

METALNE KONSTRUKCIJE U PERIODU 1948–1998.

METAL STRUCTURES IN THE PERIOD FROM 1948 TO 1998.

UDK: 624.014"1948-1998"

Prof. dr Dragan BUĐEVAC, dipl. inž. građ.



REZIME

Čelične konstrukcije se iz godine u godinu sve više primenjuju u izgradnji građevinskih objekata. Primenjuju se za industrijske hale, spratne zgrade, sportske i izložbene hale, hangare, javne garaže, mostove, rezervoare, bunkere, silose, dimnjake, antenske stubove, stubove dalekovoda, ustave i mnoge druge objekte. Skoro da i nema građevinskog objekta koji se ne može izgraditi od čelika. Blagodareći svojim izuzetnim mehaničkim i funkcionalnim osobinama čelične konstrukcije drže sve rekorde u građevinarstvu, kako po rasponu u mostogradnji, tako i po visini u zgradarstvu, antenskim stubovima i jarbolima i slično. Danas je trend u arhitekturi korišćenje nosećih čeličnih konstrukcija koje su vidljive u enterijeru i na fasadama, sa detaljima konstrukcije posebno obrađenim i konstruisanim u bliskoj saradnji konstruktora i arhitekta.

U ovom radu biće ukratko opisani najznačajniji objekti koji su izgrađeni poslednjih godina u svetu. Takođe će se prikazati i dometi našeg građevinarstva ostvareni poslednjih 50 godina.

U radu su najkraće izložene osnovne odredbe Evrokoda 3 kao savremenog standarda za projektovanje čeličnih konstrukcija, odnosno biće obrađeni oni delovi ovog dokumenta koji unose novine u našu uobičajenu građevinsku praksu.

Ključne reči: čelične konstrukcije, Evrokod 3, industrijske hale, spratne zgrade, sportski objekti, mostovi, specijalne konstrukcije.

SUMMARY

From year to year steel structures are more and frequently applied in civil engineering: for industrial halls, multi-storey buildings, sports and exhibition halls, aircraft hangars, public garages, bridges, reservoirs, bins, silos, chimneys, antenna supports, towers for high-tension lines, sluiceways and many other structures. There is almost no structure that could not be constructed in steel. Owing to its mechanical and functional properties, steel structures hold all the records in civil engineering, concerning the spans of the bridges concerning the height in building industry, antenna towers and masts, and so on. Nowadays trends in architecture use bearing steel structures, visible in the interior and on the facades, with the details of the construction particularly elaborated and conceived in collaboration of designer and architect.

The most important structures recently built in the world, are briefly described in the frame of this work, the range of our civil engineering achievements within last 50 years is also presented.

Paper briefly presents Eurocode 3 as a modern standard for the steel constructions design, particularly the parts of this document which are introducing news in our usual building practice.

Key words: steel constructions, Eurocode 3, industrial halls, multi-storey buildings, sports structures, bridges, special structures.

1. UVOD

Čelične konstrukcije poseduju specifična svojstva i značajne tehničke i funkcionalne prednosti u odnosu na druge građevinske materijale te se stoga primenjuju za sve vrste građevinskih konstrukcija. Pored toga one se i izuzetno brzo razvijaju što se ogleda kako u novim savremenim metodama proračuna i analize, novim visoko sofisticiranim konstrukcijskim sistemima, tako i u potpuno automatizovanim sistemima za izradu radioničke dokumentacije na računaru i samih konstrukcija u radionici kao i novim postupcima montaže na gradilištu. Čelik, kao osnovni materijal za noseće metalne konstrukcije koristi se skoro za sve tipove građevinskih objekata kao što su: industrijske hale, spratne zgrade, izložbene i sportske dvorane, hangari, krovovi stadiona, garaže, mostovi, rezervoari,

silosi, bunkeri, vodotornjevi, antenski stubovi, stubovi dalekovoda, dimnjaci, ustave, offshore platforme i mnoge druge konstrukcije za specijalne namene.

