

NISKOENERGETSKE DRVENE KONSTRUKCIJE

# Drvo u modernome graditeljstvu

PRIPREMILA:  
Anđela Bogdan

**Drvo je kao građevni materijal zauzelo novo mjesto u inovativnome projektiranju i izgradnji, jer je obnovljiv, biorazgradiv i ekološki prihvatljiv materijal koji upija ugljikov dioksid iz atmosfere, zahtijeva malo energije tijekom prerade, otvara nove horizonte u uporabi u drvenim konstrukcijama u kojima se može zamijeniti do sada uvriježena uporaba armiranoga betona i opeke**

## Prednost gradnje drvom

U posljednjih nekoliko godina suočeni smo s dnevnim (ne)prilikama kao što su poplave, požari, suše, ledene kiše ili, orkanski vjetrovi, a koje su rezultat klimatskih promjena. Da bi se izbjegle katastrofalne posljedice takvih pojava, cijeli svijet traga za novim, možda čak i radikalnim rješenjima kako bi se smanjile emisije štetnih plinova i zaštitio okoliš. To se odnosi i na graditeljstvo kao sektor koji jako pridonosi onečišćenju okoliša, pogotovo na proizvodnju cementa i betona. U postupku dobivanja građevnih proizvoda prerada sirovine u poluproizvode obično zahtijeva najviše energije i ima najštetniji utjecaj na okoliš.

S druge strane troškovi i količina energije potrebne za eksploataciju i obradu drva kao građevnoga materijala vrlo su niski u usporedbi s naftom, čelikom pa čak i drobljenim kamenom. U obradi drva ti su zahtjevi puno manji jer drvo ne zahtijeva složenu obradu kao što je to slučaj kod taljenja čelika ili proizvodnje cementa. Prilikom proizvodnje drvenih građevnih elemenata iskoristi se oko 35 posto trupaca tvrdih vrsta drveta kao što je hrast ili oko 45 posto trupaca mekih vrsta drveta kao što su jela i smreka. Također treba istaknuti to kako se ostatak trupca ne baca, već se iskorištava do najsitnijih ostataka piljevine za proizvodnju raznih drugih proizvoda od zvučne izolacije u obliku drvene vune do peleta za grijanje.

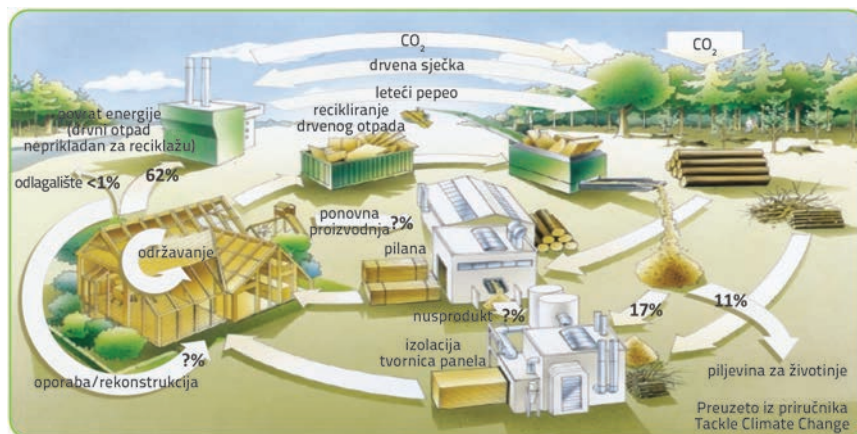
Iskorištavanjem debla u cijelosti se eliminiraju troškovi zbrinjavanja otpada te se stvara dodana vrijednost novih proizvoda.

