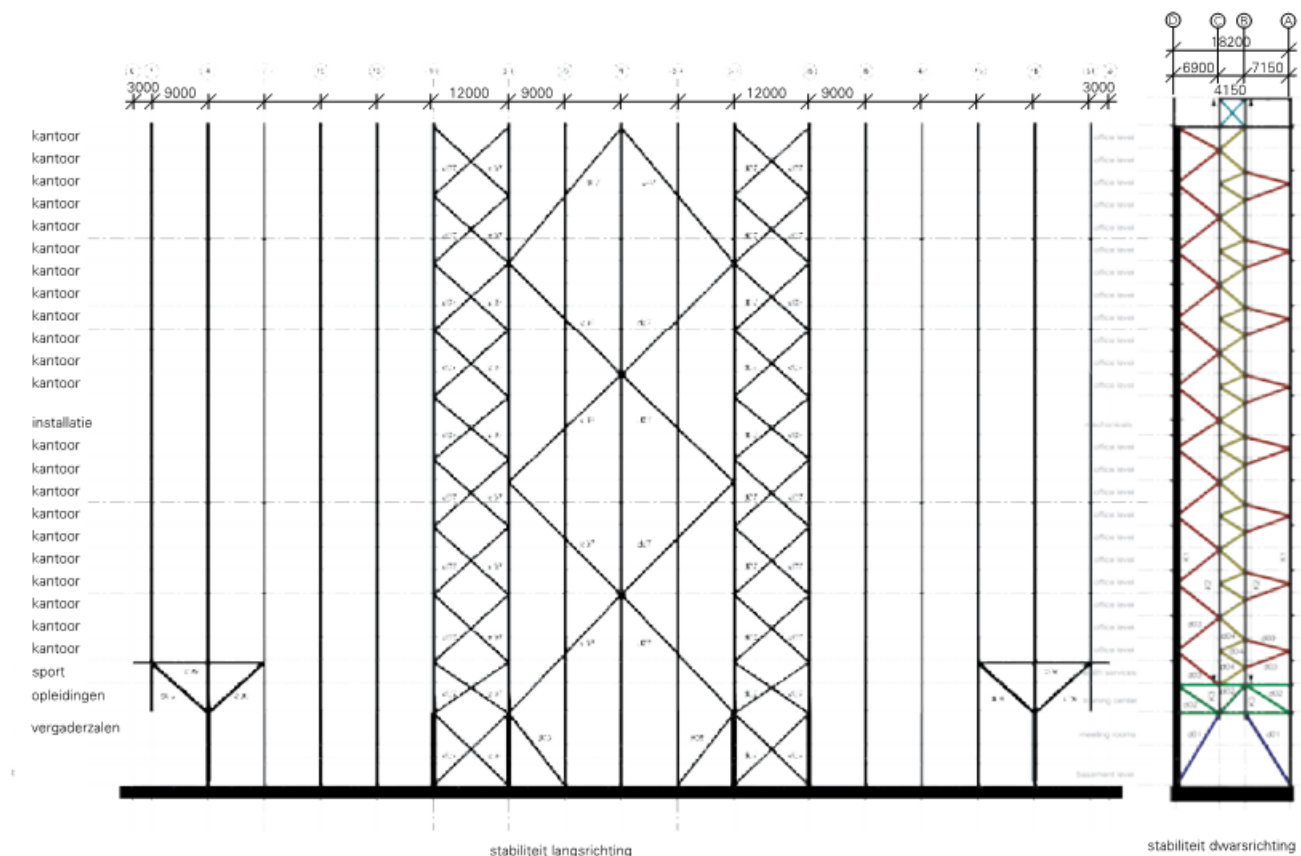
Door het EPO zijn hoge eisen gesteld aan overlastbeperking voor de werknemers in belendingen, waarvan de bestaande kantoortoren Main slechts op 15 m van de nieuwbouw afstaat. Uit een combinatie van eisen met betrekking tot trillings- en geluidsarm bouwen, een beperkte bouwlocatie en een hoge



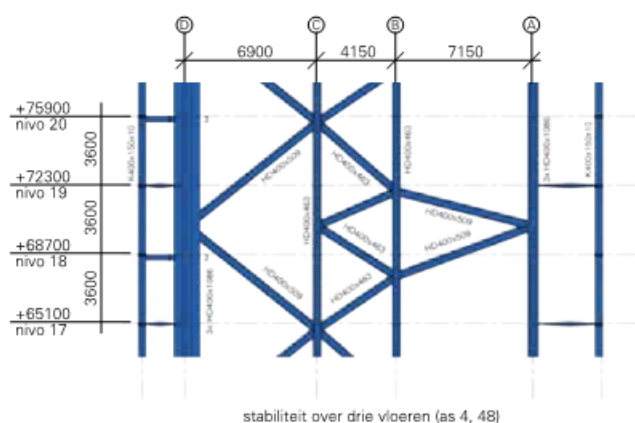
1. Overzicht van de constructie van het project, met de hoge toren New Main en de laagbouw van de Hinge.



