

PRIMJENA I GRAĐENJE PLUTAJUĆIH KONSTRUKCIJA

Mogućnost stanovanja i rada na splavi na moru, rijeci ili jezeru

PRIPREMILA:
Tanja Vrančić

Vrlo velike plutajuće konstrukcije primjenjuju se u razne svrhe, od primitivnih konstrukcija iz davnina do današnjih megakonstrukcija za tvornice, zračne luke ali i za kuće za stanovanje i odmor

godna je kad je voda plitka (dubine manje od 20 m). Kada je dubina vode velika, a dno izuzetno mekano, melioracija više nije isplativa, pa čak niti izvediva. Štoviše, melioracija uništava morska staništa

S obzirom na urbani razvoj u otočnim zemljama (ili zemljama s dugim obalama) te na to da se stanovništvo u tim zemljama širi, urbanisti i inženjeri pronalaze načine kako olakšati pritisak na postojeće, vrlo iskorišteno zemljište i podzemne prostore. Rabeći materijale ispune iz podmorja, brda, dubokih podzemnih iskopa pa čak i građevnog otpada, inženjeri mogu stvoriti relativno veliku i vrijednu zemlju od mora. Zemlje kao što su Nizozemska, Singapur i Japan znatno su proširile svoje zemljišne površine opsežnim programima melioracije.

Postoje dvije vrste vrlo velikih plutajućih konstrukcija, odnosno poluuronjiv tip i pontonski tip



Futuristički prikaz plovećih gradova

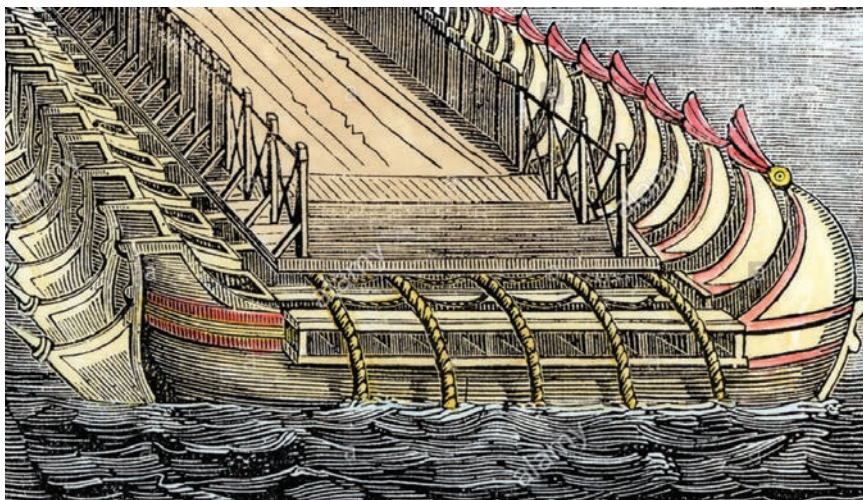
Vjerojatno prvu veliku i sustavnu melioraciju proveo je Kiyomori Taira u obalnim

vodama Koebea u 12. stoljeću. Međutim, melioracija ima svoje ograničenje. Po-

i može dovesti do poremećaja toksičnih naslaga. Suočeni s tim prirodnim uvjetima i posljedicama za okoliš, stručnjaci su se okrenuli alternativnim rješenjima – vrlo velikim plutajućim konstrukcijama. U osnovi postoje dvije vrste vrlo velikih plutajućih konstrukcija, odnosno poluuronjiv tip i pontonski tip. Plutajuća konstrukcija poluuronjiva tipa podiže se iznad razine mora pomoću pilota ili balastnih elementa kako bi se smanjili učinci valova i održavala konstantna sila uzgona. Na taj se način smanjuju kretanja izazvana valovima i zato se raspoređuju u otvoreno more s velikim valovima. Plutajuće naftne platforme koje se koriste za bušenje i proizvodnju nafte i plina tipični su primjeri plutajućih konstrukcija poluuronjivog tipa. Kada se te konstrukcije pričvršćuju za morsko dno, pomoću vertikalnih spona



