

LONDON EYE – OD IDEJE DO UPORABE

Najveća londonska atrakcija

PRIPREMILA:
Maja Marić

Uspjeh i slava *London Eyea* potakli su gradnju niza kotača, posebno u Kini koja je i time htjela obilježiti gospodarski napredak, pa je u njoj sada osam od dvadeset najvećih u svijetu

Uvodne napomene

Ono što je *Eiffelov toranj* Parizu ili *Empire State Building* New Yorku, to je Londonu *London Eye* (*Londonsko oko*). Taj se rotirajući kotač neprestano okreće, osim u iznimnim situacijama kada ulaze ili izlaze invalidi i stariji posjetitelji. Sviđa se domaćim i stranim turistima, a dobio je i brojna priznanja. Jedan od simbola suvremene Britanije smješten je na južnoj obali Temze u četvrti Lambeth. Nalazi se na zapadnom kraju *Jubilee Gardensa* (parka uređenog 1977. za kraljičin srebrni jubilej i temeljito obnovljenog 2012. za Olimpijske igre) te između mostova *Westminster* (iz 1862.) i *Hungerford* (iz 1864., dopunjen 2002. *Mostom zlatnog jubileja*). Zapravo je smješten pokraj neobarokne stare vijećnice County Halla (iz 1922., dograđene 1939.), a nasuprot slavnoga *Big Bena*

(sa zvonom iz 1858.) i srednjovjekovne *Wetsminsterske palače* odnosno *Zgrade parlamenta* (obnovljene 1870.) koja je pod zaštitom UNESCO-a.

Gradnja *London Eyea* započela je krajem 1998., završena u listopadu 1999., ali zbog određenih tehničkih problema u uporabi je od ožujka 2000. godine. Kako je poput ostalih tadašnjih londonskih građevina (*Milenijskog mosta* i *Milenijske kupole*) trebao obilježiti novo tisućljeće, svečano je otvoren 31. prosinca 1999. u 20 sati. Jedan okret traje 30 minuta, što je 26 cm/s ili 0,9 km/h. U tom jednom okretu može prevesti i do 800 putnika, a karta stoji 18 funti. Zabilježeno je da je do prosinca 2009. kotač koristilo ukupno 36 milijuna putnika, a sada je to vjerojatno više od 50 milijuna. *London Eye* je s visinom od 135 metara četvrta po veličini građevina u Londonu, nakon *One Canada Squarea* (235



Pogled iz kabine *London Eyea* na *Jubilee Gardens*



Pogled na kotač s *Westminster Bridge Road* (u pozadini je dio mosta *Hungerford*)

m) iz 1991., *Towera 42* (183 m) iz 1980. i *BT Towera* (177 m, s antenom 191 m) iz 1974. Inače, to nije prvi takav kotač u Londonu jer je jedan bio izgrađen potkraj 19. stoljeća nešto zapadnije u *Earl's Courtu*, točnije 1895. kada su takve atrakcije bile vrlo popularne, a zvao se *Veliki kotač*. Mogao je u jednom okretu prevesti 1600 osoba, dvostruko više od sadašnjeg, ali je zatvoren 1905. i razmontiran 1906. godine. Visina mu je iznosila 94 metra, a imao je 40 kabina.



Singapore Flyer – najviši vrtuljak za razgledavanje na svijetu

Sadašnji *Millenium Wheel* ili *London Eye* bio je dugo vremena najviša takva konstrukcija na svijetu. Nadmašili su ga 2006. *Star of Nanchang* u Kini sa 160 m visine i 2008. *Singapore Flyer* sa 165 m. No u veljači 2014. trebao bi biti otvoren *High Roller* u Las Vegas Stripu u SAD-u koji će biti visok 167,6 m i koji će za 2,6 m nadmašiti vrtuljak u Singapuru. Čini se da je u travnju 2013. u Ujedinjenim Arapskim Emiratima iznad mora započela gradnja gotovo nedostižnog 210 metar visokog *Dubai Eyea* koji bi trebao biti završen tijekom 2014. Najavljeno je također da će se u New Yorku 2015. početi graditi kotač visok 190,5 m koji bi trebao proraditi 2016. godine. U Orlando u SAD-u najavljuju se čak dva velika rotirajuća kotača, visine 129,6 m i 131,1 m koji bi trebali biti pušteni u rad krajem 2014. Treba dodati da su bili najavljeni, ali se neće graditi, vrtuljci za razgledavanje u, primjerice, Moskvi (220 m), Peking (208 m), Bagdadu (198 m), Bangkok (176 m) i Berlinu (175 m), a razlozi su dakako financijske prirode. Ipak *London Eye* i dalje je najveći takav konzolni kotač na svijetu, dakle kotač koji je za razliku od drugih pridržan samo s jedne strane. Uostalom i dalje je najveći rotacijski kotač u Europi i u zapadnoj hemisferi. Namijenjen je za turi-

stička promatranja središta Londona, a pogled seže u krug od čak 40 kilometara. Ima ukupno 32 kabine, odnosno svojevrsne zračne gondole koje predstavljaju 32 gradske četvrti, a u svaku može stati najviše 25 osoba. Prvotna je namjera bila da bude u upotrebi samo pet godina i za toliko je vremena bio i potpisan ugovor o najmu zemljišta u koji su ukopani krakovi kosog pilona i usidreni kabeli. No kako se radi o najpopularnijoj londonskoj turističkoj atrakciji, s približno 3,5 milijuna posjetitelja na godinu, gradske su vlasti i vijeće okruga Lambeth ipak odlučili da ga trajno zadrže.

