

NOVI BERLINSKI GLAVNI KOLODVOR

Jedan od posljednjih velikih projekata povezan s ujedinjenjem Njemačke, Berlinski glavni kolodvor otvoren je 26. svibnja 2006. nakon 12 godina projektiranja i gradnje. Ovaj najveći i najmoderniji kolodvor u Europi stajao je 850 milijuna američkih dolara. Smješten blizu glavnih vladinih građevina poput *Reichstaga* (sjedište *Bundestaga*, Donjeg doma njemačkog parlamenta), *Bundeskantenzlerleramta* (ureda federalnog kancelara) i po-

nakon ujedinjenja 1989. U lipnju 1992. Vlada Savezne Republike Njemačke donijela je odluku o izgradnji novoga Glavnog kolodvora na mjestu staroga gradskog kolodvora *Lehrter (Lehrter Stadtbahnhof)* kao suvremenog čvorišta s priključkom na berlinsku gradsku (*S-Bahn*) i podzemnu (*U-Bahn*)

izabrano je rješenje hamburške arhitektonske tvrtke *Gerkan, Marg und Partner*.



Pogled na novi Berlinski glavni kolodvor

vijesnih Brandenburških vrata, kolodvor zauzima područje nekada rascijepjeno i opustošeno blizinom Berlinskoga zida.

Osim svoje svrhe važnog prometnog središta koje povezuje glavne željezničke linije u smjerovima sjever – jug i istok – zapad, novi je kolodvor zamišljen i kao simbolična poveznica nekad podijeljenoga grada.

Planiranje novoga prometnog koncepta Berlina započeo je berlinski Senat



Kolodvor u gradnji

Izgradnja berlinskoga Glavnog kolodvora tekla je u nekoliko faza. Gradnja je započela 1995. izgradnjom tunela *Tiergarten* koji je te godine i dovršen. Tunel se sastoji od četiriju cijevi za međugradski i regionalni promet, dviju cijevi za podzemnu željeznicu (*U55*) te od jednoga cestovnog tunela koji se prozračuje preko tornja visokog 60 m izgrađenog 2004. Pri gradnji

željeznicu. Natječaj za novi berlinski kolodvor raspisan je 1993., a

tunela preusmjeren je tok rijeke Spree, a zbog prodiranje vode u



Stari Lehrter Stadtbahnhof

tunele gradnja je kasnila godinu dana.

Izgradnja mostova za novi pravac gradske željeznice počela je 2001., a 2002. počeli su radovi na izvedbi krova.

Mostovi i glavna hala završeni su 2003. i tada je započeo promet preko novoga prometnog pravca. Srušen je stari *Lehrter Stadtbahnhof* koji se nalazio točno ispred gradilišta novog kolodvora.

Konstruktivne posebnosti i gradnja

Prema zamisli njemačke projektantske tvrtke *von Gerkan, Marg und Partner* iz Hamburga, glavni kons-

Vlakovi koji dolaze na stanicu iz pravca sjever – jug prolaze kroz tunel dug 4 km i zaustavljaju se u 160 m dugoj i 40 m širokoj dvorani 15 m ispod razine prizemlja.

Slijedeći podzemne linije putovanja u smjeru sjever – jug, dvije paralelne poslovne zgrade od 12 katova, svaka s jedne strane istočno – zapadne dvorane, premošćuju područje perona bez međuoslonaca. Staklena ulazna dvorana smještena je između tih dviju poslovnih zgrada, duga je 213 m i široka 41,2 m, a iz nje je moguć pristup trima razinama: trgovačkim tvrtkama, garažama i željezničkim servisima. Iz prizemlja pokretne stuba i dizala vode dolje do osam perona

Uz konzultantske poslove pri idejnom projektiranju zgrade željeznice kolodvora inženjerska konstruktorska tvrtka *Schlaich Bergermann und Partner* iz Stuttgarta projektirala je četiri mosta koji čine jedan vijadukt, kolodvorske čelične konstrukcije i stakleni krov te staklena pročelja. U tvrtki je proveden i proračun konstrukcije poslovnih zgrada.