Niz plovećih kuća u Rotterdam



Kserks Perzije vodio je svoju vojsku preko Helesponta mostom sastavljenim od brodova

osigurava se dodatni uzgon konstrukcije. Nasuprot tome, plutajuće konstrukcije pontonskog tipa leže na razini mora poput divovske ploče koja pluta na vodi. One su pogodne za uporabu samo u mirnim vodama, često unutar uvala ili lagune i blizu obale. Velike plutajuće konstrukcije pontonskog tipa japanski su inženjeri nazvali megasplavima.

Općenito vrijedi da su megasplavi plutajuće konstrukcije čija je najmanje jedna dužina veća od 60 m. Sustav megasplavi sastoji se od:

- vrlo velike pontonske plutajuće konstrukcije
- elementa sidrenja koji zadržava plutajuću konstrukciju na mjestu
- pristupnog mosta ili plutajućeg doka za pristupanje plutajućoj konstrukciji s obale
- lukobrana (ako je visina vala veća od 4 m) za smanjivanje snage valova koji utječu na plivajuće tijelo.

Velike plutajuće konstrukcije pontonskog tipa japanski su inženjeri nazvali megasplavima, a njihova dužina je veća od 60 m

Te megasplavi imaju prednosti u odnosu na tradicionalna melioracijska rješenja za dobivanje prostora jer:

- isplative su kada je dubina vode velika (cijena pijeska za melioracije u nekim je zemljama u znatnom porastu)

- ekološki su prihvatljive jer ne štete ekosustavu mora
- lako se i brzo grade (komponente mogu biti izrađene u različitim brodogradilištima, a potom dovezene na mjesto određeno za sastavljanje)
- mogu se lako ukloniti (po potrebi) ili proširiti jer su modularnog oblika
- građevine na megasplavima zaštićene su od seizmičkih šokova
- njihov je položaj u odnosu na površinu vode stalan i na taj način olakšava pristup malim brodicama kada se koristi kao vez.



Plutajući most u Brookfieldu

Vrlo velike plutajuće konstrukcije primjenjivane su u razne svrhe. U nastavku opisujemo njihovu primjenu, od primitivnih konstrukcija iz davnina do današnjih konstrukcija, kao i njihovu primjenu u skoroj budućnosti.

Plutajući mostovi

Rana primjena vrlo velikih plutajućih objekata u obliku plutajućih mostova preko rijeka datira iz Antike. Oko 480 pr. Kr. kralj Kserks Perzije vodio je svoju vojsku preko Helesponta, danas Dardanela, koristeći dva reda plutajućih mostova, od kojih se svaki sastojao od više od 300 brodova spojenih bok uz bok.

Lagani drveni željeznički most dug 124 m izgrađen je 1874. preko rijeke Mississippi u Wisconsinu, više je puta obnavljan i na kraju napušten. Plutajući most u Brookfieldu još je uvijek u uporabi, a do sada je bilo sedam zamjena u konstrukciji tog 98 m dugoga drvenog plutajućeg mosta. Godine 1912. plutajući čelični most *Galata* izgrađen je preko istanbulskog Golden Horna gdje je dubina vode 41 m. Most dug 457 m sadrži 50 čeličnih pontona međusobno povezanih zglobovima. Međutim, godine 1992., ubrzo nakon što je uz originalni most podignut novi most, izbio je požar, a stari plutaju-



Plivajući hotel iznad Velikog koraljnog grebena

či most *Galata* izgorio je. Potonuli most postavljen je uzvodno nakon što je podignut s morskog dna. Taj čelični most pokazao je nevjerojatnu otpornost na korozivni morski okoliš, i to suprotno mišljenju inženjera da će korozija biti ozbiljan problem za takve plutajuće čelične konstrukcije.