Prilikom proizvodnje drvenih građevnih elemenata iskoristi se oko 35 posto trupaca tvrdih vrsta drveta kao što je hrast ili oko 45 posto trupaca mekih vrsta drveta kao što su jela i smreka

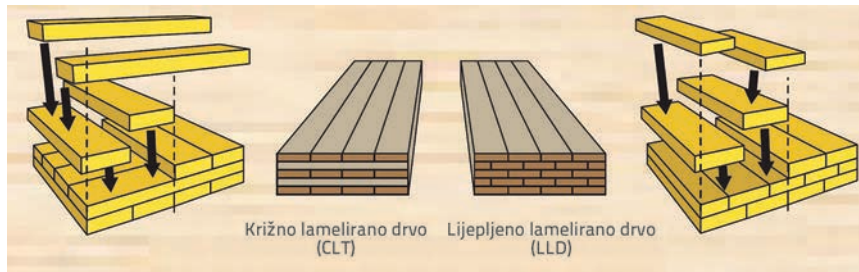
Drvo, općenito, osim povoljnih karakteristika nosivosti i uporabivosti konstrukcije te sigurnosti korisnika, omogućava trenutnu iskoristivost, odnosno useljivost, jer nije potrebna faza sušenja kao kod betona, te izvrsnu protupožarnu i protupotresnu sigurnost.

Pokazalo se kao kvalitetan materijal za mnoga inženjerska rješenja, bez obzira na vrstu građevina, pa se danas grade sve veći drveni stadioni, mostovi i neboderi, no nije uvijek bilo tako popularno, uglavnom zbog cijene. Tijekom povijesti tradicionalne drvene konstrukcije najčešće su se izvodile kao lagani okvirni sustavi s linijskim elementima ograničenih raspona od punoga drva. Početkom 20. stoljeća čelik i beton postali su dostupniji i cjenovno isplativiji pa su drvene konstrukcije zamijenjene armiranobetonskim.

Potražnja za drvenim konstrukcijama ponovno je porasla tek sredinom 60-ih godina prošloga stoljeća s pojavom proizvoda na bazi drva (engl. *Engineered Wood Product* – EWP). Proizvodi poput lijepljenoga lameliranog drva – LLD (engl. *Glued Laminated Timber* – GLT) omogućili su gradnju složenijih i robusnijih linijskih konstrukcija većih raspona. Lijepljeno lamelirano drvo odlikuje i mogućnost raznovrsnoga oblikovanja, pa grede mogu biti ravne, zaobljene i polukružne. To omogućuje veću fleksibilnost i slobodu u projektiranju. Drvo od kojega se proizvodi lijepljeni lamelirani kompozit potrebno je posebnim postupkom sušenja dovesti do razine vlažnosti od približno 12 posto.



Životni vijek drva u kružnoj ekonomiji



Lijepljeno lamelirano drvo – LLD i križno lamelirano drvo - CLT

Taj postotak proporcionalan je količini vlage pri 20 °C i vlažnosti zraka od 65 posto. Kao rezultat dobiva se lijepljeno lamelirano drvo, čija je prirodna pojava rasušivanja i upijanja svedena na najmanju moguću mjeru. Drvo ostaje potpuno slobodno, čime se sprječava nastanak pukotina i savijanje u prostorima gdje je vlažnost zraka mala.

Drvo je prirodni materijal i nema štetna svojstva ni spojeve, što je njegova najveća prednost kao građevnoga materijala, a drvene građevine odlikuje brža gradnja u odnosu na klasičnu, koja je moguća čak i pri niskim temperaturama

Osim činjenice da je drvo prirodni materijal i da nema štetna svojstva ni spojeve, što je najveća prednost drva kao građevnoga materijala, drvene građevine odlikuje brža gradnja u odnosu na klasičnu, koja je moguća čak i pri niskim temperaturama. Drvo je permeabilan odnosno propustan materijal koji propušta zrak u oba smjera (unutarnji i vanjski zrak izmjenjuju se bez otvaranja prozora i vrata). Također ima svojstvo samoregulacije mikroklima. Drvena građa upija višak vlage u prostoru, a vraća je kada se zrak osuši. Zbog toga se u literaturi drvene kuće često nazivaju i "biokućama". Drvo je vrlo kvalitetan toplinski izolator, pruža dobru akustičnu zaštitu te ne emitira štetna zračenja u unutrašnjost građevine. Kao građevni materijal puno je elastičniji od cigle i betona te može preuzeti velika naprezanja. Zato drvene kuće bolje podnose potres.



