

Het is niet makkelijk
om een scheve toren
scheef te houden

Scheef zo die staat

Ruim tien jaar stond de toren van Pisa in de steigers. Reden: het eeuwenoude bouwwerk dreigde om te vallen. Maar de zeventiende reddingscommissie kreeg het voor elkaar de toren stabiel scheef te zetten.

■ TEKST: MICHIEL VAN STRATEN

Hoe scheef de toren van Pisa echt is, merk je pas als je binnenkomt. De tocht naar boven via de 296 marmeren traptreden heeft wel wat weg van een kermis-attractie. De trap is nergens een gewone trap: dan weer steiler dan je verwacht en dan weer vlakker. Aan de oostelijke kant krijg je trapopwaarts het gevoel dat je in een tekening van Escher beland bent, want het lijkt alsof je omlaag gaat.

Wie bedacht dit ontwerp uit 1173, bedoeld als vrijstaande klokkentoren van de Dom die er al eerder verrees? Dat is niet duidelijk. Er gaan verschillende namen rond. Misschien was het Deotisalvi, die

ook de naastgelegen doopkapel ontwierp. En anders wellicht de gebochelde Willem van Innsbruck. Volgens de overlevering zou hij uit frustratie over zijn aandoening de toren doelbewust hebben laten kantelen. Maar dat verhaal gelooft nu niemand meer.

● **Bouw stopt snel**

Wie de bouwmeester ook was, de bouwers wisten dat de grond uit het relatief zachte leem bestond. Daarom kozen ze voor een ronde toren. Een ronde toren verspreidt de druk beter dan een vierkante, waarvan de hoeken extra worden belast. Verder kreeg de toren een drie meter diepe fundering, wat destijds genoeg werd geacht.



Maar helaas, in de praktijk pakte het anders uit. Al na de voltooiing van de eerste rij zuilen zakte de toren wat naar het zuiden. Tegen beter weten ging de bouw verder, totdat vijf jaar later het geld op was. Er stonden op dat moment drie verdiepingen, en het duurde een eeuw voordat het werk hervat werd. Achteraf gezien betekende dat waarschijnlijk de redding van de toren. In die eeuw tijd werd de grond onder de druk van de halve toren een stuk steviger. Als het

bouwwerk direct zeven etages had gekregen, dan zou het waarschijnlijk ook meteen zijn ingestort. In 1278 bleef het bij de voltooiing van de zevende verdieping gewoon staan, 55 meter hoog en 1,4 meter uit het lood.

● **Zakken en zakken**

In 1372 kreeg de toren van Pisa zijn klokken. En kennelijk zonder problemen, want pas vier eeuwen later, in 1787, werd het bouwwerk weer bekeken. De toren stond nu



Toren als medaille

De klokkentoren van Pisa was bedoeld om de gelovigen te herinneren aan de overwinning van het christendom op de islam. De buit die de Pisaners in deze strijd veroverden, gebruikten ze om de bouw van monumenten te betalen. De klokkentoren was er één van. Hij staat op het Piazza dei Miracoli, naast de andere 'medailles', de doopkapel en de kathedraal. Hier konden middel-eeuwse Pisaners de belangrijkste momenten van hun leven doorbrengen: hun doop, hun huwelijk en hun begrafenis. Alles begeleid door het klokgebeier vanuit de scheve klokkentoren.

Bodem is het probleem

Dat de toren van Pisa scheef staat, heeft niets te maken met de constructie. Die deugt. De toren staat op het probleem. Toen de Pisaners in de 11de eeuw plek zochten om een kathedraal, doopkapel en klokkentoren te bouwen, kwamen ze op één van de weinige open plaatsen uit die binnen de stadswallen te vinden was. De grond is daar helaas ongeschikt voor zware en hoge gebouwen. De bodem bestaat uit leem. Dat is een mengsel van klei en silt, een sediment met korrels kleiner dan zand. Dat is niet stevig genoeg om het fundament van de toren stabiel te maken. In Nederland komt ook veel leemgrond voor, vooral langs kusten en rivieren. Zonder fundament van meterslange heipalen kun je daar niet stevig op bouwen.

'zes en een halve arm' uit het lood, bijna vier meter. Dat leidde niet tot actie. En ook na de capriolen van architect Alessandro Gherardesca gebeurde er niets. Hij bedacht in 1838 dat er een marmeren voetpad rond de toren moest komen. Dat zou een stuk beter ogen op het ruime plein waar de toren en de Dom op stonden. Het mondde uit in een bijna-ramp: door alle graafwerkzaamheden kreeg het grondwater vrij spel. De toch al zachte leemgrond rond de toren

werd als gevolg daarvan nog veel zachter. Gherardesca slaagde erin beroemd te worden, maar dan wel als de architect die de toren nog een tikje verder uit het lood wist te krijgen.