Tisuću metara dug prijelaz po kojem vlakovi iz pravca istok – zapad prolaze kroz stanicu čine dva dvokolosijska mosta i dva jednokolosijska mosta. Konstrukcija prati kolosijeke geometrijski točno, šireći se od 18 m na svojem najužem dijelu na 74 m kako bi se smjestili peroni unutar kolodvora. Formirajući istočni kraj prijelaza, poligonalni lučni most dužine 240 m premošćuje luku Humboldt, ostavljajući 60 m širok slobodan prostor za prolaz brodova. Stupovi napravljeni od cijevi debljine stijenke 100 mm i vanjskog promjera 660 mm, čine vitke podupore za 1,7 m debelu prednapetu betonsku ploču.

Stupovi su na razmaku 20 do 25 m i ne ograničavaju vidno polje za razliku od masivnih betonskih stupova.

Zbog tehničkih i graditeljskih razloga, jedinstvena kombinacija valjanog i lijevanog čelika izabrana je za lučni most kao i za neke podupore na drugim mjestima duž vijadukta. Kako se lijevani čelik može prilagoditi gotovo svakim geometrijskim odnosima, upotrijebljen je za postupni i elegantni prijelaz između pojedinih konstrukcijskih elemenata.

Zbog toga što su željeznički mostovi izloženi cikličkim opterećenjima, projektiranjem je trebalo riješiti probleme znatnih učinaka zamora koji mogu negativno utjecati na spojeve. Iz uvjerenja da je prvi put upotrijebljen lijevani čelik za konstrukcije željezničkih mostova u Njemačkoj, a možda i u svijetu, lijevane su čelične veze vijadukata prošle brojna testiranja kako bi se odredilo njihovo ponašanje pri statičkom i dinamič-



Dvorana s peronima u smjeru pravca istok – zapad

truktivni elementi kolodvora ističu njezinu funkciju željezničkog raskrižja. Vlakovi koji dolaze na stanicu u smjeru istok – zapad preko 1000 m dugoga vijadukta zaustavljaju se u željezničkoj dvorani smještenoj 10 m iznad donje razine. Kao zaštita putnicima od padalina peroni su nadsvođeni 320 m dugim staklenim krovom.

na s kojih se ulazi u vlakove prema sjeveru i jugu.

Filigranska staklena i čelična arhitektura kolodvora čine da se doima prostraniji te prožima interijer danjim svjetlom. Stakleni krov iznad perona u smjeru istok – zapad i ulazna dvorana usmjeravaju danje svjetlo koje doseže čak i do donjih razina stanice.

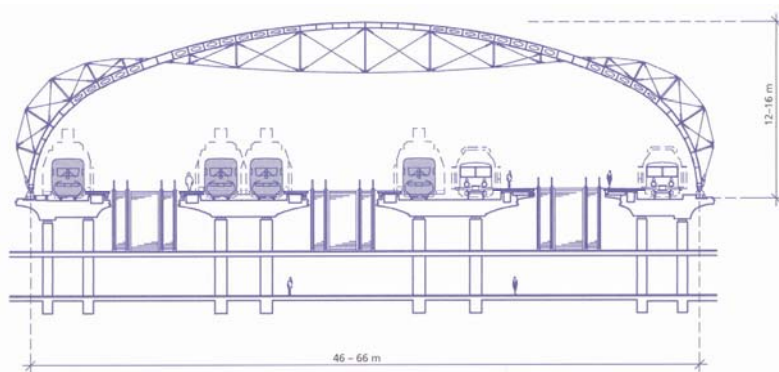
kom djelovanju. Testovi su pokazali, uz odgovarajuće kontrole kvalitete, da lijevani čelik klase GS 20 Mn5V kako je normiran u Njemačkom institutu za norme u Berlinu (*Deutsches Institut für Normung* ili DIN), pokazuje isto statičko i dinamičko ponašanje kao uobičajeni čelik 50 poznat po svojem DIN kodu kao klasa S 355 J2G3.

