

ir. P. Lagendijk RO

Paul Lagendijk is constructief ontwerper bij Aronsohn Constructies raadgevende ingenieurs in Rotterdam.

Letterlijk het dak eraf

Het Sportpaleis Ahoy in Rotterdam is aangepast en uitgebreid om de bezoekerscapaciteit te vergroten. Extra tribunes zijn toegevoegd, de akoestiek is verbeterd en een compleet nieuw stalen dak is geplaatst boven het bestaande om zwaardere apparatuur aan op te hangen. De nieuwe vakwerkspanten rusten op oude 'snavels', maar met een vernieuwd oplegpunt waardoor de overspanning is vergroot.

Sportpaleis Ahoy is rond 1970 gebouwd als overdekte wiel- en ijsbaan en is onderdeel van een multifunctioneel sport- en beurscomplex dat tot de grotere indooraccommodaties van Europa behoort.

Om de verschillende evenementen te kunnen blijven faciliteren en de concurrentie de baas te kunnen, is het Sportpaleis tussen zomer 2009 en eind 2010 grondig gemoderniseerd en uitgebreid naar een ontwerp van Zwarts & Jansma (in samenwerking met Merckx + Girod). Het gebouvvolume is daarbij zoveel mogelijk intact gelaten.

Capaciteitsuitbreiding

De modernisering bestaat in hoofdzaak uit een capaciteitsuitbreiding van 12.000 naar 15.000 toeschouwers door extra zitplaatsen boven op de bestaande 2e ringtribune en een extra tribune aan de westzijde die de oorspronkelijke noord- en zuidtribune onder-

ling verbindt, waardoor een min of meer hoefijzervormige tribune is ontstaan. Ook zijn de publieksgebieden gerenoveerd en opnieuw ingedeeld en is extra ruimte voorzien voor opslag en installaties. Daarbij is de geluidsisolatie vergroot, zijn de akoestische eigenschappen verbeterd en de installaties gemoderniseerd.

Bovendien moest er een grotere vrije hoogte onder het dak komen met extra mogelijkheden om 'rigging' (apparatuur en voorzieningen) aan het dak op te hangen; met de steeds grotere podiumopstellingen is hier meer draagkracht vereist.

In grote lijnen bestond de vernieuwing constructief uit.

1. nieuw dak boven bestaande Sportpaleis;
2. nieuwe tribune aan westzijde;
3. uitbreiding aan oostzijde;
4. diverse kleinere aanpassingen aan de bestaande constructie.

Bestaande constructie

De onderbouw en de draagconstructie van de tribunes en vloeren bestaan uit een gewapende betonconstructie. Daarbij zijn alleen de tribune-elementen uitgevoerd in prefab beton. De rest is in het werk gestort. Op deze betonnen onderbouw zijn de stalen dak- en gevelconstructie gebouwd. De stalen dakconstructie bestaat uit 28 stuks vakwerkvormige consoles ('snavels') en 14 lensvormige inhangliggers (overspanning variërend van 54 tot 64 m), uitgevoerd als vakwerk (h.o.h. 6 m) waarop een licht stalen dak rust. De lensliggers geven de bolle vorm aan het middengedeelte van het dak. De randzones van het dak aan de oost- en westzijde zijn 'hol'.

Nieuwe constructie

Belangrijke uitgangspunten voor het ontwerp van het nieuwe dak zijn de vrije hoogte (minimaal 20 m), de grotere belastbaarheid (door een zwaarder dakpakket ($\pm 0,80$ kN/m²) en rigging (elk van de veertien spanten is ontworpen op maximaal 200 kN rigging-belasting). Het versterken van de bestaande staalconstructie op deze hogere belastingen is wel overwogen maar bleek geen economische oplossing. Daarom zijn nieuwe vakwerkspanten toegepast, die net als de oorspronkelijke constructie rusten op de snavels