London Eye najveći je rotacijski kotač u Europi i u zapadnoj hemisferi, ali i najveći konzolni kotač na svijetu jer je pridržan samo s jedne strane

Nastanak velikih rotirajućih kotača

U svijetu je inače za slične atrakcije naziv Ferrisov kotač, a sastoji se od uspravno postavljenoga rotirajućeg kotača s kabinama za putnike koje su pričvršćene za okvir kotača tako da stoje uspravno bez obzira na okretanje. Izvor-

ni je vrtuljak za razgledavanje osmislio projektant i graditelj čeličnih mostova George Washington Gale Ferris, Jr. (1859.-1896.). Njegov je kotač izgrađen i za javnost otvoren u lipnju 1893. kao posebna atrakcija ondašnje Svjetske Kolumbove izložbe u Chicagu. S tom je izložbom obilježena 400. obljetnica otkrića Amerike, ali i pokazano svijetu da se Chicago uspješno oporavio od velikog požara 1871. godine.

Organizatori čikaške izložbe 1893. priželjkivali su odgovor na konstrukciju *Eiffelova tornja*, a Ferris im je predložio pokretnu strukturu za razgledavanja cjelovitoga izložbenog prostora

Naime, organizatori su čikaške izložbe priželjkivali svojevrsan odgovor američkih konstruktora na izazov što ga je na prethodnoj svjetskoj izložbi u Parizu 1889. svojom dojmljivošću uputila golemo konstrukcija *Eiffelova tornja* (visine od 300 m, s antenom 320,75 m). Htjeli su zapravo nešto izvorno, smiono i posebno, a Ferris im je predložio pokretnu strukturu odakle će se moći razgledati cjeloviti izložbeni prostor. Iako je takvih vrtuljaka, doduše drvenih i znatno manjih, bilo davno prije, mnogi su posumnjali u njegovu sigurnost i stabilnost. Ipak, Ferris je ustrajao i u nekoliko tjedana osigurao revizijske potvrde uglednih stručnjaka, pa je organizacijski odbor dopustio početak gradnje. Štoviše, nekoliko je lokalnih investitora odlučilo pokriti troškove gradnje s iznosom od ondašnjih 400.000 dolara jer su organizatori bili u financijskim teškoćama.

Ferrisov kotač ili *Chicago kotač* bio je visok 80,4 m, imao je 36 kabina od kojih je svaka primala po 60 putnika. Imao je dakle kapacitet od 2160 osoba po jednoj vožnji i mogao je uslužiti gotovo 38.000 posjetitelja na dan. U 20 minuta kotač se okretao dva puta i to tako što bi prvi put šest puta stajao za ukrcaj i iskrcaj, a drugi krug je trajao neprekinuto 9 minuta. Nakon zatvaranja izložbe u listopadu 1893. kotač je radio do kraja izložbe i po-



Ferisov kotač – prvi suvremeni vrtuljak za razgledavanje



Pariški kotač *Grande Roue* bio je dugo vremena najviši na svijetu

tom je rastavljen i postavljen na sjeveru Chicaga. Još je jednom rastavljen 1904. i prevezen željeznicom u St. Louis, također za svjetsku izložbu, a na kraju je 11. svibnja 1906. uništen dinamitom u kontroliranim uvjetima.

George Washington Gale Ferris započeo je raditi na željeznicama, a zatim su ga sve više zanimali mostovi, posebno čelični. Predvidio je veće zanimanje za građevinski čelik pa je u Pittsburghu osnovao tvrtku za ispitivanje i pregled metala za željeznice i mostove. Njegov rodni gradić u Illinoisu sada nosi njegovo ime – Galesburg. Umro je nekoliko godina nakon gradnje kotača koji ga je proslavio i koji nosi njegovo ime – u 37. godini od trbušnog tifusa.