Most *Lacey V. Murrow* dug 2018 m otvoren je 1940. i koristi betonske pontonske grede. Most *Evergreen Point* dug je 2310 m i dovršen 1963. kao i 1988 m dug most *Hood Canal*. Kanadski 640 m dug plutajući betonski most *Kelowna* za promet je otvoren 1958. godine, a havajski most *Ford Island* dovršen je 1998. i dug 457 m.

Među novije plutajuće mostove građene od 1990. pripadaju dva najpoznatija norveška plutajuća mosta, *Bergsoysund* i *Nordhordland*

Među novije plutajuće mostove građene od 1990. pripadaju dva najpoznatija norveška plutajuća mosta. Plutajući most *Bergsoysund* izgrađen je 1992. u

neposrednoj blizini Kristiansunda, preko fjorda dubokog 320 m i dugog 845 m, a plutajući most *Nordhordland* izgrađen je 1994. kod Salhusa, preko fjorda dubokog 500 m i dugog 1246 m. Oba su mosta horizontalno zakrivljena (u obliku verižne krivulje) kako bi se bolje oduprijeti utjecajima valova, vodenih struja i snage vjetera. Zanimljiv pješački plutajući most *West India Quay* izgrađen je 1997., dug je 94 m i slični golemoj oštrici klizaljki.

Najpoznatiji hrvatski pontonski most zasigurno je bio onaj na Novskom ždrilu. Most je bio dug 279 m i sastojao se od pet teglenica i šest prijelaznih mostića, a širina mu je bila 7,6 m. Uz pomoć velike dizalice Veli Jože, spušteno je šest sidara s obje strane pontona. Po petnaest tona teška sidra učvrstila su most na Novskom ždrilu, koji je zatim presvučen asfaltom.

Izvanredan plutajući most, most *Yume-mi*, sagrađen je na prijelazu tisućljeća i dug je 410 m. Izgrađen je preko vodnoga kanala, a pluta na dva šuplja čelična pontona (svaki dimenzija 58 x 58 x 8 m). Most je okretni, zakreće se oko osi blizu kraja jednog od nosača kada ispod njega trebaju proći veliki brodovi.

Plutajuće građevine za zabavu i skladištenje

Prvi plutajući hotel u Australiji nalazi se na Velikome koraljnom grebenu. Izgrađen je u Singapuru i dopremljen na sadašnju lokaciju, a visok je sedam katova, dug 90 m i širok 27 m. U slučaju ciklona i nakon evakuacije ljudi jedan od priveza mogao bi se odvezati, a vjetar bi mogao puhati oko hotela u krug.

Plutajući helidrom, teniski tereni i bazen također se mogu odvojiti i odvući dalje od hotela kako bi se prebrodila oluja. Nakon godine rada hotel je dotegljen u Ho Chi Minh, u Vijetnamu. Trenutačno se nalazi u Sjevernoj Koreji.

Prvi plutajući hotel u Australiji nalazi se na Velikome koraljnom grebenu i visok je sedam katova

Hong Kong ponosi se time što ima slavni plutajući restoran - restoran *Jumbo*. Također, Japan je 1991. izgradio plutajući restoran (na pontonu 24 x 24 x 3,2 m) u Yokohomi. Pristanište pored restorana također je plutajuća građevina. Vrlo ve-

like plutajuće građevine koriste se i kao ribarska pristaništa, primjerice plutajuće ribolovno pristanište na Awaji Islandu dimenzija 101,5 x 60 x 3 m.

Vrlo velike plutajuće građevine koriste se za spremanje goriva. Izgrađene su kao ravni tankeri (u obliku kutije) i parkirani jedan do drugoga, a idealni su za pohranu goriva, čuvanje eksplozivnih, zapaljivih tekućina iz naseljenih područja na kopnu. Japan ima dva velika plutajuća skladišna naftna sustava. Jedno se skladište nalazi u Shirashimi i njegov je kapacitet 5,6 milijuna kilolitara, a drugo na Kamigotu s kapacitetom od 4,4 milijuna kilolitara.