(h.o.h. dus 6 m). Om de belastingwijziging naar de onderbouw te beperken, is het oplegpunt van de nieuwe spanten gewijzigd, en de overspanning van de spanten dus vergroot. Hierdoor kon voor de afdracht van de verticale belasting worden volstaan met lokale aanpassingen aan de bestaande staalconstructie. De overspanning van de nieuwe vakwerkspanten is vergroot tot 72 m aan de oost- en westzijde, tot 82 m in het midden van het gebouw; dit is het gevolg van de knik van 16° die er in de plattegrond van de tribunes is gemaakt om de zichtlijnen naar de arenavloer zo optimaal mogelijk te maken. Niet alleen de overspanning van de spanten varieert, maar ook de vorm: de onder- en bovenrand van alle spanten zijn cirkelvormig en de noklijnen liggen ook op een cirkelboog. De spanthoogte varieert daarbij van 5,8 m aan de oost-westzijde tot 7 m in het midden. Omdat sterkte in het ontwerp maatgevend is, is gekozen voor S355 in plaats van S235. De keuze voor nog hogere sterktes is nog niet praktisch door de, op dit moment, beperkte leverbaarheid van deze staalsoorten. Als onder- en bovenrand van de spanten zijn HE-profielen toegepast: HEA 400 en HEB 400 voor de bovenrand en HEA 300 respectievelijk HEB 300 voor de onder- en bovenrand. Voor de wandstaven zijn in het bes-

tekstontwerp buizen voorzien met een identieke uitwendige maat (\varnothing 139,7 mm), maar varieert de wanddikte, afhankelijk van belastingen op en lengte van de betreffende diagonaal.

Op voorstel het staalbedrijf is ervoor gekozen om diagonalen met verschillende uitwendige diameters toe te passen in plaats van gelijke diameters met verschillende wanddiktes, om het risico op fouten tijdens de productie te beperken. Ook levertijden hebben de uiteindelijke diameters nog beïnvloed. De bovenrand van de spanten wordt zijdelings gesteund door een vakwerkverband van diagonalen in het dakvlak; de onderrand wordt gesteund door dwarskoppelingen die, bij de middelste vier spanten, zijn afgesteund naar het bovenvlak.

Glijdende oplegging

Om lengteverandering in de spanten door wisseling in belastingen en temperatuur genoeg spanningsloos op te nemen, zijn de nieuwe vakwerkspanten, net als de oorspronkelijke spanten, aan de zuidzijde scharnierend en aan de noordzijde glijdend opgelegd: in het oplegdetail is rekening gehouden met 100 mm beweging in beide richtingen. Ondanks het relatief hoge eigen gewicht van het dak kan er, bij een extreme

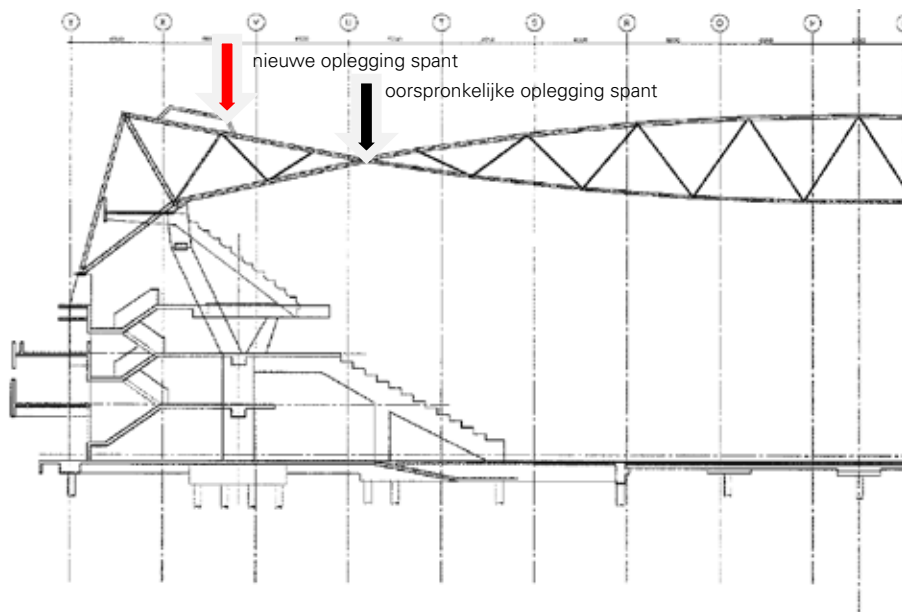
combinatie van windzuiging en inpandige overdruk, een opwaartse oplegreactie ontstaan. Om die reden is hier een opwaai-verankering toegevoegd.