Nakon čikaškog kotača dvije je godine poslije izgrađen već spominjani londonski *Veliki kotač* koji je izgrađen za Carsku indijsku izložbu i koji je u dvije godine imao nešto više od 2,5 milijuna posjetitelja. Potom je 1900., također za svjetsku izložbu i ponovno u Parizu, izgrađen 100 m visoki *Grande Roue* koji je bio u uporabi sve do 1920. godine, ali je ostao najveći ikad izgrađen Ferrisov kotač gotovo 90 godina. U to je doba na kraju 19. i početkom 20. stoljeća izgrađeno nekoliko kotača za razgledavanje, ali svakako valja posebno istaknuti jedan nama najbliži, izgrađen 1897. u bečkom Prateru u sklopu proslave zlatnog jubileja cara i kralja Franje Josipa I. *Wiener Riesenrad* (Bečki veliki kotač). Nije međutim znamenit po svojoj visini od 64,75 m već po svojoj dugotrajnosti jer

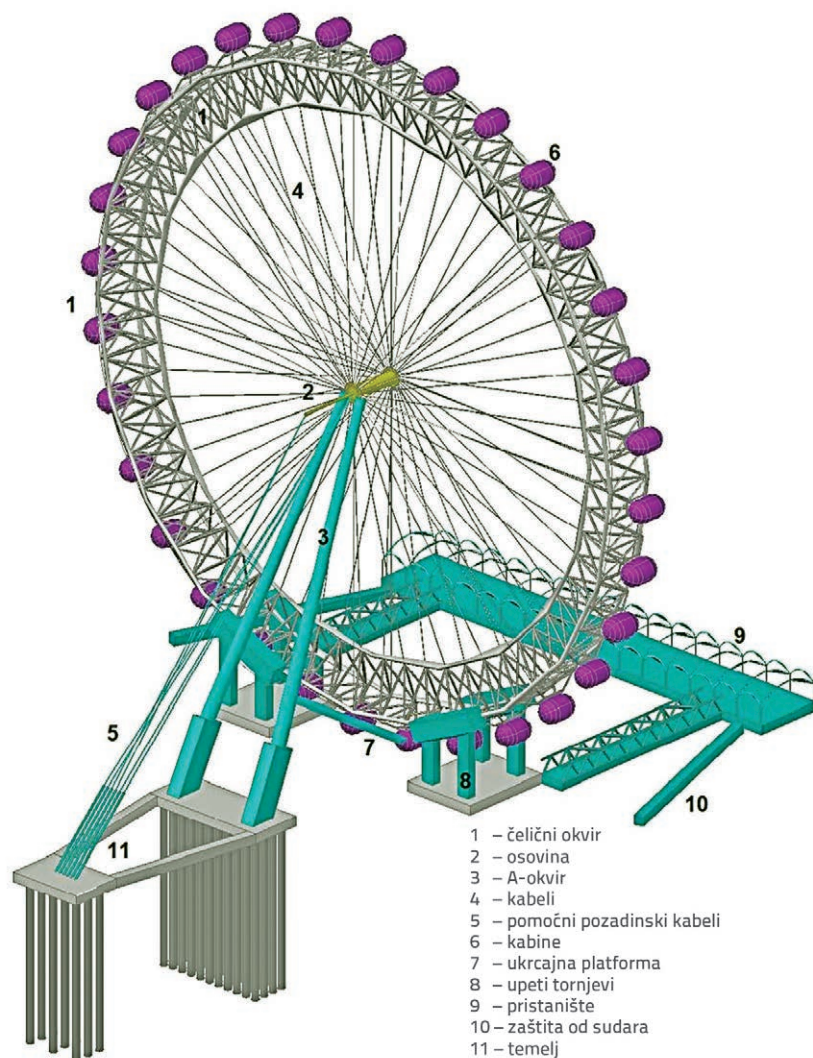
je i danas u uporabi i jedini je takav kotač iz 19. stoljeća. Ipak, bio je najveći svjetski panoramski vrtuljak u uporabi od rušenja pariškog kotača do gradnje 85 m visokog *Technocosmosa* za *Expo '85* u Tsukubi u Japanu. Inače je *Riesenrad* izvorno imao 30 kabina i već 1916. imao je dozvolu za rušenje, ali ga je spasio nedostatak novca. Izgorio je 1944., a potom je obnovljen, ali samo s 15 kabina. I danas je privlačna turistička atrakcija.

Čini se da je uoči i nakon I. svjetskog rata potpuno splasnulo oduševljenje za velike vrtuljke za razgledavanje i to je trajalo sve do sredine osamdesetih godina prošlog stoljeća i već spomenutog *Technocosmosa*. Potom je, također u Japanu, 1989. slijedio *Cosmo Clock 21* za izložbu *YES '89* u Yokohami (visok 107,5 m, a nakon što je preseljen na nešto višu lokaciju 112,5 m), potom 1997. *Tempozan Ferris Wheel* u Osaki (112,5 m) i 1999. *Daikanransha* u Odaibi (115 m). Velik uspjeh i slava *London Eyea* potakli su niz velikih čeličnih konstrukcija Ferrisovog kotača, posebno u Kini koja je i na taj način htjela obilježiti svoj golemi gospodarski napredak. Primjerice, među prvih dvadesetak najvećih takvih kotača u svijetu, čak ih je osam u Kini, a sedam u Japanu, dok su preostali, osim londonskoga, u Singapuru, Australiji, Francuskoj i Italiji.