Drvo je vrlo kvalitetan izolator, pruža dobru akustičnu zaštitu te ne emitira štetna zračenja

### Karakteristike drvene građe u slučaju požara

Unatoč svemu čini se kako su investitori u Hrvatskoj još uvijek skeptični prema drvenome materijalu, a razlog bi mogla biti nedovoljno razvijena svijest i istraženost svih prednosti toga materijala kao i sveprisutna bojazan od izbijanja požara na drvenim konstrukcijama, no je li takav strah zaista opravdan?

Drvo gorenjem ne mijenja bitno svoja mehanička svojstva, a u slučaju požara lijepljeno lamelirano drvo sigurnije je od nezaštićene čelične konstrukcije

Drvo gorenjem ne mijenja bitno svoja mehanička svojstva. Poznavanje brzine sagorijevanja drva omogućuje projektiranje požarne otpornosti drvenih građevina. Brzina gorenja drva iznosi od 0,4 do 0,8 mm/min.

U slučaju požara lijepljeno lamelirano drvo sigurnije je od nezaštićene čelične konstrukcije. Kada vatra zahvati lijepljeno lamelirano drvo, stvara se pougljenjeni dio koji štiti samu sredinu grede. Time se smanjuje dotok zraka te se vatra polako gasi. Najčešće nije potrebna dodatna zaštita protupožarnim premazima. Pri izloženosti punome požaru do izražaja dolazi čitav niz vrlo povoljnih svojstava drva. Površina drva zapaliti

će se tek onda kada toplinski tok postane dovoljno velik. U početku drvo jako gori, no ubrzo se stvara sloj drvenoga ugljena koji priječi razvoj topline u unutrašnjosti. S obzirom na to da je drvo vrlo loš vodič topline, vrlo malo topline prelazi u ostatak materijala koji nije izgorio. Temperatura raste do vrijednosti koje izazivaju toplinsko razaranje drva s učinkom ugljenjenja. Sloj ugljena štiti podpovršinsku masu od toplinskoga napada. Temperatura ispod površine pougljenjenoga sloja slična je temperaturi okoline prije zapaljenja te se u tome sloju može smatrati nepromijenjenom.



Tijekom požara stvara se sloj ugljena koji štiti podpovršinsko drvo od toplinskoga napada



Drvo je kao građevni materijal zauzelo novo mjesto u inovativnome projektiranju (foto: LafargeHolcim)

### Drvo u modernome graditeljstvu

Sredinom 90-ih godina prošloga stoljeća patentiran je novi kompozitni proizvod pod nazivom "križno lamelirano drvo", popularno zvan CLT (engl. *Cross Laminated Timber*). Riječ je o krutom pločastom proizvodu, sastavljenome od nekoliko slojeva, uglavnom neparanoga broja, a najčešće se radi o tri, pet ili sedam slojeva. Svaki je sloj proizveden od dasaka koje su položene jedna do drugu, pri čemu su uglavnom lijepljene okomito jedna na drugu. Odlikuju se visokim stupnjem predgotovljenosti pa je rad na gradilištu ubrzan i uključuje uglavnom montažu i spajanje pojedinih panela. Sirovi materijal koji se koristi u proizvodnji CLT-a dovozi se većinom iz šuma Austrije, Švicarske, Njemačke i Hrvatske. Gotovo 80 posto svjetskih zaliha križno uslojene lijepljene drvene građe proizvodi se u Austriji. Naime, ta država ima 3,6 milijuna hektara šuma u kojima su najzastupljenije četinjače. Osamdeset posto otpada na smreku i ariš, a treća najčešća vrsta jest bukva. Zato ne čudi to da austrijski inženjeri uvijek vole reći da ne po-

stoji trajniji građevni materijal od onoga koji vam raste pred kućom. Drvo se eksploatira planskim sječama, pri čemu se uvijek vodi računa o tome da se sadi više stabala nego što ih se sječe. Zbog toga se drvo smatra obnovljivim materijalom jer se šume neprestano pošumljuju. U nastavku prikazani su primjeri moderne arhitekture odnosno konstrukcija građevnih križnim uslojenim drvom.