U središtu istočno – zapadne željezničke dvorane veliki se otvoreni prostor širi prema podzemnim peronima. Tamo gdje prijelaz premošćuje taj otvor, čelični stupovi visoki 23 m podupiru ploču mosta. Stupovi se sastoje od četiri čelične cijevi promjera 508 mm koje su zajedno povezane, a na vrhu se računaju kako bi stvorile prostornu trogranu konstrukciju. Podloge od lijevanog čelika upotrijebljene su za temelje stupova i spojeve do dna ploča.

Oslanjana na dva krajnja jednokolosiječna mosta prijelaza, staklena dvorana s peronima duga 320 m natkriva istočno – zapadni željeznički peron velikom svođenom konstrukcijom koja u svom najširem mjestu ima raspon 66 m. Zato što dvorana prati kolosijeke, njezina širina varira od 59 do 66 m. Svođena konstrukcija ima najmanju visinu 14,5 m, a najvišu 16,5 m.

Oblik krovne konstrukcije rađen je tako da bi udovoljio zahtjevima njemačkih željeznica za potrebnim visinama prolaza. Projektiran u obliku blago savijenoga košarastog luka, strmi nagib konstrukcije na stranama duž najdaljih perona stvara izgled sasvim drugačiji od željezničkog kolodvora izgrađenog u 19. stoljeću. Željeznička dvorana građena je tada s visokim lukovima koji su dopuštali izlaz pare iz lokomotiva.

Svođena košarasta konstrukcija uspinje se prema srednjoj točki, kako bi se prilagodila različitim razmacima između kolosijeka. To je dovelo do stvaranja mreže ravnih pravokut-



Poprečni presjek kroz kolosijeke i krovnu konstrukciju

nih panela koje je bilo ekonomičnije izvesti. Istodobno je ovaj konstruktivni oblik svoda stvorio intrigantne i dinamičke vizualne efekte.

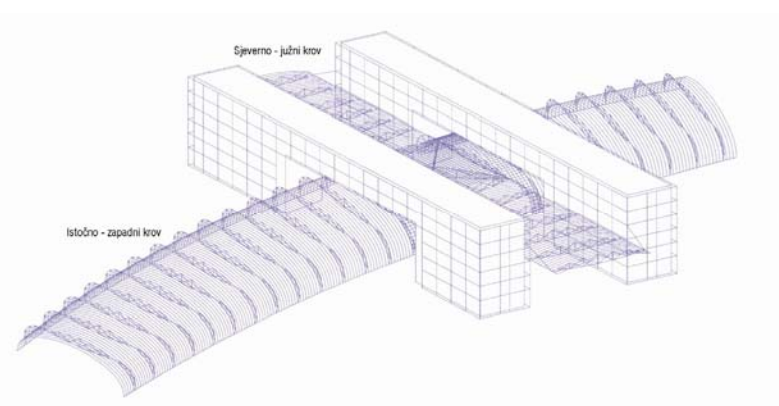
Kako bi stvorili graciozno zakrivljeni prozirni krov, inženjeri su izabrali učinkovitu mrežastu ljusku umjesto tradicionalnoga rebrastoga sustava. Četverokutna mreža 1,5 x 1,7 m sastoji se od valjanih čeličnih T profila učvršćenih dijagonalnim kabelima. Stakleni krov iznad istočno – zapadnih kolosijeka i ulazne dvorane usmjerava svjetlost čak i u najdonje razine kolodvora.

Unatoč značajnoj veličini željeznička dvorana djeluje lagano i prozirno. Takav je rezultat postignut upotrebom inovacijskoga konstrukcijskog sustava i suvremenih materijala. Kako bi se stvorila što je moguće prozirnija krovna konstrukcija, upotrijebljena je mrežasta ljuska umjesto tradicionalnih uzdužnih krovnih greda. Mrežasta ljuska smanjuje mate-

rijalne troškove iskorištavajući zaobljenost konstrukcije za stvaranje posebno učinkovitoga konstrukcijskog sustava. Četverokutna mreža 1,5 x 1,7 m sastoji se od valjanih čeličnih T profila s visinom između 145 i 175 mm. Ova je mreža učvršćena dijagonalnim kabelom promjera 12 mm.

