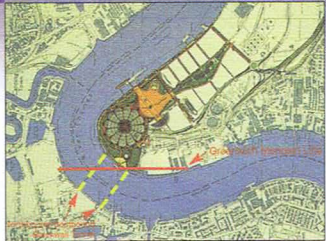


De dome van het millenni

Millennium Experience dome in al zijn schoonheid. Duidelijk zichtbaar zijn de tuikabels, die de radiaal-kabels om de 25 m ondersteunen



De Greenwich meridiaan loopt door het noordwest deel van het terrein.



Het kabelnet geïnstalleerd, de constructie is ook zonder doek stabiel.



Dakdoorvoer van de masten. Nog net zichtbaar de grote ventilator die in elke mast is aangebracht.

Met zijn spinachtige kolomvoeten, een web van tuikabels en een groot, gekromd en reflecterend lichaam ziet de U.K. Millennium Experience Dome er reusachtig uit. Als je tussen de viaducten en kantoorgebouwen door een glimp opvangt van de Millennium Dome, valt direct het boogvormige ontwerp van de verplaatsbare constructie op. Eigenlijk is het gewoon een circustent die enorm is opgeschaald. Als je bij de Dome aankomt, verdwijnt de gevel van het gebouw door de kromming ervan uit het zicht zodat moeilijk is in te schatten hoe groot de dome nu eigenlijk is. Pas als je binnen bent kun je de echte grootte van de Dome bevatten.

De Engelse regering vatte in 1996 het plan op om rond de millennium wisseling een groot feest te laten plaatsvinden, de Millennium Experience. Hiertoe werden vier verdieping hoge paviljoens ontworpen waarin en om allerlei activiteiten zullen plaatsvinden. Een complicatie van het plan was de korte beschikbare realisatietijd, waarin zowel de bouw van de paviljoens als de inrichting ervan gestalte moest krijgen. In de zomer van 1996 werd een ontwerp ingeleverd voor een gebouw dat het hele gebied overdekt waar de Experience zal plaatsvinden. Zodra de overkapping gereed is, kan met inrichten van de ruimte worden begonnen. Dit leverde een belangrijke tijdswinst op, met tevens het voordeel dat de Experience zelf door slecht weer niet in het water kon vallen. Het ontwerp werd ingediend door Ian Liddel van Buro Happold, consulting engineers, Gary Withers van Imagination, een multi-disciplinaire design groep en Mike Davies van Richard Rogers Partnerschip, architecten.

Constructieve principe. Het constructieve principe van de Dome is eenvoudig. 72 voorgespannen kabels zijn radiaalsgewijs georiënteerd. Om de 25 m worden deze kabels met behulp van tuikabels in een boogvorm gepositioneerd. Met behulp van afspankabels wordt de gebogen kabels aan de onderzijde gestabiliseerd. In tangentiële richting zijn ook kabels aangebracht, die de radiale kabels koppelen. Tussen de radiale kabels is het doek gespannen. De tuikabels worden ondersteund door 12 masten van 100 m lang. De radiaalkabels zijn in het midden bevestigd aan een centrale ring met een diameter van 30 m. Deze is opgebouwd uit 12 kabels met een diameter van 48 mm. Door gebruik te maken van een centrale ring in plaats van een centrale knoop, is het mogelijk dat er een tweede draagweg ontstaat in geval van calamiteiten.

Frei Otto. Bij tentconstructies kan er voor de krachtwerking van de constructie uitgegaan worden van twee principes: het vervormingsprincipe en het krommingsprincipe. In de jaren '60 ontdekte Frei Otto het krommingsprincipe: uitwendige belasting wordt opgenomen door voorspanning en dubbele, tegengestelde kromming; hoe groter de kromming des te lager de voorspanning hoeft te zijn om een gegeven belasting op te nemen. Dit principe wordt voornamelijk toegepast bij permanente constructies, omdat de vervormingen van het doek niet groot zijn. De grote dubbele kromming staat borg voor een stabiel vlak. Voor circus- en feesttenten wordt uitgegaan van het vervormingsprincipe: vlak doek wordt opgespannen door rand- en tuikabels. Dit vervormt sterk onder uitwendige belasting waardoor zowel de voorspanning als de kromming toeneemt, waarmee de belasting wordt opgenomen. Bij dit principe is de vervorming van het doek aanzienlijk, wat niet door iedereen als veilig wordt ervaren. Echter, hoe groter de vervorming, hoe sterker de