#### Metropol Parasol, Španjolska

Jedan od svijetlih primjera modernih CLT građevina jest Metropol Parasol, golema drvena nadstrešnica izgrađena u španjolskoj Sevilli, koju građani od milja nazivaju "gradskim suncobranom". Projektirao ju je njemački tim arhitekata koji je predvodio Jurgen Mayer-Herman, dipl. ing. arh., a glavni izvođač radova bila je tvrtka *Arup*. Od travnja 2011. ponosno je nosila titulu najveće drvene konstrukcije na svijetu, a nedugo nakon otvorenja postala je i prava turistička atrakcija. Dugačka je 150 m, široka 75 m i visoka 28 m. Najvažnije karakteristike toga projekta jesu prostorna konfiguracija i CLT građa koji Metropol Parasol čine prostorom za druženje pa

se ondje nalaze prostor za tržnicu, restoran, prostor za kupnju i arheološki muzej. Oslanja se na samo šest stupova. Njime je pokrenuta revitalizacija javnoga prostora u središtu staroga grada Seville.

U španjolskoj Sevilli izgrađena je moderna građevina Metropol Parasol, od križno lameliranog drva koju građani od milja nazivaju "gradskim suncobranom"



Detalj gradnje drvene nadstrešnice u Sevilli



Novi projekt u Sevilli pokrenuo je revitalizaciju javnog prostora



Metropol Parasol snimljen iz zraka

Cijena, protupožarna sigurnost, utjecaj širenja i skupljanja materijala pod utjecajem jakoga mediteranskog sunca bili su ključni parametri pri definiranju i planiranju projekta. Konstrukcija nadstrešnice projektirana je kao sustav kvadratnih mreža, a drveni elementi izrađeni su uz pomoć CNC stroja (engl. *Computer Numerical Control*), metalnih spojnica i ljepila visoke kvalitete. Nakon provedenih istraživanja inženjeri su za izradu konstrukcije odlučili koristiti tzv. KERTO, odnosno mikrolamelirano drvo, koje se sastoji od dasaka debljine 3 mm, koje su međusobno zalijepljene u drveni kompozit. Tijekom istraživanja taj CLT panel pokazao je puno veću čvrstoću na smicanje nego obično drvo. Termička analiza otkrila je to da će vruća klima južne Španjolske biti poseban izazov za detalje veza pa su inženjeri morali osmisliti nov postupak spajanja konstrukcije i tome prilagoditi projektnu dokumentaciju. Ljepilo je pripremljeno prema novoj formuli koju je razvio njemački Institut Fraunhofer za posebno dizajnirane spojeve gdje čelične spojnice prodiru u drvo. Za cijelu konstrukciju bilo je potrebno otprilike 3000 kompozita te približno 40.000 mjesta spajanja. Svako pojedinačno prilagođavanje spojnica za drvene kompozite izvedeno je u Njemačkoj, nakon čega je 3000 takvih spojnica kamionima poslano na gradilište u južnu Španjolsku. Kompoziti su na terenu, prije montaže, zaštićeni voodopornim poliuretanskim premazom. Gradnja je trajala od lipnja 2005. do



Pogled noću na drvenu konstrukciju

travnja 2011., a u projekt je uloženo 100 milijuna eura.