U tabeli 1, prema podacima Evropske konvencije za čelične konstrukcije (ECCS), navedeni su podaci o ukupnoj proizvodnji konstrukcionog čelika u nekim zemljama Evrope, u hiljadama tona, sa procentualnim učešćem pojedinih tipova čeličnih konstrukcija u ukupnoj izgradnji za dati tip konstrukcije. Na osnovu ove tabele može se videti koliki je udeo čeličnih konstrukcija u građevinskom konstruktivstvu razvijenih zemalja Zapada. Izuzetne karakteristike koje poseduje čelik kao materijal za noseće konstrukcije, a to su: visoka mehanička svojstva, male dimenzije i težina, industrijalizovana proizvodnja, laka manipulacija, transport i montaža, relativno lako fundiranje, velika seizmička otpornost, fleksibilnost i adaptibilnost, demontažnost i trajna vrednost – doprinele su da čelične konstrukcije drže sve rekorde u građevinarstvu. U da-

Adresa autora: Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 11000 Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

ljem izlaganju biće prikazani najznačajniji takvi objekti koji su izgrađeni poslednjih godina u svetu i kod nas. Takođe, ukratko biće izložene i nove teorijske postavke koje su najvećim delom sadržane u savremenoj tehničkoj regulativi – Evrokodu 3.

Tabela 1. Proizvodnja konstrukcionog čelika u nekim zemljama Evrope

Zemlja	Ukupna proizvodnja u 1000 t	Spratne zgrade %	Industrijske hale %	Mostovi %
Nemačka	1205	5–10	40	5–10
Francuska	800	16	75	40
Italija	680	10	10–15	30
Velika Britanija	1182	58	90–95	40
Španija	1084	30	85	10
Holandija	482	29	80	40

Sve brži porast broja stanovnika i intenzivna migracija u velike gradove nameće potrebu za napuštanjem konvencionalnih načina građenja i prelazak na potpunu industrijalizaciju građenja, što se primenom nosećih metalnih konstrukcija veoma jednostavno postiže. Industrijalizacija obuhvata kompleksno planiranje, projektovanje, izradu, montažu, finalizaciju i održavanje objekata kroz jedan prostudiran koncept koji objedinjuje sve učesnike u procesu izgradnje, kako bi se postavljeni ciljevi ispunili uz ekonomisanje u vremenu i koštanju. Ovim se maksimalno koristi savremena tehnologija proizvodnje u fabrikama i tako dobija bolji kvalitet i niža cena. Značajnim smanjenjem radova na gradilištu, a time i uticaja faktora "čovjek" i "vremenski uslovi", ostvaruje se skoro potpuno eliminisanje nepredvidivih radova.

Za razliku od mnogih drugih pozitivnih osobina, osetljivost čeličnog materijala na dejstvo korozije i požara predstavlja problem koji zahteva posebnu pažnju tokom izgradnje i eksploatacije objekta. Potreba za zaštitom od požara i korozije, istorijski gledano, umnogome je sprečavala širu primenu i razvoj novih sistema čeličnih konstrukcija. Kao rezultat pojavili su se razni sistemi pasivne zaštite nosećih konstrukcija na dejstvo požara upotrebom različitih sistema protivpožarne zaštite, kao što su izolovanje delova čelične konstrukcije zaštitnim slojevima, zaštitnim oblogama ili zaštitnim premazima čijom upotrebom čelična konstrukcija postaje potpuno zaklonjena. U mnogim slučajevima, za zaštitu čeličnih konstrukcija od požara korišćen je beton, čime je bitno ugrožena ekonomičnost primene čelika. Alternativna metoda za zaštitu od požara, kao što je ispunjenost noseće konstrukcije vodom, imala je ograničeni uspeh.

