

TOEGANGSPOORT CONTAINERTERMINAL, ROTTERDAM

dr.ir. P.A. Teeuwen en ing. H.L.M. Laagland

Paul Teeuwen is adviseur staalconstructies en Hans Laagland is hoofd afdeling constructies, beiden bij Witteveen+Bos in Deventer.



Dubbelkrom

De toegangspoort tot een nieuwe containerterminal bestaat uit stalen bogen met een dubbelgekromd dakvlak. Windtunnelonderzoek is nodig om de windvormfactoren en de dynamische vergrotingsfactor te bepalen.

De nieuwe containerterminal van APM Terminals, gebouwd op 86 hectare oppervlak op Maasvlakte 2, heeft een capaciteit van 2,7 miljoen zeecontainers per jaar en kan doorgroeien naar respectievelijk 167 hectare en 4,5 miljoen zeecontainers. Het entreegebouw, de 'gate canopy', vormt de toegangspoort voor het vrachtverkeer dat containervervoer van en naar het achterland verzorgt. In deze baldakijn vinden geautomatiseerde administratieve processen plaats via elektronische zuilen en ontvangen chauffeurs route-instructies. De overkapping, die 14 rijbanen beslaat, bepaalt voor een groot deel de uitstraling van de terminal.

Uitgangspunt voor het ontwerp is het profiel van vrije ruimte dat nodig is voor standaard vrachtwagens om te kunnen manoeuvreren: (bxh) 3,2x4,6 m. Daarnaast worden twee rijbanen gereserveerd voor zogeheten out-of-gauge cargo transport, waarvoor een vrije doorgangsbreedte van 4,5 m geldt. Tussen alle rijbanen is een strook ($b = 1,5$ m) gewenst voor de zuil.

De primaire functie van de canopy is het beschutten van vrachtwagenchauffeurs tijdens het aan- en afmelden. Daarnaast mag het ontwerp geen significant negatief effect

hebben op windstromingen direct boven maaiveld. Ten slotte moet een uitbreiding naar 20 overkapte rijbanen mogelijk zijn. Dit pleit voor een modulair ontwerp met de primaire overspanning in de rijrichting. Om alle uitgangspunten te kunnen beheersen en om inzicht te krijgen in de mogelijkheden van het schetsontwerp is het ontwerp geparametriseerd, in dit geval met Rhino, Grasshopper en de plugin Karamba. Omdat in dit model aan alle 'knoppen kan worden gedraaid', kan in een stadium voorafgaand aan de uitwerking worden getoetst of aan de uitgangspunten wordt voldaan en kan het ontwerp worden verfijnd voor de definitieve berekeningen. Met 3D-modellering zijn verschillende disciplines vergaand geïntegreerd en kunnen knelpunten sneller worden gesignaleerd.

Constructieve opzet

De overkapping heeft een dubbelgekromd dakvlak dat met pendelstaven is opgehangen aan 14 stalen bogen (CHS 508x10). Deze bogen, met een overspanning van ruim 25 m en een hoogte van 8 m, staan diagonaal op de rijrichting. Vanwege de verschillende wegbreedtes zijn er bogen met twee verschillende stralen toegepast.

Het dubbel gekromde dakvlak is opgebouwd uit over de dwarsrichting gekromde, driehoekige lichtstraten, verbonden via enkelgekromde stalen gordingen. Doordat de z-assen van de gordingen loodrecht op de kromming van de lichtstraat staan, ontstaan

tussen de lichtstraten driehoekige, dubbelgekromde daksegmenten. Op de gordingen ligt het dakbeschoot.

De uiteinden van de lichtstraten zijn constructief met de bogen verbonden om horizontale krachten uit het dakvlak (door windwrijving) af te dragen naar de fundering. Een van de twee uiteinden van de lichtstraten is daartoe scharnierend verbonden met de boog. Om te voorkomen dat het dak en de boog samenwerken, zijn de verbindingen aan het andere uiteinde van de lichtstraten met de bogen zo vormgegeven dat deze horizontale vervormingen in de richting van de overspanning van de boog toelaten. Het dak is met slanke buizen (CHS 76,1x4) opgehangen aan de bogen. Door windzuiging op het relatief lichte dak kunnen deze staven ook op druk worden belast.

De stalen bogen zijn star verbonden met betonnen poeren. De poeren reiken tot 2,0 m boven het maaiveld. Het gedeelte boven het maaiveld heeft een doorsnede van 1000x1000 mm naar $\varnothing 510$ mm voor een subtiele overgang met de stalen bogen. Omdat er relatief hoge trekkrachten op de fundering werken (windzuiging) zijn de poeren gefundeerd op palen. De zeer hoge conusweerstand (> 30 MPa) in de bovenste zandlagen dicteren het gebruik van grondverdringende boorpalen.