U proteklih osam godina gradile su se sve veće i više konstrukcije od CLT-a pa ni Metropol Parasol nije dugo zadržao titulu najveće drvene konstrukcije. Novi svjetski rekord postavljen je četiri godine poslije, kada je 2015. u Norveškoj izgrađen 49 m visok drveni toranj. Već u rujnu 2016. izgrađen je drveni neboder u sklopu Sveučilišta Britanske Kolumbije u Vancouveru, a najnoviji i najviši, 84 metra visok HoHo Tower upravo se priprema za svečano otvorenje u Beču.

#### [HoHo Tower, Austrija](#)

Gradnja stambeno-poslovnoga objekta od prirodnoga materijala u obliku dvaju

drvenih nebodera bila je polazišna točka za definiranje projekta nazvanog HoHo Tower u Beču. Investitor je projekta austrijski poduzetnik Günter Kerbler. U suradnji s arhitekticom Caroline Palfy, nakon višemjesečne pripreme i razgovora s gradskim vlastima, odlučio je investirati u projekt koji će nadmašiti visinu svih postojećih drvenih konstrukcija u toj zemlji. Primjena drva kao konstrukcijskoga materijala za zgradu visine 84 m postavila je pred inženjere novi izazov, zbog čega je planiranje projekta trebalo biti vrlo precizno. Najviše se računa vodilo o tome da se zadovolje posebni zahtjevi za građevinu, ponajprije u području mehaničke stabilnosti, zaštite od požara i potresa te primjene održivih građevnih materijala.



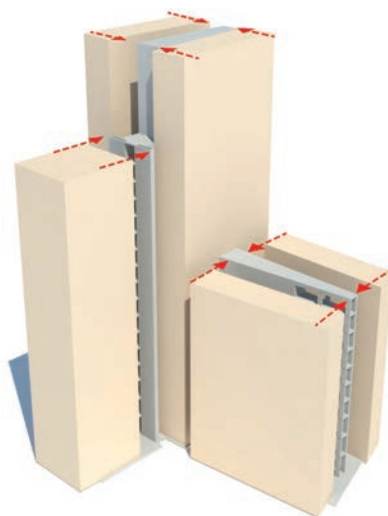
HoHo Tower u Beču

Na prvi pogled vizualizacija dvaju drvenih nebodera podsjeća na velike drvene blokove prekrivene fasadom koja djeluje poput prave kore drveta. Projektni je tim, među ostalim, vodio računa o tome da se dimenzije i oblik građevine uklope u postojeći okoliš, poštujući pravila generalnoga urbanističkog plana nove gradske četvrti u Beču. Glavna projektantica Caroline Palfy stvorila je modularni oblik koji dopušta prenamjenu pojedinih prostora unutra zgrade, na primjer, ured se lako može prenamijeniti u stambeni prostor i obratno.

HoHo Tower u Beču stambeno je poslovni objekt od prirodnoga materijala u obliku dvaju drvenih nebodera, no treba istaknuti to da se radi o hibridnoj konstrukciji, jer je glavna jezgra konstrukcije armiranobetonska, dok je sve ostalo od drva

Projekt konstrukcije i građevinsku fiziku zgrade izradila je tvrtka *RWT+zT GmbH*, a pod vodstvom austrijskoga građevinskog inženjera Richarda Woschitzza. Elaborat zaštite od požara izradila je tvrtka *Kunz*. Zgrada ima bruto površinu od 25.000 m<sup>2</sup>, od čega 19.500 m<sup>2</sup> otpada na prostor za iznajmljivanje, a preostali dio od 3920 m<sup>2</sup>

čine stanovi i apartmani. Neboder ima ukupno 24 etaže, na kojima su smješteni restorani, kozmetički i frizerski saloni, *wellness*-centar, uredi, hotel i apartmani. Treba istaknuti to da se radi o hibridnoj konstrukciji, jer je glavna jezgra konstrukcije armiranobetonska, dok je sve ostalo od drva. Gradnja HoHo Towera započela je u proljeće 2016., a ugovoreni rok za dovršetak svih radova bio je dvije godine. Konstrukcijski je sustav vrlo jednostavan, a sastoji se od četiriju glavnih elemenata: stupova, greda, ploča i fasadnih elemenata. Zgrade su opremljene sustavom koji optimizira potrošnju energije i sprječava njezin gubitak. Tako su ugrad-