Osnovni cilj bezbednosti od požara je smanjenje rizika od gubitaka ljudskih života i materijalnih doba-

ra, naravno sa najvećom pažnjom usmerenom ka sigurnosti ljudi. Na izbor vrste i obima mera zaštite od požara utiče veliki broj parametara, a rezultat toga ne treba da bude maksimalna moguća zaštita, već zaštita prema potrebi u svakom konkretnom slučaju. U skladu sa tim, savremeni trend u ovoj oblasti podrazumeva maksimalno iskorišćenje efekata primarne zaštite, koja je prvenstveno usmerena ka opštoj sigurnosti i zaštiti ljudi. U ovu grupu mera spadaju adekvatno oblikovanje prostora objekta i njegova podela na posebne požarne sektore, primena materijala sa manje izraženim požarnim osobinama i elemenata noseće konstrukcije sa povećanom otpornošću protiv požara, ostavljanje otvora za odvod gasova i toplote kao i uređaja za otkrivanje i gašenje požara u početnom stadijumu (javljača i sprinklera). Sa druge strane, upotreba sekundarne zaštite od požara (primena izolacionih materijala ili sistema hlađenja vodom), usmerena prvenstveno ka samom objektu i materijalnim dobrima, smanjuje se na najmanju moguću meru.

U velikom broju zemalja, za određivanje vatrootpornosti konstrukcija, tehnička regulativa predviđa eksperimentalna ispitivanja. Ovakav pristup procenivanju trajnosti konstrukcija na dejstvo požara karakteriše niz nedostataka kao što su visoki troškovi ispitivanja i nemogućnost modeliranja ponašanja realnih konstrukcija u uslovima stvarnog požara na adekvatan način. Kao posledica ovoga pojavila se potreba za definisanjem analitičkih metoda proračuna vatrootpornosti. Te savremene metode sadrže računске modele zasnovane na rezultatima niza prethodno izvršenih eksperimenata. Njihova primena ne isključuje u potpunosti ispitivanje u ispitnim pećima, ali smanjuje njihov obim, a samim tim i troškove na najmanju meru. Ovakav koncept utemeljen je i u savremenoj evropskoj (Evrokod) tehničkoj regulativi.

Za razliku od mnogih drugih pozitivnih osobina, osetljivost čeličnog materijala na dejstvo korozije predstavlja problem koji zahteva potrebnu stručnost i pažnju tokom izgradnje i korišćenja objekta. Bitan uticaj na efekat i ekonomičnost zaštite od korozije ima izbor aktivne i pasivne zaštite čime se obezbeđuje da konstrukcija bude tehnički i ekonomski optimalno zaštićena. U takvim okolnostima troškovi prve izrade zaštite od korozije čeličnih konstrukcija u normalnoj atmosferi kreću se uobičajeno 5–8%, a godišnji troškovi obnove zaštitnog premaza oko 0,5% koštanja kompletne čelične konstrukcije. Korisnicima danas stoje na raspolaganju različiti sistemi pasivne zaštite od korozije kao što su:

- organske prevlake (organski premazi i plastične prevlake);
- metalne prevlake (toplo cinkovanje i metalizacija);
- kombinovane prevlake (dupleks sistemi) i
- neutralne anorganske prevlake – emaljiranje.

U okviru mera aktivne zaštite od korozije važan je celishodan izbor čeličnog materijala i sa stanovišta

korozione otpornosti. Dosadašnja primena čelika povećane korozione otpornosti (KOR-TEN), koji ne zahteva nikakvu površinsku zaštitu, ukazuje na ekonomsku opravdanost, posebno na konstrukcijama na teško pristupačnim terenima i na objektima kod kojih bi obnova zaštitnih premaza imala nepovoljan uticaj na njihovo nesmetano korišćenje. Sa gledišta dejstva korozije bitan uticaj ima i celishodno oblikovanje čelične konstrukcije, jer ona može imati i nešto veću težinu, a ipak biti ekonomična zbog niskih troškova korozione zaštite.