Plutajuće baze za izvanredna stanja i plutajuće tvornice

Plutajuće su građevine izolirane od potresa pa su idealne kao plutajuće baze za hitne intervencije u zemaljama izloženijima potresima. Japan ima više takvih plutajućih baza za spašavanje smještenih u Tokijskom zaljevu te zaljevima Isi i Osaki. Plutajuća tvornica od dva dijela izgrađena je 1978. u Brazilu. Jedan dio konstrukcije izgrađen je za tvornicu prerade pulpe (230 x 45 x 14,5 m), a drugi je dio namijenjen potrebama elektrane (220 x 45 x 14,5 m). Tvornica je dotegljena do Mungube kao plutajuća struktura, ali je



Plutajući restoran *Jumbo* u Hong Kongu

učvršćena temeljenjem na pilotima.

Bangladeš je 1979. od Japana kupio plutajuću elektranu dimenzija 60,4 x 46,6 x 4 m. Elektrana se nalazi kod Khulna, pokraj Bangladeša. Saudijska Arabija izgradila je 1981. plutajuću tvornicu za desalinizaciju (70 x 40 x 20,5 m), koja je dotegljena na svoje mjesto te potopljena na položaj i počiva na morskome dnu. Argentina je također 1981. sagradila plutajuću tvornicu polietilena (89 x 22,5 x 6 m) u Bahia Blanci. Jamajka je 1985. kupila plutajuću elektra-

nu dimenzija 45 x 30,4 x 10 m. Elektrana je izgrađena u japanskome brodogradilištu i dotegljena u Jamajku te privezana fender-sustavom bitva – guma. U Japanu trenutačno provode istraživanja primjene plutajućih konstrukcija za potrebe vjetroelektrana, pročišćivača kanalizacijskih postrojenja i elektrana.

Plutajući zračne luke

Već je 1920. Edward Armstrong predložio koncept hidrodroma (aerodroma u moru) kao kamene stubbe za zrakoplove koji lete preko oceana. U to vrijeme zrakoplovi nisu mogli letjeti na velikim udaljenostima i morali su nadopunjavati gorivo. Inženjeri američke mornarice izgradili su 1943. plutajuće uzletišta koje se sastojalo od 10.920 pontona. Imalo je palubu i prostor za parkiralište. Međutim, entuzijazam za izgradnju takvih plutajućih polja za zračne luke propao je neprekinutim letom Charlesa Lindbergha od New Yorka do Pariza 1927. godine.

Prva veća plutajuća pista jest kilometar duga testna pista izgrađena 1998. u uvali Tokio

U novije vrijeme pojavio je sasvim drugačiji problem. Troškovi zemljišta u ve-



Pogled na plivajući aerodrom u Japanu



Plutajuća elektrana

ćim gradovima znatno su porasli i urbanisti, s obzirom na mogućnost korištenja obalnih voda za gradski razvoj, razvijaju projekte plutajućih zračnih luka. S obzirom na to da je razina mora i kopna blizu ruba vode obično ravna, slijetanja i polijetanja zrakoplova su sigurnija. U tome smislu Kanada ima plutajući helidrom u maloj uvali u Vancouveru. Osim toga, taj prometni helidrom izgrađen je zbog praktičnosti, ali i zbog prigušenja buke. Japan je napravio veliki napredak izgradnjom aerodroma u moru. *Kansai International Airport* u Osaki primjer je zračne luke izgrađene u moru, iako na reciklažnome otoku. Prva veća plutajuća pista jest kilometar duga testna pista izgrađena 1998. u uvali Tokio. Istraživanja građevina i opreme za plutajuće zračne luke uključuju razvoj simulacij-



Obiteljska kuća u Kanadi

skih tehnologija, funkcija aerodroma i instrumenta za slijetanje, ispitivanja sli-



Samoodrživa plutajuća kuća

jetanja na plutajuće piste i polijetanja s nje, istraživanje njihova utjecaja na okoliš i provjeru građevinskih tehnologija za plutajuće zračne luke.