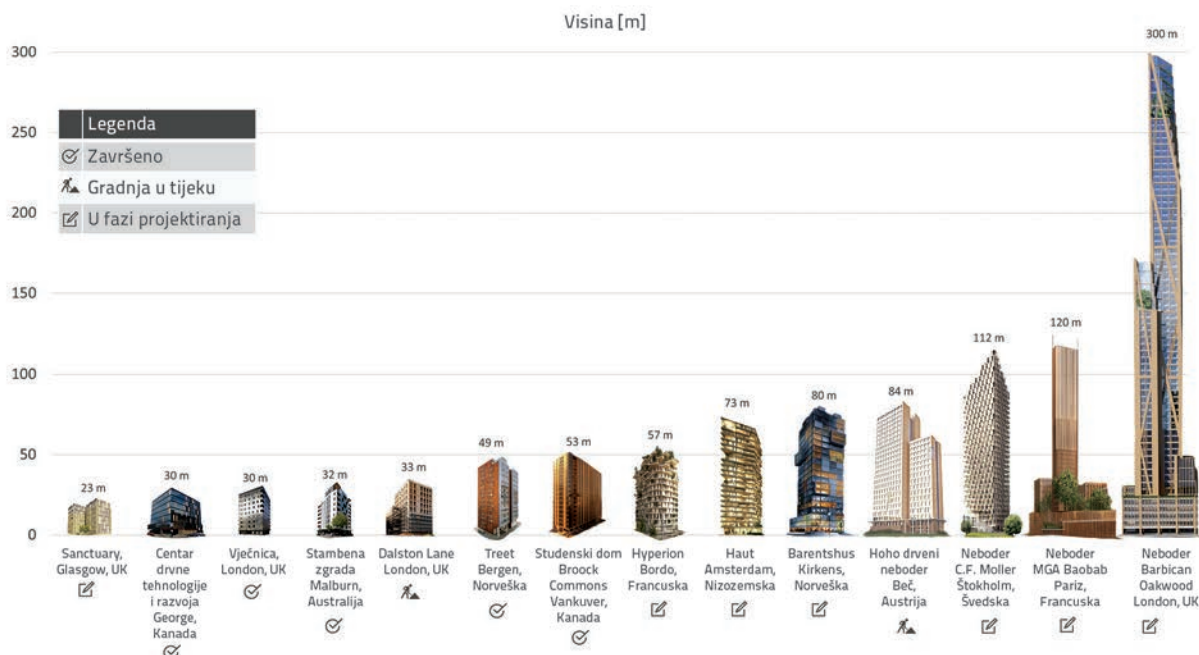
Model hibridne konstrukcije tornjeva

bena dizala opremljena tehnologijom koja koristi obnovljive izvore energije, fotonaponske panele i decentralizirani ventilacijski sustav s klimatizacijskim uređajem. Pri određivanju namjene prostora jedan od ključnih kriterija bila je fleksibilnost. Za buduće stanare i njihove urede to znači da će se izgled i namjena soba moći mijenjati jer je cijeli koncept zamišljen na modularnoj osnovi.