Trenutno je u svetu izuzetno aktuelna primena nerđajućih čelika, kao trend u arhitekturi, u takvoj formi da je konstrukcija potpuno vidljiva kako u fasadama tako i u enterijeru, ali sa posebno oblikovanim detaljima prilagođenim arhitektonskim zahtevima. Nerđajući čelici su otporni na uticaj atmosfere, vode, pare i mnogih kiselina i soli. Kod ovog čelika se na vazduhu formira površinski oksidni sloj koji sprečava koroziju. Ovaj oksidni sloj je tanak i pojačava prirodnu boju ne remeteći metalni sjaj. Njihova otpornost na koroziju je različita i zavisi od agresivnosti sredine, radne temperature, sastava i strukture čelika, termičke obrade itd. S obzirom na strukturu mogu biti austenitni, feritni i martenzitni. Svi nerđajući austenitni čelici su dobro zavarivi, ali sa izraženim deformacijama pri zavarivanju. Prvi ovakvi čelici su razvijeni početkom dvadesetog veka dodavanjem hroma i nikla ugljeničnom čeliku, a prvi put je primenjen na oblozi Krajslerove zgrade iz 1929. godine, koja i danas ilustruje

dugovečnost ovog materijala. Učešće nerđajućeg čelika u zgradarstvu i u čeličnim konstrukcijama morskih platformi iznosi 15%. Nerđajući čelik je postao uzdanica u arhitektonskom oblikovanju savremenih zgrada, delom usled napretka u metalurgiji i konstrukcijskom shvatanju materijala, ali više kao izraz fascinacije arhitekata i inženjera konstrukcijskim mogućnostima ovog materijala. Praktična zainteresovanost da se materijal konstruktivno najbolje iskoristi i racionalizuje i čak istaknu veze, daje poseban estetski efekat. Konstruktivne forme koje iz toga proizlaze često imaju kvazi-anatomske kvalitete uz jasan konstruktivni sistem. Površine elemenata od nerđajućih čelika mogu biti glatke i sjajne, matirane, rupičaste, obrađene četkama ili sa šarama i bitno utiču na način reflektovanja svetlosti. Korišćenjem površinske obrade pojedinačno ili u kombinaciji moguće je postići široku raznolikost efekata.

Trend koji poslednjih godina postoji u svetu, izražen je i kod nas, tako da je u Beogradu izgrađena poslovna zgrada Ceptera u Kralja Petra ulici (slika 1) koja na izuzetno atraktivan način dodatno afirmiše primenu nerđajućih čelika u zgradarstvu. Kod ove zgrade, koju je stručna javnost ocenila kao primer iz svetskog vrha u arhitekturi i kao jedan od najznačajnijih objekata ove vrste u arhitekturi dvadesetog veka kod nas, na fascinantno način je upotrebljen nerđajući čelik za različite delove noseće konstrukcije. Upotrebljeno je oko 30 t konstrukcija od nerđajućeg čelika i to za: ulazni most i nadstrešnicu sa portalom, balkon, niz stubova i greda za prijem krovne nadstrešnice, za konstrukcije za pridržavanje fasadnog zida, krovnu lanternu, spiralnu pasarelu, završni venac protivpožarnog stepeništa, trouganu nadstrešnicu, ograde i mnoge druge delove enterijera. Izgledi ulične i dvorišne fasade prikazani su na slici 1. Svi detalji konstrukcije od nerđajućeg čelika su posebno analizirani i rešavani u tesnoj saradnji arhitekta i konstruktivca da bi se dobilo estetski i konstruktivno najpovoljnije rešenje. Kompletnu konstrukciju od nerđajućeg čelika proizvela je i montirala Kompanija BELIM iz Beograda.

Slika 1. Poslovna zgrada Ceptera u Beogradu – Fasada prema Kralja Petra ulici i dvorišna fasada sa pasarelom.