Vorm vakwerk

De vorm van de vakwerkspanten is voor een belangrijk deel ontstaan uit uitvoeringsoverwegingen: door de onderrand van het nieuwe spant boven de bovenrand van het oude dak te houden kan het nieuwe dakvlak in de bouwfase boven het oude dakvlak komen. Zo werd voorkomen dat weer en wind invloed kregen op het inpandige gedeelte van het Sportpaleis. Na de realisatie van het nieuwe dak is het oude dakvlak onder het nieuwe dakvlak vandaan gesloopt. Hierdoor is het bolle middengedeelte van het dak aanzienlijk omhoog gegaan. Om architectonische redenen zijn de holle randzones van het dak qua hoogteligging niet veranderd. De staalconstructie in het holle dakvlak is wel aangepast op de hogere massa van het nieuwe dak. De hoogte van de oostgevel is door de verhoging van het bolle dakgedeelte aanzienlijk toegenomen.

Extra spant voor uitbreiding

In de overgang tussen het holle en het bolle dakvlak is een extra spant toegevoegd: het ple-



Principeschema van belastingafdracht.

numspant. De hoogte van dit spant verloopt van bijna 0 m tot ongeveer 11,25 m in het midden van de overspanning. Dit spant draagt de helft van het holle dakvlak en het 2 m brede plenum direct achter de gevel en wordt aan de bovenzijde uitsluitend horizontaal afgesteund aan het bolle dakvlak. In het plenum wordt de luchttoevoer uit de toevoerkanalen verdeeld over de breedte van het complex. Voor de ondersteuning van dit spant zijn twee nieuwe kolommen geplaatst op een nieuwe paalfundering die door de bestaande begane-grondvloer heen is gemaakt. Door de hogere gevel aan de oostzijde neemt de horizontale belasting aanzienlijk toe. Via een windligger in het holle dakvlak aan de oostzijde en via het bolle verhoogde dak wordt deze horizontale belasting naar de noord- en de zuidgevel afgedragen. De staalconstructie en de betonconstructie zijn versterkt om deze belastingen af te kunnen dragen. De horizontale belasting in noord-zuidrichting neemt in principe niet toe: de hellingshoek van het dak is zodanig klein dat er in principe uitsluitend sprake is van zuiging op het dakvlak.

Productie in halfabrikaten

Door de spanthoogte was volledige prefabricage niet mogelijk vanwege transportbeperkingen. Beide uiteinden van ieder spant zijn

geprefabriceerd, maar het middengedeelte is in lijnvormige elementen aangevoerd en op de bouwplaats tot een vakwerk geassembleerd. Vervolgens zijn steeds twee spanten en hun onderlinge koppelingen op locatie voorgemonteerd. Bij deze voormontage zijn direct grote installatiecomponenten en delen van catwalks meegenomen. Nadat op deze manier zeven spantcombinaties waren gemaakt (± 100 ton elk), zijn deze van 19 tot en met 22 april 2010 geplaatst. Voor de montage is gebruik gemaakt van een Demag PC6800 met een gieklenge van 120 m. Voor het aanvoeren van de kraan waren twintig vrachtwagens nodig. Voor de aanvoer van de benodigde ballast nog eens veertig extra.

3D è 2D

Bij het maken van ontwerp- en bestektekeningen is gebruik gemaakt van het tekenprogramma REVIT om goed inzicht in alle driedimensionale aansluitingen te krijgen. Tekeningen voor de uitvoeringsfase zijn, met het REVIT-model, verder als 'platte' 2D-tekeningen uitgewerkt, omdat de diverse bibliotheken (toen) nog te beperkt waren om voldoende tekenkwaliteit te kunnen leveren. Bij het maken van de constructieve berekeningen is geen gebruik gemaakt van koppeling tussen reken- en tekenprogramma's.