Projekt i gradnja *London Eyea*

Prijedlog za gradnju sada već slavne londonske atrakcije dali su 1993. arhi-

tekti i supružnici Julia Barfield i David Marks. Najprije je bio zamišljen kotač vanjskog promjera 150 m, sa 60 kabina po 16 putnika koje bi predstavljale 60 minuta i bili svojevrsni simbol ulaska u novo tisućljeće. Ipak, zbog previsoke cijene promjer je smanjen na 135 m i 32 kabine po 25 putnika. U projektiranju je bila uključena poznata londonska tvrtka *Marks Barfield Architects*, a uz Juliju Barfield i Davida Marksa sudjelovali su i arhitekti Frank Anatole, Nic Bailey, Steve Chilton, Malcolm Cook i Mark Sparrowhawk. Projekt je konstrukcije izradila još jedna londonska tvrtka *Arup Group Limited* koja ima više od 10.000 zaposlenih i 83 ureda širom svijeta, a najsloženije je konstrukcije projektirala u više od 160 zemalja. Dovoljno je spomenuti samo neke, poput Sidnejske opere, stadiona *Alianz Arena* u Münchenu ili *Milenijskog mosta* u Londonu. Gradnju je vodila londonska tvrtka *Mace Group Ltd* koja također radi u više od 60 zemalja širom svijeta. Glavni je izvođač čeličnih dijelova bila tvrtka *Hollandia* iz Nizozemske, a za građevinske je radove bila zadužena poznata britanska tvrtka *Tilbury Douglas* koja je sada u sastavu multinacionalne kompanije *Interserve Plc*. Projekt temeljenja izradila je konzalting tvrtka *Tony Gee & Partners*, a radove u rijeci Temzi tvrtka *Beckett Rankine*. *Nathaniel Lichfield & Partners* pomagala je tvrtki *Tussauds Group*, vlasniku *London Eyea*, u dobivanju svih potrebnih dozvola, posebno u



Dijelovi London Eyea

intervencijama na obalnom zidu južne riječne obale, ali i naknadnom dogovaranju stalnog smještaja konstrukcije.

Slavnu su londonsku atrakciju 1993. predložili arhitekti i supružnici Julia Barfield i David Marks kao način obilježavanja ulaska u novo tisućljeće

Tijekom sedam godina od prijedloga do službenog otvorenja stotine su stručnjaka i radnika iz šest zemalja bile uključene u projekt. Čelik iz Ujedinjenog Kraljevstva obrađen je u Nizozemskoj, kabeli su dovezeni iz Italije, a ležajevi

iz Njemačke. Osovina i glavina kotača odlijevani su u Češkoj, kabine su izrađene u Francuskoj, a staklo za njih nabavljeno je u Italiji jer su dno i svod kabina od čelika, a sve je ostalo radi razgledavanja u staklu. Osim čelika i svi električni dijelovi su iz Velike Britanije.

U rujnu 1998. tvrtki *Hollandia* upućen je zahtjev da u 16 mjeseci projektira i radionički izradi čeličnu konstrukciju te je u dijelovima dovezne na gradilište gdje će se kotač montirati i u njega postaviti upravljački mehanizam. Problem je osim složenosti građevine bilo i ograničeno vrijeme. Stoga su cijevni elementi rešetke okvira kotača morali biti naručeni odjednom s obzirom na datum dovršetka, iako u tom trenutku nisu bili

izrađeni proračuni ni potrebne izmjere. Konačni su proračuni rađeni prema standardnim britanskim i nizozemskim normama te *Eurocodeu*.

Inače, tvrtka *Hollandia* djeluje od 1928. pokraj Rotterdama, a specijalizirala se za projektiranje, dostavu i montažu složenih čeličnih konstrukcija. Između ostalog proizvodi i pokretne i nepokretne mostove, poput mosta *Samuel Beckett* na rijeci Liffey u glavnom irskom gradu Dublinu koji je projektirao slavni Santiago Calatrava. *Hollandia* je izradila konstrukciju osovine, središte kotača i A-okvir. Radi brzine i povećanja kapaciteta surađivali su i s drugim tvrtkama, poput *IV-Infra* iz Amsterdama koja je bila uključena u statičke analize i proračune te još dvije manje nizozemske tvrtke kao što je *Croese* koji je bio zadužen za strojarstvo te *Mercon* koji je izgradio okvir, ukrcajne platforme i upete tornjeve. Tolerancija za izgradnju kotača bila je samo 150 mm. Srećom, našlo se dobro rješenje i odlučeno je da se izradi velika šablona. Na njoj su dovršeni dijelovi trokutaste rešetke okvira kotača tako da je svaki dio mogao savršeno prionuti na svoje mjesto odnosno nastaviti se na susjedni dio pa je dopuštena tolerancija smanjena na 25 mm. Dijelovi su prevezeni Sjevernim morem iz gradića Gorinchema u Nizozemskoj i potom Temzom do mjesta ugradnje u Londonu. Moralo se računati i s plimama na Temzi kako bi se osigurao prolaz ispod brojnih gradskih mostova. Dijelove je prevezio brod *Taklift 1*, najveći koji je dotad tako daleko plovio tom rijekom. Dovezeni su elementi međusobno zavareni, dijelom na kopnu, a najvećim dijelom na rijeci. Potom je počelo podizanje čelične konstrukcije teške 1700 tona. Prvog je dana podizana konstrukcija uz pomoć čelične užadi povezane s kranom i to brzinom od 2 stupnja po satu do nagiba od 65° kada je trebala uslijediti sljedeća faza. Ipak, užad je popucala i podizanje je zaustavljeno. Drugi je pokušaj uspio pa je konstrukcija u poluuspravnom položaju stajala nekoliko tjedana kada je konačno u cijelosti podignuta. Konstrukcija je inače djelomično na pontonima, a većim je dijelom



Čelični okvir trokutaste rešetkaste konstrukcije



Središte kotača

pridržana dvama masivnim čeličnim stupovima ukopanima duboko u obalu.