Lagani lučni okviri oblika drške košare na razmaku 13 m od središta ukružuju konstrukciju. Ovi su okviri ojačani sustavom kabelnih zatega iznad i ispod okvira. Kabeli slijede dijagram momenata savijanja okvira, smanjujući savijanje u konstruktivnim čeličnim elementima.

Kako se stakleni krov ne smije oštetiti vibracijama i deformacijama od željezničkog prometa ili pomacima konstrukcije mostova na koje se oslanja konstrukcija, ugrađeni su posebni radijalno sferni jednostavni nosivi elementi koji preuzimaju vlačne i tlačne sile, a dopuštaju rotaciju i pomake.



Shema istočno – zapadnog i sjeverno – južnog krova s poslovnim zgradama

Glavni ulaz u željeznički kolodvor presvođen je 200 m dugim staklenim krovom slobodnog raspona od 40 m između dviju poslovnih zgrada. U središtu taj stakleni krov u sredini presijeca rebro križnoga svoda. Međutim, geometrijski je odnos svoda kompliciran zakrivljenim osima krovnih svodova.



Pogled odozgo na stakleni krov

Svodeni krov sjeverno - južne dvorane ukrućen je kabelskim rešetkama na razmaku 13 m od središta i reflektira geometrijski oblik istočno - zapadnoga krova u središnjoj točki. Kabelske rešetke visoke su 5 m, 400 mm visoka greda I profila tvori tlačne tetive, a spiralni kabeli promjera 85 mm sasvim zatvaraju vlačne tetive. Cjevasti čelični profili 100 mm u promjeru čine vertikalne štapove rešetke, a dijagonale preuzimaju ulogu spiralnog kabela promjera 18 do 24 mm.

Oslonjeni samo u svoje četiri ugao- ne točke, mrežasti svod slobodno presvođuje sve željezničke perone. To pridržavanje osiguravaju ovješene šipke usidrene u poslovne zgrade. Kabelske rešetke duž četiriju rubova i dijagonalne kabelske rešetke prenose opterećenje preko ovješanih šipaka u ugaonim točkama.

Pri gradnji sjeverno – južnoga staklenog krova, najkritičniji je izazov bio njegovo podizanje preko željezničkog prometa. Građenje preko prolazećih vlakova i podizanje teških elemenata iznad kolosijeka bilo je zabranjeno bez upotrebe zaštitnih mjera. Međutim, golemi troškovi zaštitne skele u ovome su slučaju

spriječili njezinu uporabu. Primjena takve skele morala bi biti dobro obrazložena budući da je trebala presvoditi šest kolosijeka te izdržati teško djelovanje od pada elemenata konstrukcije. Ne treba ni isticati kako bi te mjere ometale građenje na ostalim dijelovima kolodvora.

Umjesto toga razvijeni su specijalni postupci za podizanje krova, pri čemu se poštovala dinamika gradnje. Na južnoj je strani cijeli krov, uključujući i ostakljenje, izgrađen u sekcijama između dviju poslovnih zgrada, daleko od kolosijeka. Ti su segmenti zatim klizeći po tračnicama dovedeni na svoje mjesto tijekom noći kada nije bilo željezničkog prometa.

Lagana prozorna konstrukcija predviđena je za pročelje glavnoga ulaza na kraju sjeverno – južnoga krova. Široko 45 m i visoko 25 m, stakleno

pročelje nema čelične konstruktivne elemente. Umjesto toga projektiran je i izveden sustav kabela koji preuzima sva opterećenja. Dva kabela prolaze iza vertikalnih spojeva stakla i križaju se na svakom pojedinom staklenom panelu. Na svakom horizontalnom spoju kabeli su povezani staklenim elementima i zatežu vertikalne kabele. Taj sustav može preuzeti opterećenje vjetrom bez čeličnih tlačnih elemenata.