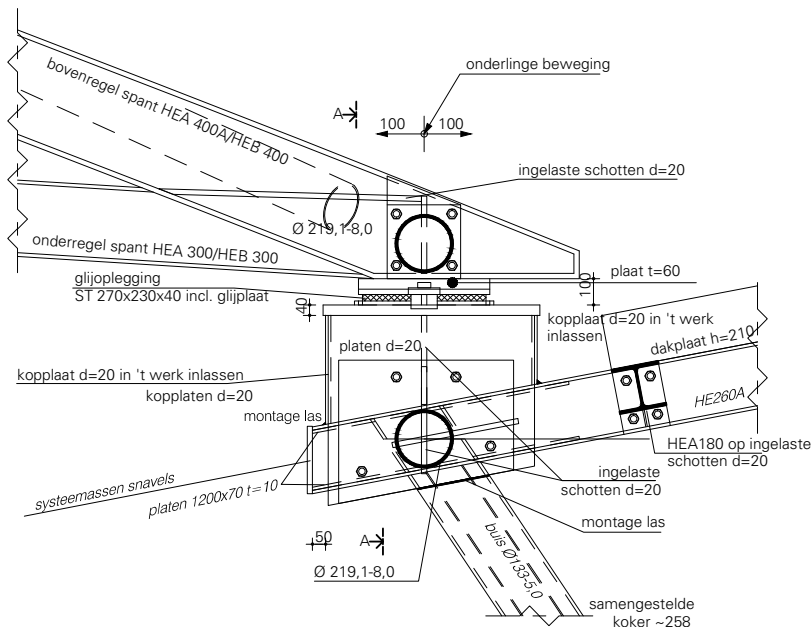


Nieuwe tribune aan westzijde

In de oorspronkelijke situatie bestond er een smal verbindingsstuk tussen het Sportpaleis en de Plaza. Voor de bouw van de nieuwe tribune is dit gedeelte gesloopt. Hierdoor kwam een strook van slechts 20 m breed vrij, waarin de nieuwe tribune moest worden gebouwd. De tribune bestaat uit een 1e en een 2e ringgedeelte, gelegen op dezelfde niveaus als in het bestaande Sportpaleis, en een dak. De bestaande en nieuwe 1e ring lopen daarbij zelfs vloeiend in elkaar over. Boven de tweede ring loopt het nieuwe, bolle dakvlak vloeiend door. Aan de arenazijde wordt de dakconstructie ondersteund door een vakwerkspant dat op 6 m uit het laatste 'normale' spant van het Sportpaleis ligt en draagt op de betonwanden. Aan de westzijde van de tribune rust de staalconstructie van het dak op de tribunespanten.

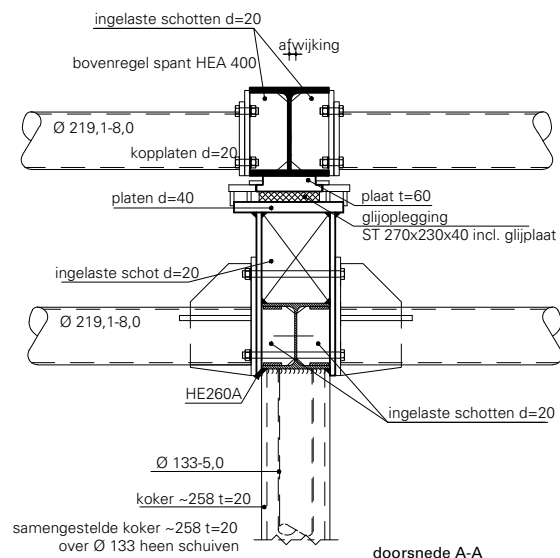
Extra gecompliceerd

De uitvoering is nog verder gecompliceerd doordat de bestaande leidingtunnel die het Sportpaleis met de Plaza verbindt, moest worden gehandhaafd. Om het Sportpaleis bovendien niet aan weer en wind bloot te stellen en ongewenste overdruk onder het bestaande dak te voorkomen, is een tijdelijke wand van 70x28 m (lxh) geplaatst. Door deze



aanzicht te maken stoel op bestaande snavel

Detail glijoplegging inclusief opwaaiverankering.



tijdelijke wand kon het Sportpaleis weer worden gebruikt terwijl nog volop aan de tribune werd gebouwd: er was enkel een programma-vrije periode van zes maanden voorzien, van 15 maart tot 15 september 2010.