2. EVROKOD 3

Novi evropski standard za projektovanje čeličnih konstrukcija *Evrokod 3 – Deo 1.1* (skraćeno *EC3*), objavljen je aprila 1992. godine kao Evropski predstandard ENV 1993-1-1, rezultat je dvanaestogodišnje saradnje inženjera predstavnika svih zemalja članica Evropskog udruženja za slobodnu trgovinu – EFTA. Posle perioda probne primene, nakon uključivanja eventualnih primedbi i sugestija u ovaj dokument, biće promovisan u evropski standard sa obaveznom primenom. Zato će osnovni principi i koncepcija ovog dokumenta biti prikazani u ovom radu. Predviđeno je da *Evrokod 3* ima osam delova:

<i>Deo 1-1</i>	1993-1-1	<i>Opšta pravila i pravila za zgrade</i>
<i>Deo 1-2</i>	1993-1-2	<i>Proračun konstrukcija za dejstvo požara</i>
<i>Deo 1-3</i>	1993-1-3	<i>Dodatna pravila za hladno oblikovane tankozidne elemente i limove</i>
<i>Deo 1-4</i>	1993-1-4	<i>Dodatna pravila za nerđajuće čelike</i>
<i>Deo 2</i>	1993-2	<i>Mostovi i limene konstrukcije</i>
<i>Deo 3</i>	1993-3	<i>Tornjevi, jarboli i dimnjaci</i>
<i>Deo 4</i>	1993-4	<i>Rezervoari, silosi i cevovodi</i>
<i>Deo 5</i>	1993-5	<i>Šipovi</i>
<i>Deo 6</i>	1993-6	<i>Konstrukcije za dizalice</i>
<i>Deo 7</i>	1993-7	<i>Konstrukcije u moru i priobalju</i>
<i>Deo 8</i>	1993-8	<i>Konstrukcije za poljoprivredu</i>

Do sada su iz štampe izašli *Deo 1-1* aprila 1992. godine, *Deo 1-2* septembra 1994. godine, *Deo 1-3* aprila 1996. godine i *Deo 1-4* septembra 1995. godine. Delovi 2, 3, 4, 5 i 6 napisani su u vidu nacrtu (draft verzije) i nalaze se u fazi ispitivanja u okviru komisija *CEN/TC*.

U ovom radu biće naznačeni samo najvažniji delovi osnovnog dokumenta *Deo 1-1 EC3: Opšta pravila i pravila za zgrade*. Ovaj deo sadrži principe koji važe za sve čelične konstrukcije kao i detaljna pravila za primenu na uobičajene zgrade temeljene u tlu. Mnoga od pravila za primenu važiće takođe i za mostove, tornjeve i ostale građevinske konstrukcije koje će biti predmet drugih delova standarda *EC3*, ali pravila iz *Deo 1-1* u celosti se odnose samo na zgrade. *EC3 Deo 1-1* ima devet poglavlja i devet aneksa. Aneksi su razvrstani u normativne, koji imaju istu težinu kao i materijal u glavnom delu teksta, i informativne koji obezbeđuju dodatne informacije.

Postupci proračuna u standardu *EC3* važe samo ako su zadovoljeni izvođački kriterijumi za vreme izrade i montaže koji su dati u Poglavlju 7. Poseban tehnički komitet *CEN TC 135 – Izvođenje čeličnih konstrukcija*, pripremio je nacrt pravila za izradu i montažu. Deset referentnih standarda navedeno je u Aneksu B, od kojih svaki definiše proizvod ili proces i čini referencu u pogledu broja *CEN* ili *ISO* standarda, samo onih koji su već dati u nacrtu. Tamo gde takav standard nije na raspolaganju *Nacionalni dokument za primenu (NAD)* svake zemlje članice definiše odgovara-

rajući nacionalni standard koji treba u tom slučaju da se koristi.