kromming is toegenomen, dus hoe beter de belasting kan worden opgenomen. Een gevaar bij dit principe is het doorslaan van de constructie waardoor waterzakken kunnen ontstaan. Als het doek echter voldoende afschot heeft, levert dit geen problemen op.

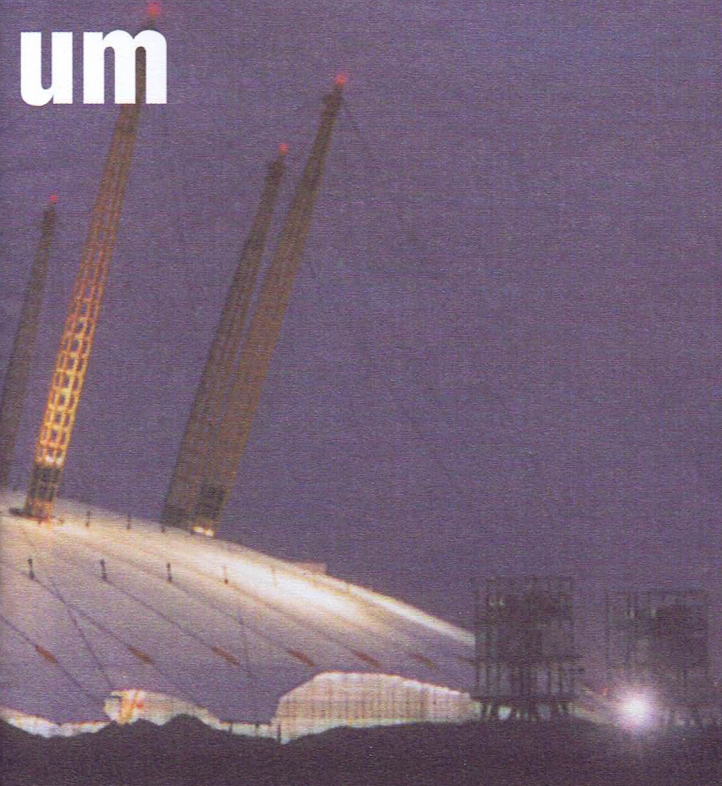
Vervormingsprincipe. De krachtswerking van de Millennium Dome is gebaseerd op het vervormingsprincipe. De radiale kabels zijn voorgespannen en tussen deze kabels is het doek gespannen. Onder neerwaartse belasting zal het doek doorbuigen, waardoor de kromming en de spanning in het doek toeneemt, maar tevens de belasting op kan nemen. De voorspanning in de radiaalkabels zal afnemen. Om in het geval van asymmetrische belasting het doorslaan van de constructie te voorkomen, zijn de radiaalkabels op verschillende plaatsen aan elkaar gekoppeld. Om te voorkomen dat deze kabels een obstakel vormen voor regenwater en sneeuw, zijn ze met behulp van een afstandhouder boven het doek geplaatst.

Bij opwaartse belasting zal het doek ook vervormen, de spanning in het doek neemt toe en de kracht in de voorspankabel ook.

Revolutionair. De toepassing van het vervormingsprincipe bij de Dome is tamelijk revolutionair. Tot nu toe is een belangrijk deel van het ontwerpen van permanente tentconstructies erop gericht de vervormingen zo klein mogelijk te houden. En nu wordt er juist op de grootte van de vervorming geanticipeerd om de uitwendige belasting op te nemen. Om de reactie van het publiek op dergelijke constructies te testen, is het principe toegepast in een tennishal te Eastleigh en een ontvangsttent voor RSSB. De constructies zijn nog steeds in gebruik, waaruit geconcludeerd is dat de vervormingen acceptabel zijn. Om ervoor te zorgen dat de vervormingen niet te groot zullen worden, is er gebruik gemaakt van een hoge voorspanning. In onbelaste toestand is er een kracht van 400 kN aanwezig in de radiaalkabels, ongeveer tweederde van de maximale kracht. Een voordeel bij de Millennium Dome is dat bij toenemende afstand tussen de kabels, ook de helling van het doek toeneemt. Hierdoor is het gevaar voor doorslaan van de constructie