De constructie van de nieuwe tribune (inclusief de dakconstructie) is gedilateerd van zowel het aangrenzende Sportpaleis als het Plaza-gebouw, niet uitsluitend uit constructieve overwegingen, maar ook om overdracht van geluid en trillingen tot een minimum te beperken. Het moet dus zijn eigen stabiliteit verzorgen. De stabiliteit in noord-zuidrichting wordt verzorgd door de U-vormige betonnen trappenhuisen in het midden; in oost-westrichting zorgen de wanden voor de stabiliteit.

Mengvorm

De totale constructie van de tribune bestaat uit een mengvorm van staalconstructie, in situ beton en prefab beton. De primaire spanten onder de tribune staan op een hart-op-hart afstand van 7,25 tot 9,50 m en zijn uitgevoerd in staal: HE-profielen als kolommen en liggers voor de vlakke vloergedeeltes en onder de prefab tribunegedeeltes gelaste kokervormige liggers. De vlakke vloer-gedeeltes zijn uitgevoerd als bekistingsplaatvloer met een dikte van 400 mm, waarbij de

liggers zijn geïntegreerd in de dikte van de vloer om maximaal vrije hoogte te creëren. De tribunes zijn van prefab beton. De elementen van de 1e ring zijn uitgevoerd als meertredige elementen. De elementen van de 2e ring zijn, in verband met het hijsgewicht, enkeltredig. Door de bovenzijde van de elementen bij de steunpunten te koppelen met een lasplaat en de voegen te vullen met een gietmortel is een doorgaand statisch systeem gemaakt, waardoor de stijfheid van de tribune is vergroot. In de opleggingen van de prefab elementen zijn verticale sparingen gehouden voor de deuvels die boven op de kokerliggers zijn gelast.

Voorspanning voorkomt natte knoop

Om in het tribunevlak van de 2e ring geen natte knopen te maken zijn de langsvoegen tussen de elementen voorgespannen. Omdat de voorspanwapening in het midden van de spiegel van het tribuneschild ligt, is de dikte van de elementen met 100 mm vergroot om met name alle optredende momenten loodrecht op de voegen op te nemen; bovendien is in de langsvoeg een vertanding aangebracht om schuifkrachten door voorspanning te voorkomen.

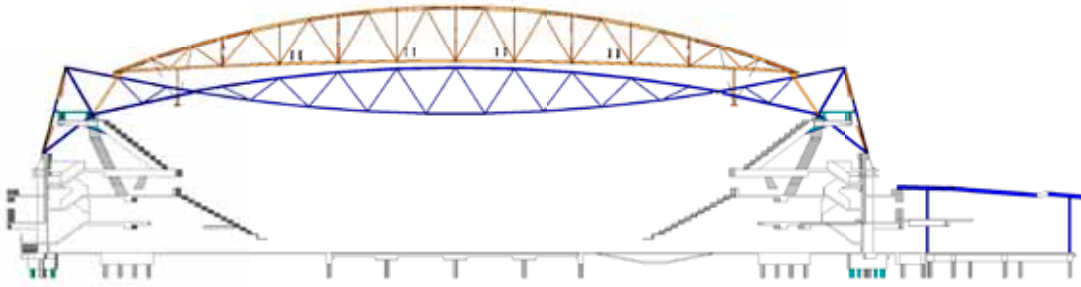
In de spanfase was het mogelijk om de betonnen elementen nog niet te fixeren aan de span-

ten, zodat niet ook de staalconstructie werd voorgespannen. Door het tijdsafhankelijke gedrag vloeit een deel van de voorspanning toch weg naar de staalconstructie en is de benodigde voorspanning aanzienlijk hoger uitgevallen dan in eerste instantie voorzien. De begane-grondvloer is een kanaalplaatvloer met gewapende druklaag op in het werk gestorte funderingsbalken. Net als de uitbreiding aan de oostzijde is de tribune gefundeerd op prefab betonpalen (Ø 400 en 500 mm).

De brandwerendheid van de staalconstructie is gewaarborgd met brandwerende bekleding.