[Dijelovi su kotača prevezeni Sjevernim morem i Temzom do mjesta ugradnje, a moralo se paziti i na plime kako bi se prošlo ispod brojnih gradskih mostova](#)

Dijelovi čelične konstrukcije

Dijelovi čeličnog okvira trokutaste rešetkaste konstrukcije slagani su na mjestu montaže. Prije negoli se krug zatvorio, u središte su postavljeni osovinica i glavina kotača pa se središte vrti oko osovine na dva velika ležaja, što je omogućilo glatku rotaciju kotača. Na okvir su pričvršćene 32 kabine koje omogućuju pogled u svim smjerovima tijekom vrtnje. Na osovinu je s kopnene strane pričvršćen A-okvir koji je spojen zglobno jer je tako uvjetovala odabrana metoda podizanja kotača, a oslonjen je na stope stupa.

Čelični okvir kotača tvori trokutasta prostorna rešetkasta konstrukcija sastavljena od okruglih cijevnih profila. To je lanac sa 64 piramide s ukriženim bazama s donje strane, a polovica piramida nosi gondole na vitkom cijevnom osloncu. Okvir je visok 135 m i ima opseg 424 m. Sastoji se od po jedne unutarnje i dvije vanjske tetive, a unutarnja i vanjska tetiva međusobno su

spojene elementima K-tipa. Vanjske su tetive spojene ravninskim razuporama X-tipa, a između su horizontalni elementi koji služe kao dodatna sigurnost u slučaju otkazivanja osnovnoga statičkog sustava.

Središnji su dijelovi kotača izrađeni od lijevanog čelika. U odnosu na djelujuće sile, određena je kvaliteta čelika s graničnim naprežanjem od 355 N/mm². Dijelovi su dimenzionirani i provjereni metodom konačnih elemenata. Radi sigurnosti da u odljevu i zavarima osovine nema zaostalih grešaka, proveden je test na potpuno savijanje do najvećega faktori-

ziranog momenta od 110.000 kNm. Na središtu kotača sa svake je strane projektirana po jedna prirubnica na koju su uklopljene 32 zatege i 8 rotirajućih kabela. Na središte se nastavlja osovinica i to tako da se jednostavno može mijenjati bez rastavljanja kotača pa i pod krajnjim okolnostima kada bi jedan od dva valjka ležaja pao. Inače umornost nije od većeg značenja kod tih elemenata. Osovinica je izrađena iz 8 komada, duga je 23 m i debljine su joj stijenke 400 mm, a smještena je u središte okvira kotača. Središte se kotača, kao što je rečeno, vrti oko osovine preko dva velika ležaja.



A-okvir položen je između osovine i stopa stupa



Stope su stupa visoke 11 metara

A-okvir podupire kotač s obale i čini ga konzolnim s riječne strane. Položen je između osovine i stopa stupa, a pridržan pozadinskim kabelima. Osovinu, s kojom je spojen zgloбно, podupire na visini od 68 m. Noge A-okvira tvore dva stupa promjera 3 m i debljine stijenke 40 mm. Noge su na stopama stupova visokim 11 m, a da bi stope bile vitkije, izrađene su kao oplata od konstrukcij-

skog čelika i ispunjene armiranim betonom. Postavljene su na tešku podzemnu poprečnu gredu preko koje se opterećenje spušta na betonske temeljne pilote.

Kabli su prednapeti da bi mogli nositi čelični okvir i spriječiti izvijanje, a prenose opterećenje s okvira na središte kotača. Ima ih 80, od čega su s prednje i stražnje strane po 32 zatege i po 8 rotirajućih kabela okvira kotača. Rotirajući kabli spajaju vanjski dio okvira (obje vanjske tetive) sa središtem kotača. Glavna je zadaća 16 (2 x 8) kabela okretanje središta oko osovine, a 64 (2

x 32) zatege spajaju unutarnju tetivu sa središtem. Prednapeti kabli između središta i okvira kotača nose težinu tog okvira i prenose sile vjetra s okvira na osovinu i središte kotača. Kabli su pocinčane spiralne zavojnice promjera 60 i 70 mm. Stupanj prednapinjanja u kabelima odabran je na temelju pretpostavke da se ne bi trebao pojaviti nezategnuti dio kabela tijekom kombinacije

vlastite težine, dodatnog opterećenja i opterećenja vjetrom, čak ni nakon oče-kivanog puzanja spiralnih kabela.