Prema zahtevima *Evrokoda 3* konstrukcija mora biti proračunata i izvedena na takav način da:

– sa prihvatljivom verovatnoćom ostane podesna za korišćenje za ono za šta je bila predviđena, vodeći računa o njenom veku trajanja i troškovima, i

– sa odgovarajućim stepenima pouzdanosti može da izdrži sva dejstva i druge uticaje koji mogu da se dogode kako za vreme izvođenja, tako i tokom eksploatacije, a da bude adekvatne trajnosti u odnosu na troškove održavanja.

Konstrukcija takođe treba da bude koncipirana i proračunata tako da ne bude oštećena u slučaju eksplozije, udara ili posledica grešaka usled ljudskog faktora, u nesrazmernom stepenu u odnosu na izvorni uzrok. Za razliku od naše važeće tehničke regulative za projektovanje čeličnih konstrukcija koja je zasnovana na determinističkom konceptu dopuštene napona, *EC3* se zasniva na poluprobabilističkom konceptu graničnih stanja. Granična stanja prema *EC3* definišu se kao stanja iznad kojih se konstrukcija više ne ponaša u skladu sa proračunskim zahtevima. Granična stanja su razvrstana na granična stanja nosivosti i granična stanja upotrebljivosti.

Evrokod 3 u potpunosti predstavlja moderan i inovativan standard za proračun čeličnih konstrukcija, te se kao takav ističe među konstrukcijskim *Evrokod* standardima. To se, pre svega, ogleda u datim metodama računске analize, tretmanu stabilnosti konstrukcija, analizi okvirnih konstrukcija, proračunu otpornosti štapova i proračunu veza.

U više aspekata standard *EC3* teži da pospeši delotvoran i ekonomičan proračun čeličnih konstrukcija. Između ostalog tu spadaju računске metode za polukrute veze i proračun delimično otpornih veza. Karakteristika ovih unapređenja koja tretiraju proračun rebra nosača i proračun veza štapova od šupljih profila je da omogućavaju smanjenje potrebne izrade na minimum, a tamo gde je moguće takođe i upotrebu ukrućenja, zavarivanja itd. To je omogućeno tako što se smanjena čvrstoća kompenzuje korišćenjem postkritičnih ili plastičnih rezervi, što je po pravilu zamenivano u tradicionalnim postupcima proračuna. Delotvorna primena standarda treba da dovede do najekonomičnijeg konstrukcijskog oblikovanja. Primenom *Evrokoda 3*, prema nekim analizama u Nemačkoj, za neke slučajeve u praksi dobija se smanjenje cene konstrukcija i do 20%.

Proračun potpomognut ispitivanjem omogućava inženjerima uvođenje novih statičkih i konstrukcijskih sistema koji se ne mogu dovoljno precizno analizirati klasičnim metodama. U posebnom poglavlju *EC3*, kao i u Aneksu Y dati su osnovni principi, uslovi i postupak ispitivanja.

U ovom radu, zbog ograničenog obima, biće obrađeni samo oni delovi *EC3* koji donose nešto novo u našu inženjersku praksu. Pri tome se prvenstveno misli na koncept graničnih stanja, klasifikaciju poprečnih preseka, tretman imperfekcija, statičku analizu okvirnih nosača i proračun polukrutih veza.

Evrokod 3 razlikuje četiri različite klase poprečnih preseka:

Klasa 1 obuhvata poprečne preseke u kojima može da se dostigne moment pune plastične otpornosti (obrazuje plastični zglob) i koji poseduju dovoljan kapacitet rotacije neophodan za preraspodelu momenata savijanja pri plastičnoj globalnoj analizi konstrukcija. Granična otpornost poprečnog preseka je zasnovana na plastičnoj otpornosti. Unutrašnje sile i momenti, u konstrukciji čiji elementi imaju ove poprečne preseke, mogu da se odrede primenom elastične i plastične globalne analize,