Geen onaangename trillingen

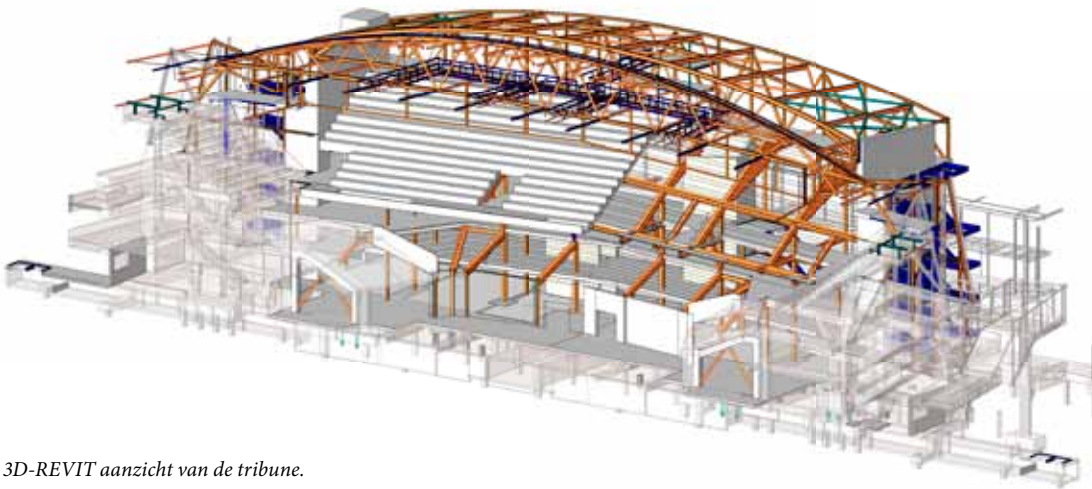
Randvoorwaarde voor het constructief ontwerp van een tribune is dat het overgrote deel van het publiek geen onaangename trillingen ervaart. Omdat het gaat om de beleving van individuele personen zal nooit een absolute garantie zijn te geven dat er geen hinderlijke trillingen kunnen optreden. Met het Engelse bureau Happold is gekozen voor het uitvoeren van een dynamische responsanalyse van de tribune als totaal in plaats van een toets op eigenfrequentie. Daarbij is de constructie als driedimensionaal model doorgerekend met daarop de dynamische belasting die door het publiek wordt uitgeoefend. Als resultaat van deze berekening



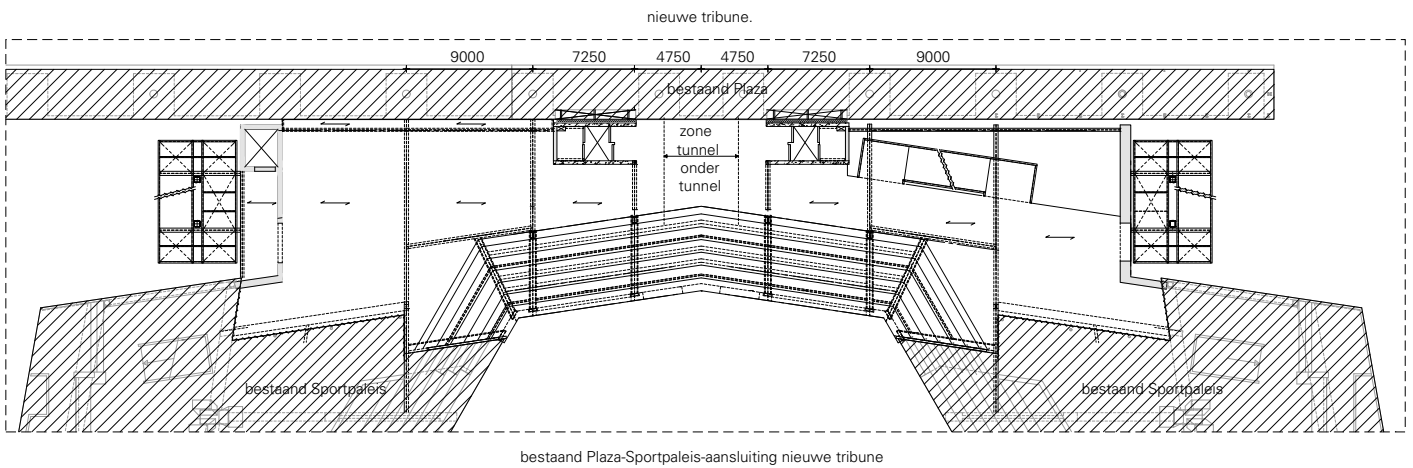
Dwarsdoorsnede spant bestaand en nieuw.