Glavna je uloga rotacijskih kabela okretanje središta oko osovine, ali služe i za dodatnu stabilnost okvira i sprečavanje torzija pri izvijanju. Svi su kabli osigurani prigušivačima kako bi se spriječile vibracije uzrokovane nestacionarnim strujanjem pri posebnim brzinama strujanja (*vortexshedding*) i u graničnicima lukova.

Postoje i pomoćni pozadinski kabli (ukupno 6), a njihova je uloga pričvršćivanje A-okvira. Debljina im je stijenke 110 mm, a svaki teži 19 tona.

Kabine su kružnim prstenima pričvršćene na vanjski okvir kotača, a svaka kabina ima motorizirani stabilizirajući sustav koji je održava u vodoravnom položaju

Kabine su pričvršćene s po dva kružna prstena na vanjski dio okvira kotača. S vanjskih su strana prstenova elementi oblika poluelipse, a između prstenova su ravni profili. Svaka kabina ima motorizirani stabilizirajući sustav koji je cijelo vrijeme održava u vodoravnom položaju. Teška je 10 tona i može primiti 25 putnika.

Ukrcajna platforma smještena je ispod kotača, a na nju su okomito sa svake strane smještena dva mosta rešetka-



Detalj spoja zatege s unutarnjom tetivom čeličnog okvira



Pomoćni pozadinski kabli pričvršćuju A-okvir



Čelična konstrukcija kabine

ste konstrukcije koji vode do pristaništa. Kotač se kontinuirano okreće četvrtinom prosječne brzine hoda (0,26 m/s) i time dopušta neometan ulazak i izlazak putnika.

Upeti su tornjevi smješteni u rijeci s obje strane ukrčajne platforme, a na njima je glavni pogonski sustav koji upravlja kotačem. Za ekstremnih opterećenja vjetrom (udari veći od 20 m/s na visini od 10 m), okvir se zaključava za upete tornjeve. Da bi se smanjila umornost okvira kotača, upravljačke se sile prenose brojnim gumama na tračnicama zavaranim s vanjske strane vanjskih tetiva. Pristanište je sastavni dio projekta *Thames 2000*. i dugo je 100 m, a s obalom je povezano pomoću dva mosta. Uloga je pristaništa prihvat putnika s brodova za *London Eye* kojega ujedno štiti od udara. Projektirano je da može prihvatiti udar od 12 MJ (megadžula) energije u slučaju sudara. Dodatna su zaštita od sudara dva plutajuća kraka na krajevima pristaništa koja sprječavaju udar

riječnih brodova. Brod ih u udaru ne može proći nego ostaje plutati.

Temelji ima tlačno i vlačno uporište. Ispod krakova A-okvira smješteno je tlačno uporište koje se sastoji od 44 podzemna pilota dužine 33 m u koje je ugrađeno 2200 tona betona. Tlačnom je uporištu zbog raspodjele opterećenja pridruženo vlačno s posebnim vlačnim pilotima u koje je ugrađeno 1200 tona betona. Pomoćni su pozadinski kabeli A-okvira usidreni u vlačno uporište. Dvije betonske grede na kojima su pozadinski kabeli zajedno s gredom na kojoj su noge A-okvira čine čvrsti trokutasti temelj.

Analiza konstrukcije i sustav motrenja

Kako je *London Eye* posebna građevina, nije bilo odgovarajućih normi i bile su potrebne napredne metode proračuna. Nakon temeljite studije, koja je uvjetovala izmjene u početnom pro-

jektu, izvedeni su konačni proračuni. Svi su elementi ispitani na čvrstoću, deformacije, umor i stabilnost, posebna je pozornost usmjerena na dinamičko ponašanje građevine pod utjecajem vjetra, a primijenjena je metoda konačnih elemenata.

Zbog vremenskog tjesnaca projektiranja, proračuni, proizvodnja, montaža i provjera izvedeni su vrlo brzo. Naručeni su se elementi prilagođavali dimenzijama ali i mogućnostima proizvodnje te zahtjevima montaže.

Zbog vremenskog tjesnaca sve je izvedeno vrlo brzo, a elementi su se prilagođavali dimenzijama i mogućnostima proizvodnje

Studijom izvodljivosti analizirano je opterećenje vjetrom, stupanj prednapinjanja kabela, stabilnost ili osjetljivost na izvijanje okvira kotača, promjene napona u čvorovima i vrijeme trajanja okvira te prirodna frekvencija cijele građevine i statički proračun za sve dijelove građevine. Rađene su posebne analize za simulaciju podizanja kotača.

U statičkom je proračunu dobiveno 120 slučajeva opterećenja i kombinacija opterećenja s dominantnom vlastitom težinom, dodatnim opterećenjem, prednapinjanjem i vjetrom. Uporabljjen je program *Ansys*, a provedena je i elastična nelinearna analiza. Određene su reakcije temelja, sile u kabelima, unutarnja preraspodjela sila te deformacije okvira kotača, važne za međudjelovanje s ukrčajnom platformom i najvećim očekivanim vanjskim progibima na vrhu kotača.