Predgotovljene elemente od križno lameliranoga drva isporučila je tvrtka *Hasslacher Group*. Radi se o 400 m<sup>3</sup> lijepljenoga lameliranog drva i 14.400 m<sup>3</sup> križnoga lameliranog drva (CLT). Poprečni presjeci greda bili su dimenzija od 400 x 400 mm<sup>2</sup> do 400 x 1240 mm<sup>2</sup>. Predgotovljeni drveni elementi proizvedeni su u proizvodnome pogonu u Mölltalu. Nakkadna obrada zidnih elemenata izazov je kada je riječ o preciznosti i vanjskome izgledu elementa. Vidljive površine su od drva smreke, koje je vrlo glatko i nema uočljive nepravilnosti, izbočine ili pukotine. Za konstrukciju drvenoga nebodera iskorišteno je 3600 m<sup>3</sup> drva. Kada se to usporedi s istom količinom betona, drvo ispušta 2,800 tona manje štetnoga ugljikova dioksida u okoliš. Ta je količina istovjetna količini ispušnih plinova osobnoga automobila na putovanju dugom 20 milijuna kilometara ili bi se toliko ugljikova dioksida potrošilo tijekom 1300 godina svakodnevnih vožnji dugih 40 km. U projekt je uloženo 65 milijuna eura, neboderi su završeni u siječnju 2019., a početak



Interijer u neboderu HoHo



### Najviše drvene konstrukcije u svijetu (izgrađene i planirane)

useljena prvih stanara bio je kraj listopada 2019.

Čini se kako ni s dovršetkom HoHo Towera u Austriji neće prestati utrka za visokim drvenim konstrukcijama pa se u Europi trenutačno projektira drveni Moller Tower u Stockholmu, čija bi visina trebala biti 112 m. Prati ga neboder MGA Baobab (120 m) u Parizu, a trostruko viši od svih mogao bi biti Barbican Oakwood Tower u Londonu (300 m).

### Sjedište tvrtke Swatch, Švicarska

Osim u visini, drvene građevine danas se natječu i u veličini površine pa je nakon gotovo pet godina gradnje u švicarskome gradu Bielu (Biennu) otvorena površinom jedna od najvećih drvenih konstrukcija – novo sjedište tvrtke Swatch, renomiranoga švicarskog proizvođača satova, koju je projektirao japanski arhitekt Shigeru Ban.

Nakon gotovo pet godina gradnje u švicarskome gradu Bielu otvorena je površinom jedna od najvećih drvenih konstrukcija – novo sjedište tvrtke Swatch, koju je projektirao japanski arhitekt Shigeru Ban



Sjedište tvrtke Swatch, Švicarska

Ban i tvrtka Swatch prvi put surađivali su na projektu centra Nicolas G. Hayek u Tokiju 2007. Iste te godine Shigeru Ban osvojio je drugu nagradu na međunarodnome natječaju za projektno rješenje novog terminala Međunarodne zračne luke Zagreb. Ban je stručnjak za konstrukcije od drva i kartona, poznat po svojim jednostavnim arhitektonskim rješenjima. Dobitnik je Pritzkerove nagrade 2014. Tom je prigodom žiri istaknuo to da smi-

sao za odgovornost i pozitivnu akciju za stvaranje kvalitetne arhitekture koja služi društvenim potrebama, a koja je povezana s njegovim originalnim pristupom humanističkim izazovima čine Bana primjerom u profesiji. Shigeru Ban stvorio je vrlo zanimljiv spektar arhitektonskih rješenja, a devastirajući potresi u Japanu, Turskoj i Indiji inspirirali su ga za dizajn jednostavnih konstrukcija od drva i papirnatih tuba koje se mogu graditi *in situ*.



Drvena nadstrešnica novog sjedišta švicarske kompanije

Autor je katedrale u Christchurchu, na Novome Zelandu, Japanskoga paviljona projektiranoga za izložbu Hannover Expo u Njemačkoj, Papirnate kuće u Japanu i mnogih drugih.

Na javnome natječaju 2015. pobijedio je s projektnim rješenjem novoga sjedišta tvrtke *Swatch*, u koje je uloženo 220 milijuna eura. Golema zgrada duga je 240 m, široka 35 m, a visoka 27 m. Interijer i eksterijer zgrade isprepleteni su neobičnim lajtmotivima, zakrivljenim oblicima u raznim bojama. Njezin neobičan dizajn uklopio se u urbano okružje, zbog čega se već u nekim medijima naziva svojevrsnim remek-djelom. Ban je želio projektirati građevinu tako da se poštuje pojavnost zgrade u prostoru, pa je drvo bilo logičan izbor jer je taj švicarski gradić poznat po tehnologiji obrade drva, a u gradu se nalazi i jedna od najboljih švicarskih škola za tu struku.