Možda u 21. stoljeću, s unaprijeđenom tehnologijom izgradnje i nedostatkom građevinskog zemljišta, plutajući gradovi mogu postati stvarnost. Projektanti i izvođači već su napravili projektne skice kako bi takvi plutajući gradovi mogli izgledati.

Plutajuće kuće

Suočeni s velikim poplavama posvuda u svijetu, kao i s nedostatkom građevin-

skog zemljišta u mnogoljudnim zemljama, graditelji sve češće istražuju projekte kuća koje plutaju na vodi. Zvale se one amfibijske kuće (*Građevinar* 6/2012), plutajuće, mobilne kuće ili slično svima im je zajedničko to da nemaju temelje koji su u tlu. Njihova je konstrukcija takva da je njihovo opterećenje jednako ili manje od uzgona vode i stoga mogu plutati. No, iako mobilne, takve kuće ne plove. Njihova je pokretljivost vezana isključivo uz podizanje i spuštanje razine vode.

Iako se nazivaju plutajućim kućama, one ne plove, njihova je pokretljivost vezana isključivo uz podizanje i spuštanje razine vode



Prikaz principa plutanja

Razlikuju se od kuća na splavovima jer nisu samohodne, iako je bilo pokušaja da se na njih ugradi motor koji bi im dao pokretljivost. Trenutačno je najviše takvih kuća izgrađeno u Nizozemskoj, no sve se više grade na poplavnim područjima jezera ili rijeka kao primjerice na rijeci Mari u Australiji gdje se "udomaćila" gradnja i plutajućih višekatnica. Stručnoj su javnosti poznati i primjeri plutajućih kuća u Novom Zelandu, Kanadi, Sjedinjenim Američkim Državama, Indiji, Tajlandu, a u Europi ih ima u Velikoj Britaniji.

Razlikuju se plutajuće kuće koje plutaju samo za poplava, tzv. amfibijske kuće. Iako amfibijska kuća stoji na fiksnim temeljima, za poplave cjelokupna se zgrada podiže iznad temelja i pluta zadržavajući plovnost. To je moguće zbog vlažnih dokova koji su sastavljeni od potpornih zidova i ploče smještene ispod kuće. U slučaju poplave dokovi se pune vodom i kuća se izdiže u skladu s razinom vode. Kako bi se spriječilo to da kuća jednostavno ne otplovi, predviđene su četiri bitve (stalni vertikalni potpornji) raspoređene blizu bočnih zidova. Stručnjaci još uvijek raspravljaju o tome jesu li takve kuće uistinu plutajuće. Neki smatraju da su slične onima na stupovima koje se grade posvuda zbog sigurnosti od poplava i da takve kuće uistinu ne plutaju. Prava definicija plutajućih kuća jest ona da ne zahtijevaju temeljenje, već im je osnovna konstrukcija takva da pomaže plutanju. Statičko i dinamičko opterećenje prenosi se na neku vrstu pontona koja omogućuje plovnost i preuzima



Stringio, plutajuće stambene zgrade

opterećenja. Danas postoje sustavi od debla, šupljih cijevi, stiropora obloženog gumom, polistirenskih blokova s raznim oblogama. Konstrukcije s čeličnim okvirima često su pričvršćene za sustav plutanja te se kuća podiže ili spušta ovisno o razini vode.

Principi izgradnje

U Nizozemskoj trećina stanovništva živi u područjima gdje je površina tla ispod razine mora pa se prostorni planovi najviše bave otimanjem tla od mora izgradnjom brana i nasipa. No još je uvijek velika potreba za izgradnjom sigurnih i ekonomičnih kuća pa su se inženjeri počeli baviti mogućnostima izgradnje kuća na vodenim površinama. Problem

se povećao s globalnim zatopljenjem jer se razina voda neprestano mijenja. U 20. stoljeću razina mora porasla je za 20 cm, a očekuje se da će u 21. stoljeću porasti i do tri puta (oko 60 cm).