Stakleni elementi od 1,7 m poredani su u parovima i moraju podnijeti velike sile. Svaki se element sastoji od tri kaljena lemelirana sloja od 12 mm i može izdržati opterećenja do 10 t. Kako bi se provjerila otpornost tih elemenata provedeni su brojni proračuni i ispitivanja. Proračunski je dokazano da konstruktivni integritet pročelja i zahtjevi uporabljivosti nisu narušeni čak i u slučaju da pukne nekoliko staklenih elemenata. Ovom je konstrukcijom pokazano da se uz nužno stručna tehnička rješenja čak i inače lomljivi materijali mogu izložiti velikim opterećenjima.

Dvije dvanaesterokatne poslovne zgrade premošćuju slobodni raspon od 87 m istočno – zapadne željezničke dvorane. Ta složena konstrukcija od čeličnih elemenata s betonskom pločom bila bi prilično tradicionalna kad ne bi bila projektirana da presvođuje tako veliki raspon bez međuležajeva i da se ne nalazi iznad operativne željezničke dvorane.

Dva vanjska rešetkasta panela pridržavaju četiri kata poslovnog prostora koji premošćuje istočno – zapadnu željezničku dvoranu. Opterećenje zgrade nosi serija čeličnih greda visine 1,8 m smještenih 8,7 m od središta. Te su grede smještene ispod donjeg kata i prolaze između vanjskih rešetkastih panela. Smanjenje stalnoga opterećenja postignuto je podnim gredama od laganoga betona.

Za izgradnju poslovnih zgrada iznad željezničkog prometa, razvijene su dvije različite metode podizanja. Pr-

vo je izvedena čelična rešetkasta konzola kao pri izvedbi mosta. Čelične rolete u prizemlju, potrebne zbog betonskih radova, poslužile su i za potrebno ukrućivanje i privremenu zaštitu tijekom gradnje. Nakon betoniranja prizemlja, podne su betonske grede rabljene kao zaštita od pada krhotina u nastavku gradnje. Međutim, mana je toga postupka što se

razvila impresivan postupak podizanja slobodnih sekcija za presvođivanje i tako smanjila potrebno vrijeme gradnje raspona nad željezničkom dvoranom. U tom je pristupu svaka polovica rešetke podizana vertikalno na peti kat nosive konstrukcije. Zatim su polovice nosača rotirane, kao kod pokretnog mosta, do prave pozicije i zavarivane.

elementi poslovnih zgrada podignuti su za deset mjeseci.

Danas više od 1100 međugradskih vlakova prolazi i približno 300.000 putnika stiže na stanicu svaki dan. Na površini stanice 70.000 m² i 15.000 m² servisnog prostora (za održavanje) smještene su brojne trgovine i restorani.



Poslovne zgrade premošćuju kolodvorsku dvoranu

većina najvažnijih poslova morala raditi noću kada vlakovi nisu prometovali, što je izazvalo kašnjenje u radovima.

Druga je metoda uključivala gradnju horizontalnih rešetki na osmom katu potpornih zgrada. Rešetke su se mogle naguravati preko krova željezničke dvorane.

Na kraju je ipak tvrtka *Donges Stahlbau GmbH* iz Darmstadta u Njemačkoj, koja je gradila poslovne zgrade,

U prvoj fazi, segmenti rešetke duljine 43,5 m, svaki težak 1250 t, rotirani su uz pomoć uređaja za podizanje, dok se težište nije poklopilo s osovinom rotacije. Svaka je dizalica morala imati silu od 3,400 kN, kako bi držala segmente rešetke na mjestu.

Rešetke su postavljene na mjesto ugradnje tijekom dvaju vikenda u ljeto 2005. Unatoč neprekinutom prometu kroz kolodvor, sjeverno – južni stakleni krov izgrađen je za manje od četiri mjeseca, a čelični

Berlinski glavni kolodvor ključna je prometna točka od koje se očekuje pomoć u daljoj europskoj integraciji, a također pomaže cjelovitosti nekada podijeljenoga grada.

T. Vrančić

IZVOR

Civil Engineering, kolovoz 2006.

hr.wikipedia.org