



Marina Bay Sands

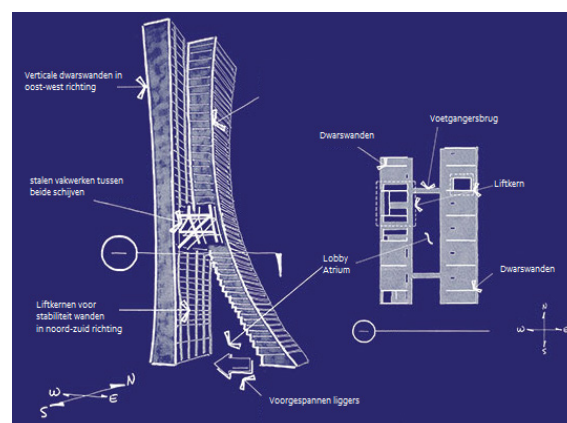
De grootste uitkraging

Door: Rob Wolfs
Redacteur KOersief

920.000 Vierkante meter aan congrescentrum, museum, theaters, eetgelegenheden, een winkelcentrum en het grootste casino ter wereld. Dat is het decor van het 2560 kamers tellende Marina Bay Sands resort (MBS), het in 2011 opgeleverde megaproject dat door Mosh Safdie is ontworpen als toegangspoort tot Singapore. Het hotel is onderdeel van de 5,7 miljard dollar kostende nieuwe ontwikkeling van Singapore's Marina Bay gebied, in opdracht van de Las Vegas Sands Corporation. Met 55 verdiepingen is het hotel, dat uit 3 torens bestaat, qua hoogte niet extreem bijzonder. Het is echter de 65 meter uitkragende daktuin (SkyPark), die het uiterste vroeg van Arup's wereldwijde voorraad aan constructeurs.

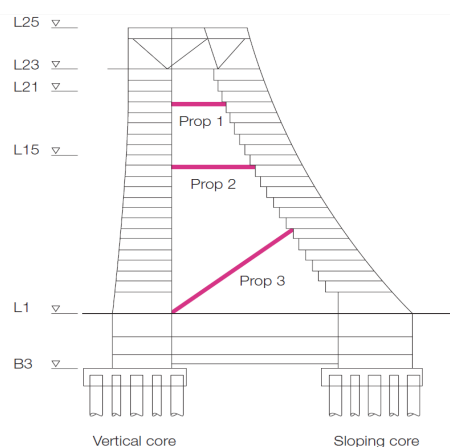
Bij een vraag naar bijna 2600 kamers ligt een monoliet, massief gebouw voor de hand. Door de pro-minente plek van het hotel is er echter gekozen voor drie torens in plaats van één, waardoor samen met de daktuin een stedelijk venster vanaf en naar de zee ontstaat. Elke toren bestaat uit twee schijven met kamers, gericht op het oosten en westen. Deze schijven zijn op het maaiveld uit elkaar geplaatst, waardoor een atrium tussen de kamers ontstaat, en convergeren in de hoogte (Figuur 1). Naar het westen reflecteert het hotel het stedelijke karakter, met een moderne glazen gevel. De oostzijde daarentegen weerspiegelt de zee, bekleed met weelderig groen.

Waar bij traditionele hoogbouw de dynamische windbelasting vaak maatgevend is, was bij dit ontwerp het eigen gewicht in combinatie met de zwaartekracht de belangrijkste factor. Door de traps-gewijze vorm en de kromming van de oostelijke torens ontstaan grote zijdelingse krachten die op het tegenovergelegen hoteldeel aangrijpen. Deze krachten worden in oost-west richting voornamelijk opgenomen door de verticale dwarswanden van gewapend beton, die tevens als scheidende wanden tussen de hotelkamers fungeren. De stabiliteit in de andere richting, noord-



Figuur 1: Constructieprincipe Hoteltorens.

zuid, wordt gewaarborgd door de liftkernen. Op niveau 23 (installatieruimte) zijn verdiepingshoge vakwerkliggers geplaatst, die de afschuifkrachten tussen de twee benen van de hoteltorens opnemen. Zonder deze liggers zouden op de hogere verdiepingen te grote verschillen in verplaatsingen ontstaan, resulterend in ontoelaatbare scheurvorming. Door ingestorte staalprofielen met deukels toe te passen worden de krachten effectief ingeleid, waarbij de dimensies van de vakwerkelementen binnen de wanddikte zijn