U proračun stabilnosti uključena je ukupna stabilnost kao produžetak statičkog proračuna, ali i stabilnost okvira pod utjecajem prednapinjanja od kabela. Određene su promjene napona u svim komponentama uslijed rotacije kotača, ali i utjecaji vožnje i kočenja na građevinu.

Tijekom projektiranja najviše je neizvjesnosti bilo s ponašanjem kotača na udare vjetra. Kako su ubrzanja bila

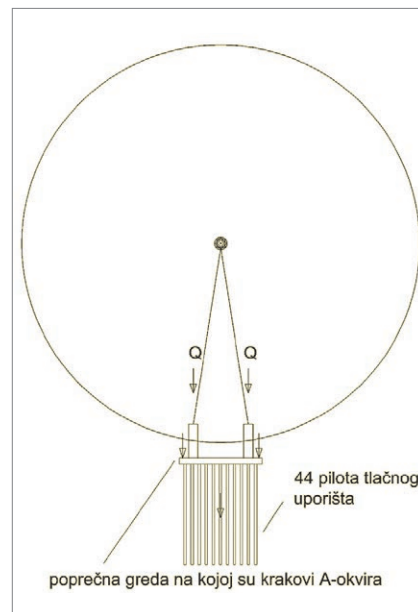


Kabina može primiti do 25 putnika

znatno veća od prihvatljivih vrijednosti, radi smanjivanja su ugrađeni dodatni cijevni prigušivači (dugi 8,5 m) koji su spojeni na vanjskoj strani okvira kotača, između čvorova tetiva. Provedene su i studije osjetljivosti te proračun podizanja kotača. Zbog puzanja u kabelima trebalo je dva mjeseca nakon podizanja ispraviti sile u kabelima. Obavljena su i sva moguća ispitivanja dijelova konstrukcije i spregova.

Zbog posebnosti građevine nisu se mogle primijeniti uobičajene metode kontrole. Stoga se posebno provjera-

vaju ravnomjerne raspodjele napona da bi se izbjeglo preveliko naprezanje kabela i dijelova prstena. Također se provjeravaju vrijednosti opterećenja prednapinjanja koje moraju ostati iznad minimalnih vrijednosti radi osiguravanja krutosti cijele građevine u odnosu na najveće dopuštene deformacije i smanjenje sile umora elemenata kotača. Sustav motrenja uključuje i pregled mehaničkih karakteristika, formuliranje svih mogućih rješenja, procjena stvarnih dimenzija aktivnih elemenata analizama i proračunima te optimizacija



Skica temelja u koji je ukupno ugrađeno 1300 m³ betona

konstrukcijskih detalja za poboljšanje pouzdanosti konstrukcije.

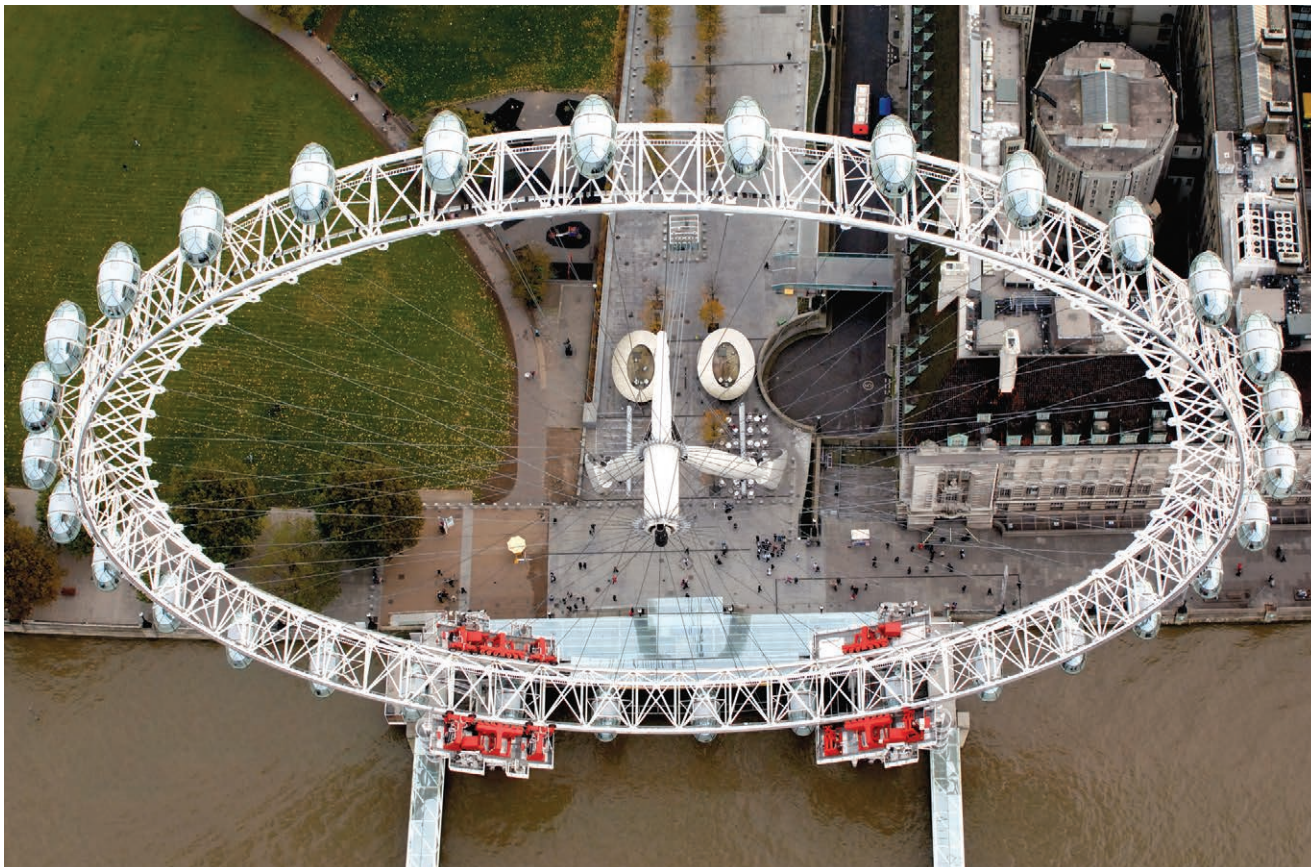
Definiranje i projektiranje nadzornog sustava bilo je gotovo za mjesec dana, a potom je počelo testiranje. Ponajprije zatega koje olabavljene i nenapete, podliježu uzdužnim silama. Očitavani su rezultati opterećenja te rezultati vibracija i oscilacija. Prednapinjanje je ostvareno uporabom hidrauličkih dizalica priključivši ih na kuke prstena zatega i premještajući opremu oko kotača od jedne zatege prema drugoj. Mjerenja su obavljena tijekom deset dana podi-