De poeren zijn ontworpen op aanrijdbelasting door vrachtwagens. Om weerstand te bieden aan deze horizontale belasting (en die door windbelasting en boogwerking)

Projectgegevens

Locatie Maasvlakte 2, Rotterdam • Opdracht APM Terminals Maasvlakte II, Maasvlakte-RT • Architectuur en constructief ontwerp Witteveen+Bos, Deventer • Uitvoering H&D Ontwikkeling & Realisatie, Dordrecht • Staalconstructie Willemsse Staalconstructies, Gilze • Data start bouw april 2014, oplevering juni 2014



zijn de palen schoor geplaatst (1:8). Een aandachtspunt in de detaillering is de hwa en E+I-buis, die in de poer (in-situ beton) en de stalen boog zijn opgenomen. De fundering van de stalen bogen is 3D uitgewerkt tot een uitvoeringsontwerp.

Stabiliteit

Windverbanden in elk daksegment faciliteren schijfwerking. De stabiliteit van de bogen wordt in dwarsrichting verzorgd door de van nature aanwezige stijfheid in het vlak van de boog. Omdat de bogen in twee richtingen overspannen is daarmee de stabiliteit in principe gewaarborgd. Echter, omdat de hoek tussen deze twee overspanningsrichtingen gering is ($\pm 21^\circ$), zijn de bogen ingeklemd in de fundering. Horizontale belasting loodrecht op de rijrichting wordt deels door buiging overgebracht op de fundering. Voor de stabiliteitstoetsing is een vrijstaande boog beschouwd. Hiertoe zijn enkele maatgevende bogen met de daarop werkende belasting geïsoleerd uit het 3D-rekenmodel. De steunende werking van het dak, die een positieve bijdrage levert op het knikgedrag van de boog, is verwaarloosd. Met lineaire eigenwaarde-berekeningen (ook wel bekend als knikberekening of stabiliteitsanalyse) zijn de knikvormen en daarbij horende elastische kritische lasten van de bogen bepaald. Hiermee zijn de maatgevende kniklengtes bepaald voor zowel in als uit het vlak. Windbelasting is dominant bij het constructief ontwerp van een lichte overkapping; het

dakoppervlak ligt bloot aan een combinatie van winddruk, -zuiging en -wrijving. Genormeerde dakvormen hebben voorgeschreven windvormfactoren. Voor een dubbelgekromd dakvlak is de norm ontoereikend en kan enkel op basis van een interpretatie een benadering worden verkregen. In de praktijk wordt dit veelal gedaan door de verlopende dakhelling van het gebogen dak te relateren aan de vormfactoren voor hellende daken. Het is op voorhand onduidelijk of hiermee een over- of onderschatting van de werkelijke windbelasting wordt verkregen.

Daarom is windtunnelonderzoek uitgevoerd met een schaalmodel 1:100. Op het model zijn 200 meetpunten aangebracht aan de boven- en onderzijde van het dak. De windrichting is gevarieerd van 0° - 360° in stappen van 15° . Belangrijke parameter in het onderzoek is de 'blokkeringsgraad' van vrachtwagens onder de overkapping. Zonder wagens is er sprake van een open overkapping waar wind nagenoeg vrij spel heeft, maar wanneer overal vrachtwagens geparkeerd staan gedraagt de wind zich meer als bij een gebouw met gesloten gevels. De volgende situaties zijn onderzocht: géén vrachtwagens, één vrachtwagen op diverse locaties (drie) en overal vrachtwagens. Het onderzoek resulteert in 25 windbelastingspatronen die zijn meegenomen als belastinggevallen in een 3D-statische analyse. Daarnaast zijn lokale windbelastingen bepaald voor de bevestiging van het dak. Hieruit blijkt dat

lokaal tot zes maal hogere windbelasting moet worden aangehouden dan bij een interpretatie van de norm waarbij met name de winddrukken op de randen van het dakvlak de grootste verschillen tonen.

Dynamisch gedrag

Afhankelijk van de eigenschappen van een constructie kan door dynamisch gedrag het maximale belastingeffect groter zijn dan wanneer de constructie quasi-statisch reageert op de windbelasting. Dit dynamische gedrag wordt veroorzaakt door variaties in windsnelheid. Met name constructies met een laag eigengewicht zijn hiervoor gevoelig. Met een dynamische vergrotingsfactor op de windbelasting wordt dit effect doorgaans in rekening gebracht. Ook hier kan de dynamische vergrotingsfactor niet aan de norm worden ontleend. De dynamische response van de overkapping is met de resultaten van het windtunnelonderzoek en eigenfrequentie-berekeningen bepaald. Hiertoe zijn de vier laagste (globale) trillingvormen bepaald, 1,4 tot 3,1 Hz. Met de gemeten tijdsignalen van de drukken op het dakvlak en de trillingvormen kunnen de karakteristieke waarden voor de response worden berekend en kan de dynamische vergrotingsfactor worden bepaald. Het windtrillingsgedrag van de overkapping is echter beperkt en de windbelasting hoeft niet vergroot te worden (dynamische vergrotingsfactor = 1,0). •