Klasa 2 obuhvata poprečne preseke u kojima može da se dostigne moment pune plastične otpornosti (obrazuje plastični zglob), ali koji ne poseduju dovoljan kapacitet rotacije za preraspodelu momenata savijanja pri plastičnoj globalnoj analizi konstrukcija. Granična otpornost poprečnog preseka je zasnovana na plastičnoj otpornosti. Unutrašnje sile i momenti mogu da se odrede primenom elastične globalne analize, a u nekim slučajevima i primenom plastične globalne analize,

Klasa 3 obuhvata poprečne preseke u kojima računski napon u krajnjem pritiskutom vlaknu čeličnog elementa može da dostigne granicu razvlačenja, ali lokalno izbočavanje moglo bi da spreči razvoj punog plastičnog momenta otpornosti. Granična otpornost poprečnog preseka je zasnovana na elastičnoj otpornosti. Unutrašnje sile i momenti mogu da se odrede primenom samo elastične globalne analize, i

Klasa 4 obuhvata poprečne preseke sa vitkim delovima kod kojih se, usled lokalnog izbočavanja tih delova poprečnog preseka, ne može dostići moment elastične otpornosti, odnosno kod kojih dolazi do lokalnog izbočavanja pritisnutih delova pre dostizanja granice razvlačenja u najudaljenijim vlaknima. Njihova otpornost se određuje na osnovu koncepta efektivne širine. Granična otpornost poprečnog preseka je zasnovana na elastičnoj otpornosti sa efektivnim presekom. Unutrašnje sile i momenti mogu da se odrede primenom samo elastične globalne analize.

Pod pojmom okvira Eurokod 3 podrazumeva razne vrste konstrukcija sastavljenih od elemenata (uglavnom horizontalnih i vertikalnih) međusobno povezanih svim vrstama veza u pogledu krutosti i otpornosti i koje su sposobne da prenesu zadata opterećenja. Sposobnost okvira da prenose zadata opterećenja je u posedovanju dovoljne otpornosti svih elemenata i veza i dovoljne krutosti radi ograničenja bočne pomerljivosti.

U zavisnosti od toga kako je obezbeđena krutost na bočnu pomerljivost, okviri se mogu podeliti na sledeće grupe:

Samonosivi okviri

- okviri sa krutim vezama,
- okviri sa trougaonom strukturom,
- okviri sa uklještenim stubovima.

Okviri sa sistemom za ukrućenje u vidu

- okvira sa krutim čvorovima,

– okvira sa trougaonom strukturom i u vidu

- platna, jezgra ili drugih elemenata sličnog tipa.

Proračun okvira je znatno složeniji od proračuna grednih nosača. Pored dokaza otpornosti i stabilnosti elemenata, potrebno je dokazati i otpornost na bočnu pomerljivost, osetljivost na uticaje drugog reda i globalnu stabilnost. Rešavanje ovih problema je obuhvaćeno vrlo složenim nelinearnim metodama i uprošćenim metodama kojima se rešava veći deo inženjerskih problema.

Pojava horizontalnih pomeranja u okviru izaziva priraštaj momenata savijanja koji stvara vertikalno opterećenje na tom pomeranju. Stoga okvir može da se klasifikuje kao bočno nepomerljiv, ako je njegov odgovor na horizontalna opterećenja u svojoj ravni dovoljno krut, tako da se sa prihvatljivom tačnošću mogu zanemariti dodatne unutrašnje sile i momenti koji nastaju usled horizontalnih pomeranja njegovih čvorova. Svaki drugi okvir treba klasifikovati kao bočno pomerljiv, a uticaje usled horizontalnih pomeranja njegovih čvorova treba uzeti u obzir pri njegovom proračunu.