Pas na 1902 volgde enige actie om de toren van Pisa voor de ondergang te behoeden. Toen stortte de ook al scheve klokkentoren van Venetië in. De inwoners van Pisa schrokken: kon dat ook gebeuren in hun stad? Om dat uit te zoeken, gingen in de jaren daarop maar

liefst acht commissies aan het werk. Maar veel meer dan meten aan de toren en met de handen in het haar zitten, deden die niet. Een doorn in het oog van Benito Mussolini. Toen hij aan de macht kwam in 1922, kon de fascistische leider zijn daadkracht tonen. Het moest eens afgelopen zijn met al dat meten. Actie was vereist! Mussolini liet ingenieur Giulio Fascetti een plan maken. Fascetti wilde cement in de fundering spuiten. Vrijwel alle

experts waren erop tegen, uit vrees voor onverwachte bewegingen van de toren. Maar Mussolini duldde geen weerwoord. Hij liet negentig ton cement in de fundering van de toren spuiten, die prompt enkele millimeters verder onderuit ging. Dat lijkt niet veel, maar op een dag is nog maar een millimeter nodig om de toren te vellen.

700 ton lood aan de voet van een historisch bouwwerk, dat ziet er niet uit

Galileo's mythe

Volgens een hardnekkige mythe liet de beroemdste Pisaner ooit, Galileo Galilei (1564-1642), voor een experiment gewichten van de scheve toren vallen. In zijn tijd heerste het idee dat een object dat 2 keer zo zwaar is, ook 2 keer sneller valt. Die opvatting maakte Galilei onhoudbaar met zijn proeven. Zijn conclusie: alles valt even snel. Maar in geen enkel geschrift van Galilei staat iets over experimenten op de toren. Wel zijn ze beschreven door Vincenzo Viviani, de persoonlijke secretaris van Galilei. Vermoedelijk vond Viviani het goede publiciteit en verzong hij het verhaal. Galilei heeft waarschijnlijk wel wat geëxperimenteerd met gewichten, maar hij deed dat niet hangend over de reling van de scheve toren. En voor het inzicht dat alles even snel valt (als je de wrijving buiten beschouwing laat), had hij geen proef nodig. Hij kwam langs theoretisch weg tot die conclusie.



De grond met vloeibare stikstof bevrozen leverde niet de gewenste stabiliteit op.

Het Piazza dei Miracoli, of het 'Plein der Wonderen', huisvest niet alleen de scheve toren. Ook de Dom (midden) en het Baptisterium, of doopkapel (achter), zijn grote toeristentrekkers.

► • Terugzetten met lood

Meer commissies volgden, die nog minder deden. In 1992 begon de zeventiende commissie. Inmiddels was het niet meer de bedoeling om de toren recht te zetten. Want dat was niet meer het probleem. Integendeel, de scheve toren had het tot handelsmerk van de stad Pisa geschopt. Het bouwwerk was een trekpleister voor toeristen die niet naar een rechte toren zouden komen kijken. Daarom moest hij scheef blijven. Maar dan moest er wel wat gebeuren, omdat de toren elk jaar een millimeter verzakte, en onherroepelijk een keer in zou storten.

De toren kreeg een soort 'korset'. Werklui trokken kabels van vier millimeter dik roestvrij staal rond de eerste verdieping. Dat moest de

boel elkaar houden, voordat men met het echte werk beginnen kon. Omdat de toren naar de zuidkant helt, komt aan de noordelijke kant de fundering omhoog. Oplossing: een contragewicht. Nadat er een betonnen basis aan de toren was vastgemaakt, kwam daar in 1993 aan de noordkant een slordige 700 ton lood op te staan. Dat gewicht was voldoende om de top van de toren twaalf millimeter 'terug' te zetten. En, nog veel belangrijker, vanaf dat moment trad de jaarlijkse millimeter verzakking niet meer op.

• Vriezen helpt niet

Maar ja, 700 ton lood aan de voet van een historisch bouwwerk, dat



700 ton lood werkte prima als contragewicht. Maar je kunt moeilijk volhouden dat het een sieraad voor de historische toren was.

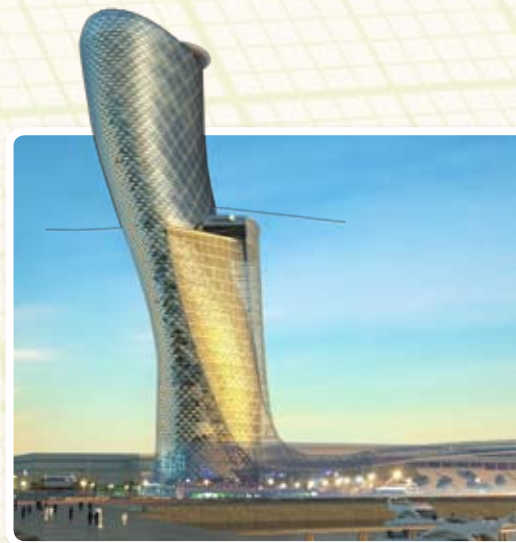
ziet er niet uit. Daar maak je als toerist geen mooie foto's van. Een permanente oplossing mocht niet te zien zijn. Daarvoor werden een

soort grondankers bedacht. Stalen kabels zouden aan de noordelijke kant van de klokkentoren worden vastgeklonken en aan de andere