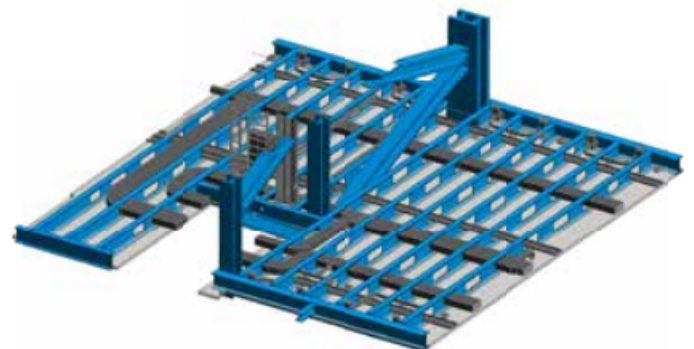
2. Fundering. Bij de kernen treden de grootste vervormingen op. Door het lage gewicht van het gebouw zijn deze maximaal slechts 30 mm.



3. De stabiliteit wordt in beide richtingen verzorgd door verbanden in de constructie.



4. Windverband in dwarsrichting.



5. Puzzelen om de leidingen, balksparingen en diagonalen af te stemmen rondom de schachten. De vloerschijf moest daarbij worden verankerd aan het stabiliteitsverband.

bouwsnelheid van New Main is uiteindelijk gekozen voor een volledig stalen skelet met holle staal-beton vloeren (Slimline).

Met de keuze voor staal kon ook tegemoet worden gekomen aan de wens van de architecten om onder andere vanuit de gehele entreelobby vrij zicht te houden over de (nog aan te leggen) vijver. Doordat stalen frames (windbokken) de stabiliteit verzorgen in plaats van betonnen wanden en kernen is deze transparantie een feit (afb. 3).

Opbouw constructie

Vanaf de keldervloer is de staalconstructie opgebouwd met HD-kolommen (S460) hart-op-hart 9 en 12 m. De stabiliteit in dwars-richting wordt verzorgd door zes vakwerken. Beide centraal gelegen kernen (verticale stijgpunten) hebben twee vakwerken en op beide uiteinden van het gebouw staan twee bokken die 50% zwaarder zijn uitgevoerd (afb. 3 en 4). Tussen de gevelbalken overspannen Slimline-vloeren met een elementbreedte van 3 m, samengesteld uit IPE 450-profielen h.o.h. 1 m en een betonnen onderplaat van 80 mm dik (afb. 5). Nadat het gebouw wind- en waterdicht is, wordt op de stalen vloerliggers een topvloer aangebracht (stalen profielplaat met een cementdekvloer).

Aan beide langgevels is een atrium over de gehele hoogte van het gebouw gerealiseerd, in breedte verschillend. De buitenste gevel is een stalen frame van liggers en kolommen uitgevoerd uit kokers K150x450.

Stabiliteit

Ten opzichte van een conventionele hoogbouw met een betonnen stabiliteitsconstructie en betonvloeren is het totale gebouwgewicht laag, slechts 1,2 kN/m³. Dit is het gevolg van de lichte constructie (totaal 7,5 kN/m²) en uiteraard de hoge atria.

Door dit eigengewicht is de funderingsdruk laag en kan worden bezuinigd op het aantal palen. De gemiddelde druk op de fundering bedraagt ± 200 kN/m², waar voor vergelijkbare gebouwen in beton het drievoudige kan zijn. Bijkomend effect is dat de te verwachten zettingen zijn beperkt, in casu tot 30 mm. Bij de stabiliteitsframes ontstaat een probleem door het lage eigengewicht. Door de geringe gebouwdiepte van 12,5 m grijpen grote

trekkrachten op de fundering aan die niet worden gecompenseerd door het gewicht van het gebouw. Deze trekkrachten zijn niet opneembaar door de palen. In eerste instantie is bedacht om het frame door te laten lopen in het atrium, waardoor de effectieve diepte wordt vergroot van 12,5 naar 19,5 m. Daar dit alsnog onvoldoende effect heeft, is vervolgens in de achtergevel een vorkconstructie ontworpen om de verticale belasting uit de hoekkolom naar het stabiliteitsframe te leiden en daarmee als extra contragewicht de trek uit de windbelasting te compenseren (afb. 4).