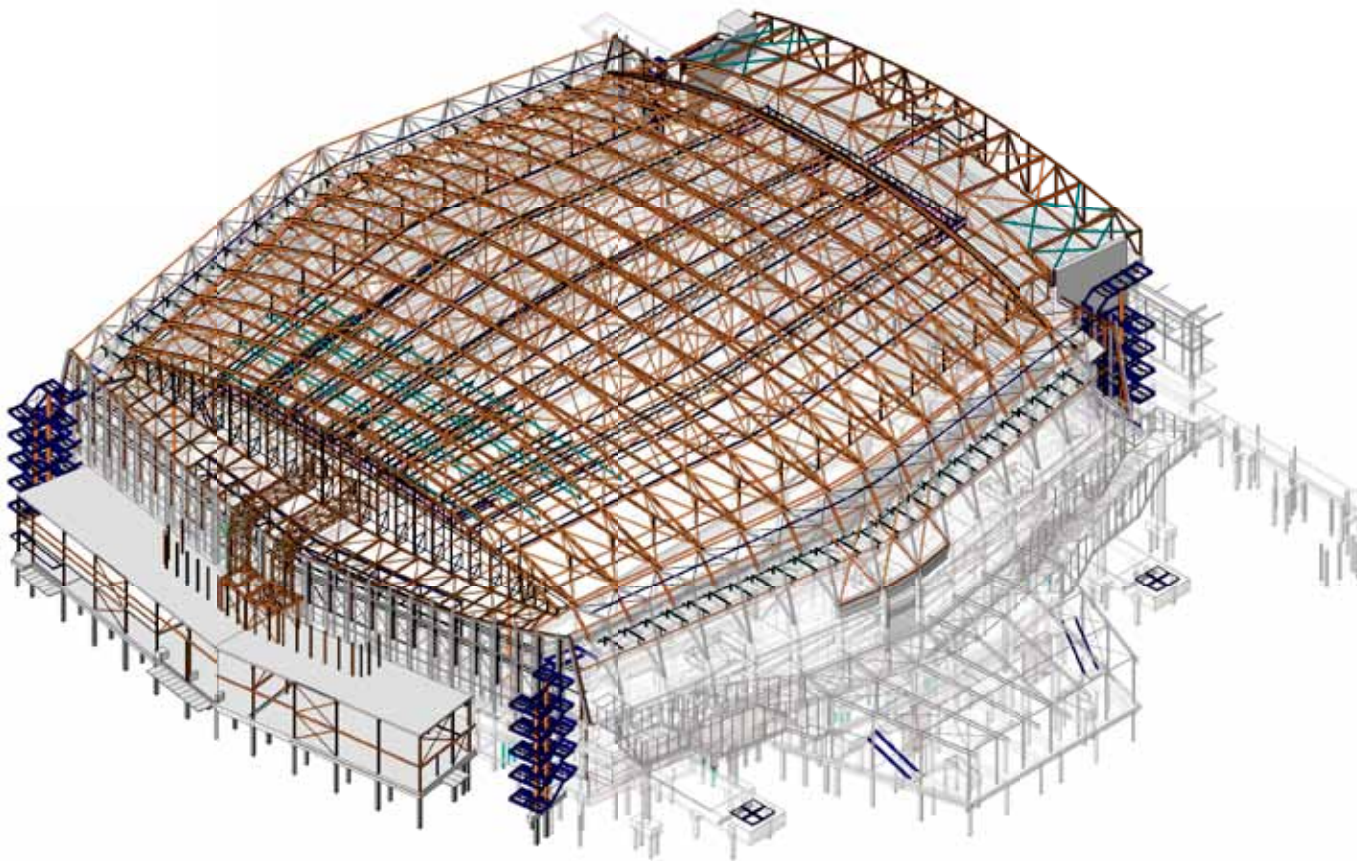
Aanzicht noordgevel met aangebrachte voorzieningen.