Met behulp van tijdelijke klemmen wordt het doek gepositioneerd, waarna het hydraulisch wordt voorgespannen.





minder omdat de windbelasting afneemt, het regenwater zonder problemen afwatert en sneeuw niet blijft liggen.

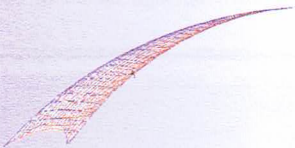
Fundering. De fundering bestaat uit een grote ring, die de horizontale krachten opneemt. De verticale krachten worden opgenomen door funderingspalen. In eerste instantie was elke radiaalkabel direct aan de grond verankert. Om een beter toegankelijkheid van de dome te krijgen, zijn de radiale kabels bevestigd aan een randkabel. Het aantal funderingspunten is hiermee teruggebracht naar 24. Om de afspankabels aan de onderzijde van het doek uit het zicht te houden, zijn de 12 masten op een vierpoot van 10 m hoog geplaatst. Deze poten zijn zo ontworpen dat de constructie blijft staan als er bij calamiteiten 1 poot zou verdwijnen.

Dubbel membraan. Het dak moet een geconditioneerde ruimte bieden voor de tentoonstelling en andere activiteiten. Het lichtspectrum moet zoveel mogelijk lijken op daglicht. Tevens moet het dak geïsoleerd worden om condensatie te voorkomen. Dit waren een aantal eisen die moeilijk te verenigen zijn. Om toch de lichtdoorlatendheid te behouden en het risico van condensatie te vermijden, is een dubbel membraan toegepast. Uit ervaringen met andere projecten is gebleken dat hierdoor het gevaar van neerslag door condensatie klein is. In eerste instantie was men voor het buitenmembraan uitgegaan van PVC gecoat polyesterdoek. Dit doek laat in combinatie met een binnenmembraan een lichtspectrum door dat daglicht het meest benaderd. Een andere mogelijkheid, Teflon gecoat glasvezel doek zorgt ervoor dat het lichtspectrum in combinatie met een binnendoek wat bruinig wordt. Onder druk van de milieubeweging is men overgestapt op Teflon gecoat glasvezel doek. Het was hiervoor wel noodzakelijk om de oorspronkelijke tijdelijke bestemming van de Dome te wijzigen in een permanente, om de extra kosten verbonden aan glasvezeldoek te kunnen rechtvaardigen. □

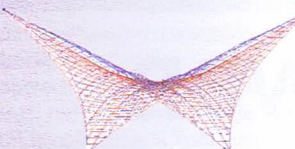
Installatie van het membraan.



Bij tentconstructies kan er voor de krachtwerking van de constructie uitgegaan worden van twee principes: het verwarmingsprincipe en het krommingsprincipe.

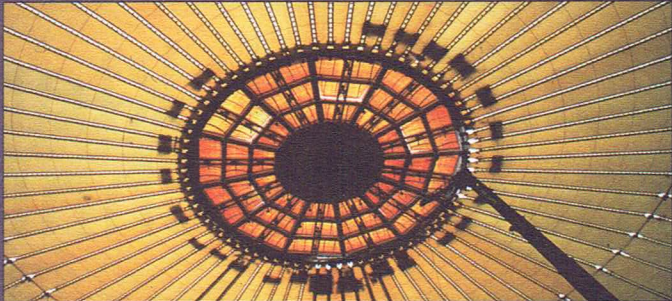


Vervormingsprincipe: de vorm slaat door naar de andere kant en kan door de op deze wijze ontstane kromming de belasting opnemen.