Kolommen

Vanuit bouwsnelheid is gekozen voor relatief grote overspanningen van zowel liggers als vloeren. De kolommen worden gemonteerd in secties van vier verdiepingen hoog en worden gestaffeld geplaatst. Dit wil zeggen dat niet alle kolommen om de vier verdiepingen worden neergezet maar per bouwlaag wordt een kwart van de kolommen gemonteerd (p. 27). Dit scheelt in kraanhandelingen en per verdieping hoeft slechts een kwart van de kolomverbindingen te worden gemonteerd. De kolommen zijn koud gestapeld. Conform EC3 is de momentcapaciteit in deze verbinding gerealiseerd via het doorkoppelen van flens en lijfplaten. Voor de verbindingen zijn bouten M42-8.8 gebruikt. In de zwaarste koppelingen zijn twaalf bouten per flens- of lijfplaat toegepast.

Bij de stabiliteitsframes bestaan de kolommen uit drie profielen HD400x1068. In hoogte zijn de kolommen in het werk opgebouwd door steeds één van de profielen te plaatsen en deze met boutverbindingen samen te stellen tot een *triple*-kolom. Ook hier is gestaffeld in de hoogte gemonteerd. Er konden relatief eenvoudige verbindingen worden toegepast, omdat de profielen over de gehele hoogte via de bouten door de flenzen konden worden gekoppeld.

Liggers

Het ontwerp van de gevelbalken raakt meerdere aspecten waaronder het gevelontwerp, de optimalisatie van het staalgebruik en de tweede draagweg.

Samen met de geveladviseur is onderzocht wat integraal de meest economische oplossing

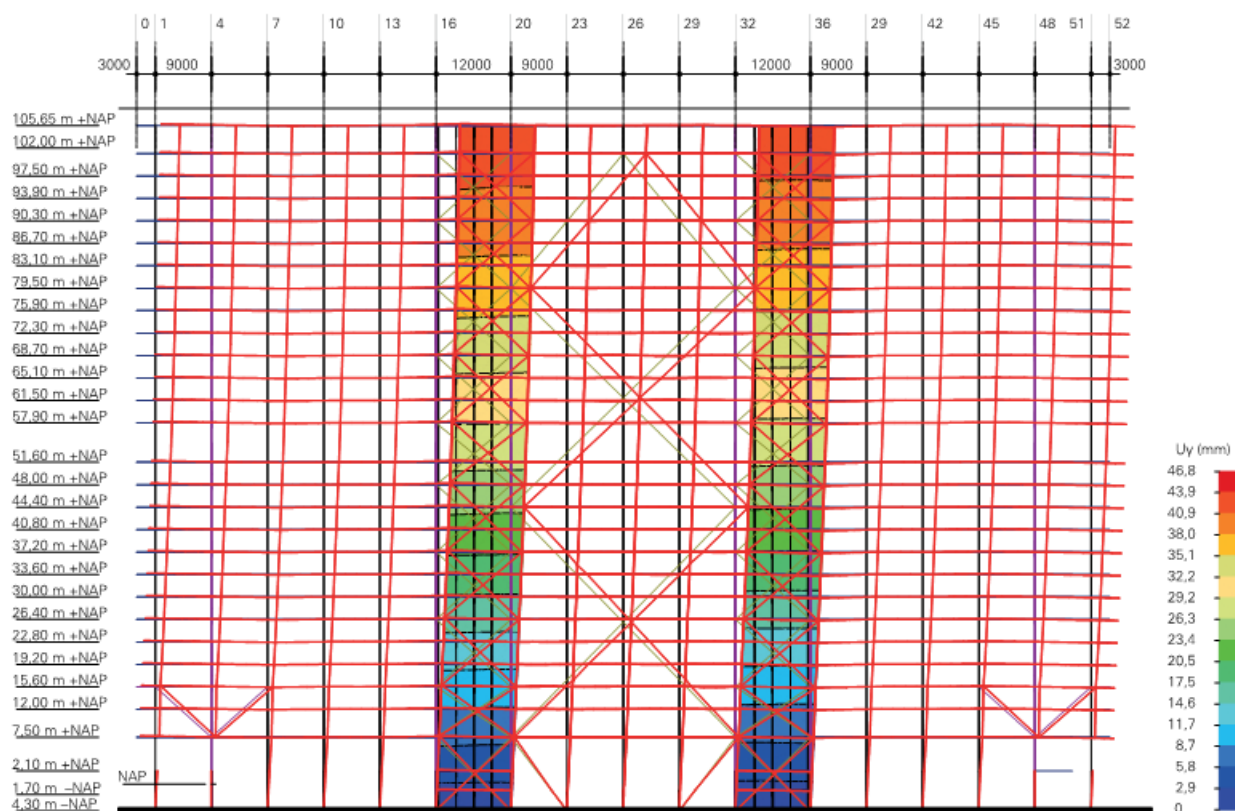
is voor de gevel en de gevelbalken. Besparing van aluminium in de gevelstijlen is gerealiseerd door de gevelstijlen als doorgaande liggers uit te voeren. Voorwaarde vanuit het gevelontwerp is dat het vervormingsverschil van de stalen liggers tussen twee boven elkaar gelegen verdiepingen na montage van de gevel maximaal 10 mm mag bedragen. Om bij deze grote overspanningen hieraan te voldoen, is in het geveldetail ruimte gereserveerd voor een hoog profiel, HEAA 500. Logischerwijs wordt hiermee ook materiaal bespaard, tot 50% ten opzichte van een HEM-profiel met dezelfde doorsnede-eigenschappen. Ter plekke van de overspanningen van 12 m blijkt de 10 mm-eis (8/10.000 van de overspanning) economisch niet haalbaar en zijn de verdiepingen in het midden van de overspanning gekoppeld met een kolom.