Pokretne kuće mogu se izgraditi u tvornici i zatim prevesti do mjesta postavljanja, gdje se pričvršćuju za neku vrstu temelja

Nizozemska tvrtka *Ooms Bouw & Ontwikkeling*, prepoznajući problem nestašice građevinskog zemljišta, počela je graditi kuće na vodi. Izgradila je prvih deset, od planiranih 500, na obalama Amsterdama, grada koji je treći na svijetu po gustoći naseljenosti.



Pogled na plivajuće kuće u Nizozemskoj

Pokretne kuće mogu se prefabricirati, tj. izgraditi u tvornici, i zatim prevesti do mjesta postavljanja, gdje se pričvršćuju za neku vrstu temelja. Stoga se ona može, po želji vlasnika, i rastaviti te sastaviti na drugome mjestu ili, što je još jednostavnije, odvući po površini rijeke ili jezera. Za opremanje unutrašnjosti, u slučaju prefabrikacije, primjenjuju se modularne jedinice poput kuhinje, kupaoznice i sličnog. Kuća se može naručiti kataloški i sastaviti u samo nekoliko dana te je odlična za manja naselja ili gradove. Mogu se jednostavno spojiti te stvoriti čitavo naselje.

Plutajuće kuće mogu se graditi na pontonima i najčešće se grade u plitkim vodama. Drugi je način izgradnja šuplje betonske kutije. Prostor unutar kutije može biti stambeni, a princip gradnje sličan je gradnji broda. To su dva osnovna tipa izgradnje plutajućih kuća. U oba se slučaja kuće fleksibilno povezuju s molom. Kuće se grade unutar takozvanih mokrih dokova. U slučaju poplava dok se područje puni vodom, kuća se podiže. Obratno se događa kada se voda povlači jer se kuća vraća u prvotni položaj. Treba istaknuti to da u plutajućim

kućama sve instalacije moraju biti fleksibilne. Dakle, cijevi za vodovod i odvodnju, elektroinstalacije i plinske instalacije moraju funkcionirati i kada je kuća podignuta nekoliko metara u odnosu na uobičajeni položaj. Izazov je opskrba kuće svom potrebnom energijom pa se pri izgradnji takvih kuća najčešće primjenjuje koncept zelene gradnje. Često se u kućama primjenjuju obnovljivi izvori energije, najčešće se radi o građevinama gotovo nulte energije. Na krovove ili pročelja ugrađuju se solarni paneli, a često se na vrhovima kuća nalaze krovni vrtovi. Otpadna se voda obvezno reciklira, a za sanitarnu vodu često se upotrebljava kišnica.

Prednosti života u plutajućim kućama

Život u plutajućim kućama često se idealizira i smatra romantičnim, no, život u takvim kućama sigurno je ekonomski isplativiji od života u tradicionalnim kućama s grijanjem na goriva iz obnovljivih izvora. Kuće su sigurne za život i za vrijeme poplava, a udobnost stanovanja ni u jednom se trenutku ne dovodi

u pitanje. Vrlo se lako uklapaju u okoliš. Najistaknutije mane života u plutajućim kućama jesu promjene u načinu života. Često se kao mana ističe i visoka cijena stambenog kvadrata, održavanja i mogućih popravaka. No, potreba za stambenim prostorom u priobalnim područjima i područjima na kojima su moguće poplave izazov je graditeljima da sve nedostatke što prije neutraliziraju inovativnim i jeftinijim rješenjima, bilo da se radi o konstrukciji bilo o elementima unutrašnjosti ili instalacijama. Potrebno je razvijati koncept prenosivih kuća, posebno onih u nizu, u poplavnim područjima, a za to je potrebna i potpora lokalne zajednice, ali i države. Naime, subvencije i legislativa mogu biti dobre smjernice za sigurno stanovanje u poplavnim područjima.

Izvori:

Watanabe, E., Utsunomiya, T., Moan, T.: Very large floating structures: applications, analysis and design

Savić, B.: Potreba sutrašnjice - Plutajuće i pokretne kuće