3D-REVIT aanzicht van de tribune.



Plattegrond 1e ring.



3D-overzicht REVIT-model.

worden de versnellingen gevonden die de vloerconstructie en dus de bezoeker ondergaat. Uit literatuur blijkt dat een versnelling van 10 tot 18% van de zwaartekrachtsversnelling bij popconcerten als acceptabel worden ervaren. Deze kengetallen worden wereldwijd bij het ontwerp van tribunes gehanteerd. Bij de uitgevoerde berekeningen is hier als ontwerpcriterium gehanteerd dat de berekende versnellingen niet meer dan 10% van de zwaartekrachtsversnelling mogen zijn. Bij het doorrekenen van het dynamisch gedrag van het constructief ontwerp blijkt het volgende.

- In het overgrote deel van de constructie versnelling onder 10% van de zwaartekrachtsversnelling blijft.
- Zeer lokaal bij een belastingfrequentie van 2.54 Hz de versnellingen hoger zijn dan 10% van g; het gaat daarbij om het vlakke vloerdeel op het niveau 17.500+; de meest extreme versnelling bedraagt daar ongeveer 13% van de zwaartekrachtsversnelling.

Om dit resultaat te kunnen bereiken is het ontwerp aangepast ten opzichte van het ontwerp op sterkte en statische stijfheid.

Uitbreiding aan de oostzijde

Aan de oostzijde is een tweelaagse uitbrei-

ding gerealiseerd van 70x11 m (lxb) met een licht geknikte vorm, zodat het aansluit op de geknikte oostgevel. In dit volume zijn een inpandige opslagruimte en artiestenrestaurant ondergebracht. Op het dak staan de luchtbehandelingskasten waaruit luchttoevoerkanalen naar het Sportpaleis gaan. De nieuwe constructie is volledig gedilateerd van de belending. De draagstructuur bestaat uit een niet-gedilateerde staalconstructie met verticale stabiliteitsverbanden; schijfwerking is ontleend aan de vloeren. Het dak is uitgevoerd als bekistingsplaatvloer (ontworpen op een veranderlijke belasting van 5 kN/m²), omdat met dit type vloer de lokaal aangrijpende hoge belastingen uit de installaties en het scherm eromheen eenvoudig over een groter oppervlak kunnen worden gespreid. De verdiepingvloer is een kanaalplaatvloer met druklaag. De begane-grondvloer is een monolithisch afgewerkte, in het werk gestorte betonvloer.

Behalve de aanpassingen die direct verband houden met het nieuwe dak en de tribune, zijn kleinere veranderingen aan de bestaande constructie aangebracht. Zo is de doorrijhoogte van de bestaande betonconstructie aan de oostzijde verhoogd naar 4,6 m om met vrachtverkeer naar binnen te kunnen rijden (voor het ter plaatse laden en lossen

van apparatuur). In die betonconstructie is een nieuwe liftconstructie ingebouwd. De bestaande betonconstructie is daartoe aangepast en versterkt. Onder de bestaande tribune van de 1e ring zijn lokaal nieuwe vloeren aangebracht. Om de uitvoering te vereenvoudigen zijn stalen liggers tegen de betonnen spanten bevestigd waarop een hoge staalplaat-betonvloer is aangebracht. Verder zijn in verschillende betonnen tribunespanten sparingen gemaakt voor transparantie en om bijvoorbeeld uitgiftebalies voor horeca te maken. •

Projectgegevens

Locatie Ahoyplein, Rotterdam • Opdracht OBR Rotterdam • Architectuur Zwarts & Jansma, Amsterdam en Merckx + Girod, Amsterdam • Constructief ontwerp Aronsohn Constructies raadgevende ingenieurs, Rotterdam • Adviseur installaties Deerns raadgevende ingenieurs, Rijswijk • Adviseur bouwfysica en brandveiligheid Peutz, Zoetermeer • Projectmanagement Brink Groep, Leidschendam • Uitvoering Bouwcombinatie Sportpaleis Ahoy (BAM, Iemants Staalconstructies, Unica installatiegroep en Croon TBI Techniek)