De liggers zijn eveneens om economische redenen uitgevoerd als doorgaande liggers. Om kostbare momentvaste aansluitingen op de kolommen te voorkomen, zijn de liggers niet – zoals gebruikelijk – tussen de kolommen gemonteerd, maar gaan ze voor de kolommen langs op korte consoles. De liggers zijn hierdoor aan te voeren in lange segmenten tot 20 m met de koppelingen op relatief gunstige posities.

Tweede draagweg

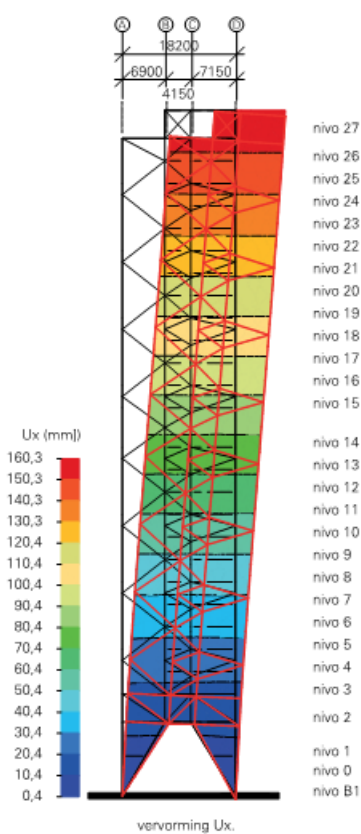
Omdat de constructie volledig met droge koppelingen wordt gemonteerd, is er in basis minder samenhang dan in een conventionele constructie met gestorte vloeren. Des te belangrijker dus om een goede tweede draagweg te verzorgen in geval een kolom – om welke reden dan ook – zal bezwijken. Uitgangspunt: voor alle verticaal dragende onderdelen moet een tweede draagweg worden voorzien. Een zienswijze zoals in EC1 wordt voorgeschreven, met trekbanden in de vloer die evenwicht verzorgen, is niet realistisch. Als een kolom bezwijkt, breken de vloerplaten over de gehele diepte en is geen evenwicht in de vloer (meer) mogelijk.

Maar dankzij de gekozen constructieve opzet komen een aantal aspecten samen die een tweede draagweg relatief eenvoudig in te passen maakt. Door het lage vloergewicht is de momentane vloerbelasting relatief laag ten opzichte van de rekenbelasting en doordat de



vervorming Uy.

6. Vervormingen in langsrichting (boven) en dwarsrichting (onder).



vervorming Ux.



7. Krappe bouwlocatie. Aan de bovenzijde tegen de bestaande bebouwing is eerst het nieuwe ondergrondse energiegebouw gerealiseerd. Rechts is de bestaande Hinge deels gesloopt om aan te sluiten op de nieuwbouw.



8. Grote knopen, relatief eenvoudige verbindingen.

belastingfactoren voor CC3 ook hoog, is de belasting op de ligger bij een calamiteit al een factor 2 lager dan in de uiterste grenstoestand. Daarnaast zit er iets aan overcapaciteit in de balken, omdat deze op stijfheid zijn ontworpen. Alles bij elkaar kunnen de balken uit S460 bij een calamiteit een dubbele overspanning dragen van 18 of 21 m, waarmee de standzekerheid van het gebouw bij uitval van één van de kolommen is gewaarborgd. Bij uitval van een stalen onderdeel in één van de spanten is binnen het spant voldoende mogelijkheid tot herverdeling. Voor de hoekkolommen zekert in dwarsrichting een momentvast portaal de tweede draagweg.