Tlocrtna joj je površina 25.000 m<sup>2</sup>, a konstrukcija ima pet etaža. Zgrada obuhvaća urede, sale sa sastanke, konferencijsku dvoranu, kafiće, restoran i prostorije za odmor zaposlenika. Posebno neobična instalacija smještena u stražnjemu dijelu drugoga kata jest stubište koje zapravo ne vodi nikuda, no služi kao "stube za čitanje", odnosno kao prostor u kojemu zaposlenici provode pauze tijekom radnoga vremena ili pretražuju literaturu.

Zbog visoke preciznosti obrade drveni elementi omogućili su brzu montažu na gradilištu. Krovna konstrukcija ima nepravilan oblik. Tijekom faze planiranja projekta korištena je 3D tehnologija kako bi se odredili točan oblik i približni položaj elemenata koji su ugrađeni u konstrukciju. U gradnji je korišteno samo drvo iz švicarskih šuma, i to uglavnom smreka. Ukupno je bilo potrebno nešto manje od 1997 kubnih metara toga građevnoga materijala. Rešetkasti krov zgrade sastavljen je od 7700 komada drvenih kompozita koji su spojeni s preciznošću od 0,1 mm. Na krovu su ugrađene fotonaponske ćelije, a za grijanje i hlađenje zgrade koriste se dizalice topline, koje koriste podzemnu vodu. Ispred zgrade instalirane su punionice za električne automobile i bicikle pa se zahvaljujući suvremenoj tehnologiji, znatno štedi energija i smanjuje emisija ugljikova dioksida.

### Zaključne napomene

Sve veća ekološka osviještenost zahtijeva smanjenje emisije stakleničkih plinova u industriji i potrebu da se graditeljstvo preusmjeri na prirodne materijale poput drva i kamena. Međutim, još uvijek postoje brojne predrasude o gradnji drvom, a koje proizlaze iz neznanja. Najčešće su predrasude koje se odnose na dugotraj-

nost drva, zapaljivost, izolacijska svojstva, upijanje vlage, djelovanje štetočina i zastarjelost. Niz požara koji je u posljednjih nekoliko godina zahvatio nebudere u Dubaiju i Londonu možda je najbolji pokazatelj toga da požar nije prijetnja samo drvenim konstrukcijama, nego svim građevinama, bez obzira na to od kakvog su materijala izgrađene. U skladu s time potrebno je sustavno obrazovati stručnjake u području graditeljstva, osobito kroz stručne seminare, skupove i publikacije. Danas postoje vrlo jaki razlozi za gradnju drvenih građevina jer je riječ o ekološkim i racionalnim konstrukcijama koje odlikuju građevno-fizikalna svojstva, brzina gradnje, znatno manja potrošnja energije već kod pripreme materijala za ugradnju, veća korisna površina pri jednakim vanjskim gabaritima građevine, trajnost te potresna i požarna sigurnost.



Detalj s gradilišta Swatch centra

Važniji projekti poput onih obrađenih u članku trebali bi biti prikazani široj javnosti kako bi se proširila svijest o svim prednostima drva kao materijala. Zelena gradnja postaje standard, a čini se kako drvo u niskoenergetskoj gradnji polako dobiva svoje zaslužno mjesto među svim ostalim konvencionalnim materijalima.

### Izvori

- <http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-70-2018-2-2-2071-EN.pdf> <https://www.hasslacher.com/hoho-vienna-en>
- <http://www.hoho-wien.at/Projekt/Okologische-Kennzahlen>
- <https://www.arup.com/projects/metropol-parasol?query=metropol%20p>
- <https://www.swatchgroup.com/en/services/archive/2019/swatch-inaugurates-its-headquarters-biel>