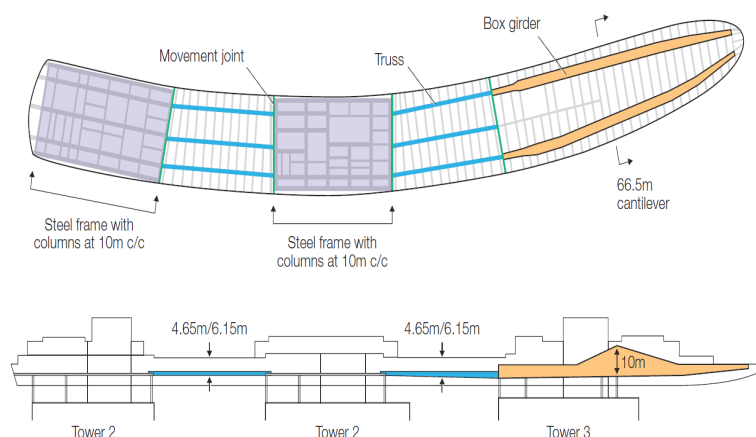
Figuur 2: Tijdelijke ondersteuning tijdens uitvoering.

ontworpen. Om de hoge spatkrachten veroorzaakt door de hellende vormen te weerstaan, zijn op het laagste niveau voorgespannen liggers toegepast (Figuur 1). Tijdens de uitvoering kon tot de 23e verdieping werd bereikt nog geen gebruik worden gemaakt van de zijdelingse steun van de verdiepingshoge vakwerkliggers. Om het knikken van de hotelzijdes te voorkomen, werd in de uitvoeringsfase gebruik gemaakt van tijdelijke, grote stalen stutten en trekkabels, ontworpen om na het plaatsen van de vakwerkliggers te worden verwijderd. (Figuur 2).

De drie hoteltorens worden aan de bovenzijde verbonden door een bijzonder vormgegeven daktuin met een oppervlakte van circa 1,2 hectare (12.000m²). De tuin overspant van toren naar toren en kraagt tot slot ruim 65 meter uit en bereikt daarmee een lengte van 340 meter, 200 meter boven de zee. Hiermee is dit bijzondere dak langer dan de Eiffeltoren en groot genoeg om vier-en-een-halve A380 Jumbo Jet te parkeren (Figuur 3). Met een maximale breedte van 40 meter kunnen 3.900 mensen dit dak tegelijk betreden en gebruik maken van faciliteiten als een 360° uitzicht over de stad, hardlooppaden, restaurants, lounges, of een wandeling maken in het 500 bomen tellende park. Niet alleen de afmetingen van de daktuin zelf behaalden een wereldrecord; het infinity-zwembad dat in de tuin gesitueerd is, is met 1.396 vierkante meter het grootste buitenzwembad ter wereld. Een van de uitgangspunten was het beperken van de laagbouw van het complex, waardoor op het maaiveld



Figuur 3: Marina Bay Sands vs. Eiffeltoren.



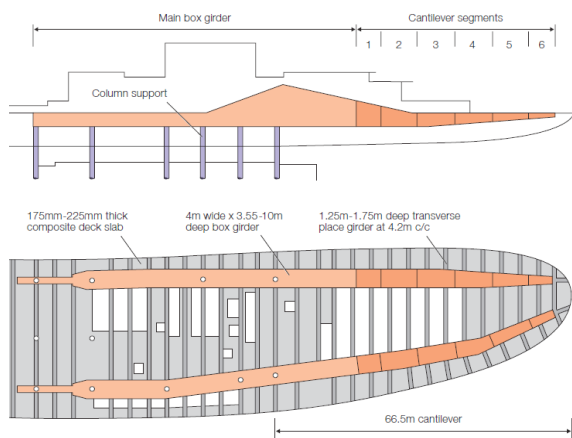
Figuur 4: Constructieprincipe SkyPark.

geen ruimte was voor de genoemde faciliteiten. Het plaatsten van de tuin op het casino en het congrescentrum werd ook overwogen, maar afgekeurd omdat het groen hier zou worden ontkracht en overschaduwd door de naastgelegen hoteltorens. Het programma werd dan ook verticaal verplaatst en boven op de torens geplaatst. Deze verschuiving vroeg echter ook om complexere constructieve oplossingen voor het SkyPark.

De daktuin is opgebouwd uit een stalen frame met composiet vloeren boven toren 1 en 2 (Figuur 4). Tussen de hoteltorens overspannen drie horizontale vakwerken een afstand van 50 meter. Tussen deze liggers zijn kleinere vakwerken toegepast, die met een h.o.h. afstand van 4 meter het composieten dek dragen. De liftschachten van het hotel steken door het SkyPark en voorzien de daktuin van stabiliteit.