Vloersysteem

Voordelen van de Slimline-vloer zijn de min of meer kant en klare montage en het grote vloeroppervlak van 37,5 m² dat met één plaat wordt dichtgelegd. Aandachtspunten zijn de koppelingen van de platen onderling en de koppeling van de vloerplaten aan de kolommen. In een BIM-model zijn met de installateurs de leidingen in de vloer afgestemd op de staalconstructie. Hierbij was het met name een gordiaanse knoop om het leidingwerk in de verticale schachten te krijgen. De leidingen zijn integraal ontworpen met de vloerbalken, diagonalen en verankering van de vloerschijf aan het stabiliteitsverband (afb. 5). Een ander belangrijk ontwerpaspect van deze vloer is het dynamisch gedrag. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen trillingen van individuele platen, en trillingen van het systeem als geheel. Om deze laatste te beschouwen is in 3D-rekensoftware de gehele vloer met onderlinge koppelingen en die met de gevelbalken doorgerekend. Bij deze laatste

beschouwing zijn lagere eigenfrequenties gevonden dan bij de individuele elementen. In het algemeen wordt gesteld dat lichte vloersystemen trillingsgevoelig zijn. Door een lage modale massa kan een lichte vloer relatief eenvoudig in trilling worden gebracht. Voor de vloeren van het EPO zijn de overspanningen dusdanig groot dat ondanks het lage vloergewicht de modale massa relatief hoog is. Bij de eerste eigenfrequentie van 3,24 Hz valt de vloer ruimschoots binnen de klasse D die voor kantoren wordt aanbevolen in de SBR-publicatie *Trillingen van vloeren door lopen – Richtlijn voor het voorspellen, meten en beoordelen*.

Bouwfase-berekening

Bij de montage van een volledig geprefabriceerd skelet komen bepaalde aspecten op tafel waarover bij een betonnen gebouw nauwelijks hoeft te worden nagedacht. Zo wordt bij een betonnen gebouw elke vloer op hoogte afgestort of worden horizontale voegen benut om toleranties op te nemen. Bij een stalen gebouw is dit niet mogelijk. Elementen worden gestapeld zoals ze zijn geproduceerd. Verticale correctie is niet mogelijk. Op zich geen probleem, als de axiale spanningen in alle kolommen gelijk zijn. Ter plekke van de stabiliteitsspanen zijn de spanningen echter aanmerkelijk lager dan in de naastgelegen 'gewone' kolommen. Hierdoor zou – zonder maatregelen – de dakvloer ter plekke van deze kolommen meer dan 6 cm lager uitkomen dan bij de spantkolommen. Ter compensatie zijn een aantal kolommen per verdieping 1 of 2 mm langer uitgevoerd dan de theoretische verdiepinghoogte. Tijdens montage van de gevel – die slechts op enkele verdiepingen van de ruwbouw volgde



9. Aandachtspunt: koppeling vloerplaten-constructie.

– is goed inzicht in de maatvoering van de ruwbouw noodzakelijk. Om dit inzicht te verschaffen, zijn in een bouwfase-berekening negentien belastingstappen geanalyseerd, waarvan elf in de ruwbouw en acht bij het aanbrengen van extra belasting (afwerkvloeren) en de afbouw van de gevels. Per belastingstap zijn op alle verdiepingen de positie van de gevelbalken en de prognose van de nog te volgen zakking in beeld gebracht. Bij de gevelmontage kon hiermee worden geanticipeerd op nog te verwachten vervormingen van de gevel.

Vijzelbare V-kolom

Zoals omschreven, is de belasting uit de hoekkolom gebruikt als contragewicht op de stabiliteitsspanen. Berekeningen tonen aan dat de hoek van het gebouw ruim 4 cm meer zou zakken dan de naastgelegen spantkolom. Deze vervorming ontstaat doordat kanteling van het spant bij de contradiagonaal verticaal gefixeerd is. Het vervormingsverschil van het skelet in de hoeken kan niet worden opgenomen door de gevel.

Om toch de gevel in het beoogde bouwschema mee te nemen, is onder de kolom die de contradiagonaal steunt, een vijzelmogelijkheid meegenomen in het ontwerp. Door deze vijzel af te laten, roteert het spant terug, waarbij de zakking in de hoekkolom wordt verdeeld over beide uiteinden van het spant. Omdat de V-constructie vrijwel in evenwicht is, moet zowel een trek- als een drukcorrectie kunnen worden uitgevoerd. •