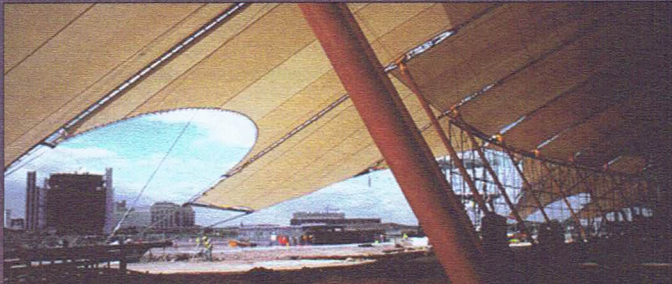


Krommingsprincipe: door de dubbele tegengestelde kromming blijft de vorm intact

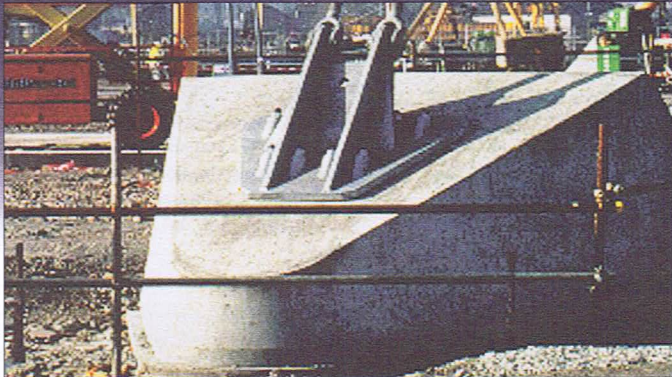
Rogier Houtman is werkzaam bij Tentech Design & Engineering en TU Delft Civiele Techniek, vakgroep Gebouwen en Bouwtechniek, T. 015 - 278 42 80



Middenring met 36 mechanisch te openen ventilatieluiken.



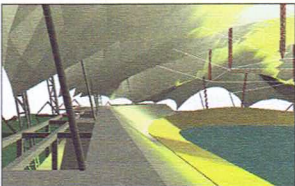
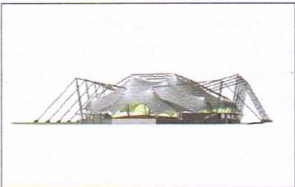
De radiaalkabels worden ter plaatse van de scheiding binnen/buiten gesteund door randmasten. Goed te zien is het verschil in lichtdoorlatendheid met en zonder binnenmembraan. Aan de bovenzijde van de randmasten is een naspanmogelijkheid voor de radiaalkabels aangebracht.



De radiale kabels worden op 24 plaatsen verankerd.

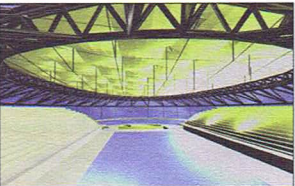
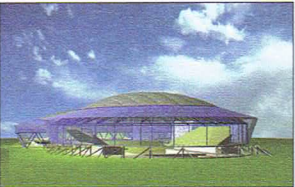
Domotica: (twee) ontwerpen voor tentdoekoverkappingen

Afstudeerontwerp van een overkapping voor een Velodrome te Apeldoorn. Met behulp van zwevende masten wordt het doek omhooggedrukt, waardoor er voldoende kromming ontstaat om het dakvlak te stabiliseren. De zwevende masten worden gedragen door kabels die naar de top van de pilonen lopen. Overdekte ruimte: 110 x 65 m



Stan P. Jansen, TU Delft 1997. Begeleidend architect: Architectenbureau Sander Douma BNA.

Afstudeerontwerp van een overkapping voor een kunstijsbaan te Skibberdeen, U.K. Met behulp van een lensvormige pneu die op overdruk is gebracht, wordt een overspanning gecreëerd van 104,5 x 74,5 m. Het ondermembraan van de pneu wordt door middel van een kabelnet en zwevende masten omhoog gedrukt, waardoor er geen visuele barrière ontstaat en het volume van de pneu afneemt.



Bart J.E.M. Leclercq, TU Delft 1999. In opdracht van Ove Arup Partners, Ireland. Begeleidend architect: Ian Ritchie Architects.