Het dynamische gedrag van een gebouw met zulke afmetingen is moeilijk te voorspellen, omdat veel factoren bijdragen aan de trillingen van het gebouw. Om de constructieve elementen van dit dak vorm te geven zijn dan ook uitgebreide windstudies uitgevoerd, waarbij niet alleen de windbelasting op de individuele torens, maar vooral ook de relatieve bewegingen van de torens werden bepaald. Uit deze studie bleek dat elke toren tot wel 250 millimeter uit zijn as kon zwaaien. Om deze grote, verschillende vervormingen toe te laten, zijn schuifverbindingen ontworpen tussen de hoteltorens en brugconstructies. Hoewel het dak daardoor eenvoudig ondersteund wordt, zijn de elementen allen met speciale kabels verbonden om ze op hun plaats te houden in het geval van een mogelijke aardbeving.

Een andere uitdaging van dit bijzondere ontwerp was de constructie van de uitkraging van ruim 65 meter. Hiervoor zijn door een team van Arup's bruggebouwen en dynamica-experts verschillende alternatieven bedacht, gebaseerd op uitvoerige analyses van het opwekken van trillingen, door wind en het gebruik van het dak (feesten e.d.). Zo is uiteindelijk gekozen voor twee grote kokervormige liggers, variërend in hoogte met verstijvingen in zowel het lijf als in de flenzen. De



Figuur 5: Constructieprincipe uitkraging.

maximale hoogte van deze ligger is 10 meter boven het steunpunt van toren 3 en over de uitkraging zelf gemiddeld 3,55 meter hoog (Figuur 5). Het dimensioneren van dergelijke constructieve elementen gebeurt niet met een 2D handberekening. De gehele constructie van het SkyPark is in OASYS GSA verwerkt tot een 3D model, waarmee de benodigde afmetingen en voorspanningen van de liggers konden worden bepaald. Voor de kokervormige liggers is een lokale eindige elementenanalyse uitgevoerd, om de krachtsweg en lokale spanningen van de verstijvingen te bepalen.

Naast deze constructieve optimalisatie zijn ook mechanische oplossingen in de daktuin verwerkt. Zo is er een Tuned Mass Damper (gestemde massademper) van 5 ton toegepast, verborgen in de punt van de uitkraging, om de trillingen te dempen. Dit type damping wordt vaak in de punt van wolkenkrabbers toegepast, maar is ook bij een grote uitkraging als deze geen overbodige luxe. Overigens werd door het team van specialisten ook een advies naar de eigenaar geuit, om één bijzondere belasting te beperken; een kleine groep van zeer gecoördineerde en energieke dansers op de punt van de daktuin.

Figuur 6: Sfeerimpressie SkyPark.



Het SkyPark is uit 14 geprefabriceerde delen geassembleerd, die stuk voor stuk aangevoerd en op hun plek gehesen werden. Gebruik makend van de techniek uit de bruggenbouw, met een snelheid van 14 meter per uur, lag elk deel na 16 uur op zijn plaats.

Het brede scala aan faciliteiten zorgt voor een grote toestroom van binnen- en buitenlandse bezoekers naar het nieuwe icoon van Singapore. Het Singaporeanse ministerie van Binnenlandse Zaken (MHA) hecht veel belang aan de veiligheid en beveiliging van zulke plaatsen die grote groepen mensen aantrekken en daarmee beschouwd kunnen worden als mogelijk doelwit voor terroristische organisaties. Arup voerde daartoe een risicoanalyse uit, waarbij een aantal 'zwakke plekken' van het gebouw naar voren kwamen. Met behulp van onder meer militaire software, werd uiteindelijk de explosieweerstand geoptimaliseerd.

De complexe uitgangspunten in combinatie met de strakke, korte tijdsplanning (van schetsontwerp tot voltooiing in vier jaar), maakte dit ontwerp voor alle betrokken partijen tot een uitdaging. Met de oplevering van het resort in 2011 bleek echter dat voor een bijzonder ontwerp en het wereldrecord grootste uitkraging, niet meer nodig is dan 7000 ton aan staal, 200 ton aan boutverbindingen en een handje vol innovatieve oplossingen.

Bronnen:

- [1] *Engineering an Icon, The Marina Bay Sands® Integrated Resort*, Patrick McCafferty, P.E., Daniel Brodtkin, P.E., David Farnsworth, P.E. and David Scott, P.E, Structure Magazine, June 2011.
- [2] *The Arup Journal, The Marina Bay Sands Special Issue, Issue 1, 2012*
- [3] *Case Study: Marina Bay Sands, Singapore, CTBUH Journal, Issue 1, 2011*

Figuren:

- | | |
|----------|--|
| Titel | www.msafdie.com/#/projects/marinabaysands |
| 1. en 2. | <i>The Arup Journal, The Marina Bay Sands Special Issue</i> |
| 3. | <i>Case Study: Marina Bay Sands, Singapore</i> |
| 4. en 5. | <i>The Arup Journal, The Marina Bay Sands Special Issue</i> |
| 6. | <i>Case Study: Marina Bay Sands, Singapore</i> |