Na upetim je tornjevima glavni pogonski sustav koji upravlja kotačem



Detalj pozadinskih kabela



Pogled iz zraka na London Eye

zanja kotača, a rezultati su upotrijebljeni za podešavanje vlačne raspodjele. Danas se očitavanja i mjerenja obavljaju povremeno.

Umjesto zaključka

Najveći kotač u Europi za turističko razgledavanje okoline danas je zaista pravi simbol svoga grada, a uočljiv je i tijekom noći jer je osvijetljen s više od 640 štedljivih LED žaruljica.

London Eye je rezultat domišljatosti brojnih inženjera koji su sudjelovali u njegovoj izvedbi. Simbol je ulaska u novo tisućljeće, ali i suradnje među ljudima jer je ostvarenje stotina stručnjaka iz nekoliko europskih država.

Ipak, teško je dokučiti toliku njegovu popularnost, posebno ako se zna da u svijetu ima i većih rotacijskih kotača. Vjerojatno je na toliki uspjeh najviše utjecala njegova lokacija u središtu Londona, baš kao što je smještaj u središtu Pariza omogućio Eiffelovom tornju global-

nu popularnost, koja svakako ne bi bila tolika da je izveden negdje u prirodi i na potpunoj osami. Osim toga, *London Eye* imao je i izvrsnu marketinšku pripremu jer je izgrađen uoči početka novog tisućljeća, što mu je osiguralo svjetsku prepoznatljivost i znamenitost.

Bilo kako bilo, zanimanje za tu atrakciju se ne smanjuje. Čak se vode ozbiljne rasprave o tome koje je vrijeme najpogodnije za razgledavanje i većina se slaže da je najbolje još za dana i prvog sumraka kada London, ali i kotač, počinje osvjetljivati raskošna rasvjeta. Iako u kabinama po sredini postoji posebna klupa, zapravo je gotovo nitko ne koristi nego su svi uz staklenu stijenu i pokušavaju fotoaparatom uhvatiti najbolje motive. Kao posebnu zanimljivost treba dodati da je moguće za posebne prigode iznajmiti i cijelu kabinu, a moguće su cijele večere za brojne uzvanike, ali i novogodišnji dočeci. Navodno su iznajmljivanja cijelih kabina posebno popularna za iznimne romantične trenutke, posebno za prosidbe.

Izvori:

Berenbak, J., Lanser A.: *A tubular design for the British Airways London Eye*, Tubular Structures IX., International Symposium and Euroconference on Tubular Structures, Düsseldorf, 2001.

Berenbak, J.: The "British Airways London Eye" observation wheel. A circular Triangle Tube Truss, Tubular Structures IX., International Symposium and Euroconference on Tubular Structures, Düsseldorf, 2001.

The four elements and the work of Hollandia, <http://www.yumpu.com/en/document/view/3225524/hollandia-the-four-elements-and-the-work> (pristupljeno: 18. svibnja 2012.)

Mercon, www.mercon.com/special-projects (pristupljeno: 20. svibnja 2012.)

Excel Calcs, A More Vision Venture, www.excelcalcs.com (pristupljeno: 17. svibnja 2012.)

London Eye Pier Design, www.beckettrankine.com/PS/10039/9730_London_Eye_Pier_Design.pdf (pristupljeno: 17. svibnja 2012.)