Rechte vloer

De vloer van de bovenste verdieping van de toren van Pisa is horizontaal. Dat maakt staan makkelijker als je het uitzicht en de klokken bewondert. De horizontale vloer was een bijdrage van de 14de-eeuwse architect Tommaso d'Andrea. Het was zijn manier om toch nog iets aan de scheve toren recht te maken. Als je bijna boven bent, heb je vanaf de zuidkant van de toren nog 6 trap treden te gaan, terwijl er aan de noordkant maar 4 nodig zijn. De verdiepingen van de toren van Pisa zijn vanaf de 4de laag niet helemaal recht op elkaar gezet, om de scheefstand iets te corrigeren. Die bouwwijze geeft de toren de vorm van een banaan. Hij is dus niet alleen scheef, maar ook krom. Hoewel dat niet met het blote oog zichtbaar is.



De Capital Gate-toren is volgens Guinness World Records officieel de scheefste door mensen gemaakte toren ter wereld.

Wie heeft de schuinste?

De scheve toren van Pisa is niet de scheefste scheve toren ter wereld. Die staat sinds 2010 in Abu Dhabi. Het Capital Gate-gebouw staat 18 graden uit het lood. Belangrijk verschil met Pisa: de Arabieren hebben hun 160 meter hoge toren opzettelijk zo schuin gemaakt. Ook in het klassement voor 'per ongeluk scheve torens' staan de Italianen niet bovenaan. Want de scheefste toren ter wereld staat in het Duitse dorp Suurhusen. De lokale kerktoeren daar is slechts 27 meter hoog, maar staat 5,19 graden uit het lood. De scheefste toren van Nederland? Daarvoor moet je naar Groningen. De 35 meter hoge Walfridustoren in het dorp Bedum staat 4,2 graden scheef, schever dan die van Pisa.



Als je een rechte vloer op een scheve toren wilt hebben, dan moet je hier en daar wat smokkelen.

Decoratieklok

De klokken hebben nu nog alleen nog een decoratieve functie. Ze werden in 1910 voor het laatst geluid. Tot die tijd kondigden ze het begin van de kerkdienst aan. De commissie die toen de problemen onderzocht, besloot dat de klokken voortaan moesten zwijgen. Hun geslinger en de trillingen die het gebeier veroorzaakte, kwam de stabiliteit niet ten goede.

kant aan cementen blokken op 45 meter diepte. Om te voorkomen dat tijdens het boren grondwater zou gaan stromen, was er een truc nodig. Door vloeibaar stikstof van bijna 200 graden Celsius onder nul in de grond te spuiten, werd die keihard bevroren. Maar niet met het gewenste resultaat. Tot schrik van iedereen verzakte de toren in een enkele nacht twee millimeter. De 'diepvries' ging weer uit, en de grondankers zijn nooit geplaatst. Tijd voor een nieuw plan.

● Graafwerk werkt

John Durland, een Engelse ingenieur die deel uitmaakte van de commissie, had goede ervaringen gehad bij eerdere projecten met het uitgraven van ondergrond. De gedachte is simpel: als je grond weghaalt onder het hogere noordelijke deel, zal de toren naar die kant terugkeren en wat rechterop komen te staan. Na een succesvolle proef met een schaalmodel besloot men in 1999 over te gaan tot het echte graafwerk. Maar de commissie bleef op zijn hoede: de kuren van de ondergrond hadden eerder voor onaangename verrassingen gezorgd. Dat mocht nu niet weer gebeuren. Dus werd er eerst een soort 'veiligheidsgordel' rond de toren aangebracht. Die werkte

precies als de gordel in een auto: je hebt hem wel, maar voelt hem pas als het mis gaat. Zou de toren bij deze graafwerkzaamheden verder zakken, dan zou die gordel voorkomen dat hij instortte. Maar het werk verliep nu wel voorspoedig, en de gordels konden ontmanteld worden zonder dat de toren er veel kracht op had uitgeoefend. Daarna werd het bouwwerk weer toonbaar gemaakt. De honderden tonnen lood verdwenen, hetzelfde geldt voor het 'veiligheidskorset'. Het marmer van de toren is met cementinjecties en stalen balken in de muren verstevigd. Daar zie je nu niets meer van. Het slotstuk was een ring van gewapend beton, waarmee de toren steviger aan zijn basis vast kwam te zitten. Het

resultaat: de toren staat nu zonder steigers veertig centimeter rechterop. Dat lijkt niet veel, maar het is genoeg om het historische monument letterlijk in stand te houden. Dat meent in elk geval Michele Jamiolkowski, de commissievoorzitter: 'Ik geloof dat de toren nu in goede gezondheid is en stabiel zal blijven gedurende lange tijd, meer dan 200 jaar.' Rond 2200 weten we of hij gelijk heeft. ■

redactie@quest.nl

! MEER INFORMATIE

<http://tinyurl.com/PisaScheef>: officiële site van de toren en de andere monumenten op het Plein der Wonderen, in het Engels.