Napuštanje klasičnog projektovanja čeličnih okvirnih konstrukcija uslovljeno je uvođenjem realnih karakteristika konstrukcija, elemenata i veza. U realnoj konstrukciji se, usled tehnološkog postupka dobijanja elemenata (valjanje, zavarivanje, ispravljanje, tolerancije pri izradi i montaži konstrukcije i dr.), javljaju određene imperfekcije (nesavršenosti) koje mogu da se svrstaju u tri grupe:

– geometrijske imperfekcije u vidu:

- zakrivljenosti ose štapa,

– ekcentričnog unošenja sile pritiska u elementu na mestu veze;

– strukturne imperfekcije u vidu:

- sopstvenih napona u poprečnom preseku,
- nejednake vrednosti granice razvlačenja po poprečnom preseku;

– imperfekcije vertikalnosti namontirane konstrukcije kao posledica:

- odstupanja stubova od vertikalnog položaja.

– odstupanja položaja napadnih tačaka reakcija spratnih nosača na stubovima od vertikalne linije.

Mnogi savremeni propisi za čelične konstrukcije zahtevaju da se uticaji ovih imperfekcija uzmu u obzir pri statičkoj analizi bočno pomerljivih okvira i sistema za ukrućenje kod bočno nepomerljivih okvira.

Eurokod 3 analizom obuhvata sledeće tipove veza (koje mogu da budu ukrućene i neukrućene):

– zavarene veze,

– veze zavrtnjevima sa čeonom pločom sa pre-pustom, i

– veze zavrtnjevima sa čeonom pločom bez pre-pusta.

Mnogobrojna istraživanja, zasnovana na eksperimentalnim rezultatima i numeričkim simulacijama, koja su sprovedena u poslednjih dvadesetak godina, ukazuju da se veliki broj veza koje se koriste u čeličnim konstrukcijama ne može svrstati ni u zglobne ni u krute. Naime, realno ponašanje ovakvih veza ne od-

govara u potpunosti ni jednom od ova dva tipa. Ispitivanja su pokazala da je dosadašnja podela veza dosta gruba, odnosno da rotaciona krutost zglobnih veza nije jednaka nuli kao što ni krutost krutih veza nije beskonačna, te da i ovakve veze omogućavaju izvesnu relativnu rotaciju. Veze koje po svom ponašanju predstavljaju prelaz između zglobnih i krutih, nazvane su polukrutim vezama. Za razliku od dosadašnjeg pristupa, sada se veza definiše sa dve karakteristike, otpornošću i rotacionom krutošću, pa je podela ovakvih veza definisana:

- prema otpornosti i
- prema krutosti.

Momentna otpornost veze je njena najvažnija karakteristika. Pri proračunu veze greda–stub uvek je neophodno odrediti njenu momentnu otpornost, kako bi se utvrdilo da li je ona sposobna da sa zadovoljavajućim stepenom sigurnosti prenese moment usled spoljašnjeg opterećenja. U pogledu računске momentne otpornosti, veze greda–stub mogu se klasifikovati kao:

- nominalno zglobne,
- potpuno otporne,
- delimično otporne.

Klasičan pristup proračunu čeličnih okvirnih konstrukcija pretpostavlja da su veze greda–stub ili zglobne ili apsolutno krute. Mnogi eksperimenti su pokazali da se stvarno ponašanje veza nalazi između ova dva tipa veza, tj. veze se ponašaju kao polukrute. Takve veze imaju određenu rotacionu krutost koja zavisi od vrste veze i rasporeda spojnih sredstava. Konstrukcije sa polukrutim vezama imaju realan raspored statičkih uticaja koji se razlikuju od uticaja dobijenih u konstrukcijama sa zglobno–krutim vezama. Na osnovu rotacione krutosti veze sračunava se stvarni raspored statičkih uticaja i deformacija sistema. Tako novom analizom, grede sa klasičnim zglobnim vezama dobijaju smanjenje momenta savijanja i ugiba na sredini raspona, dok grede sa krutim vezama dobijaju priraštaj istih uticaja.

3. OBJEKTI U INOSTRANSTVU

3.1. Industrijske hale i zgrade

Industrijske hale i spratne zgrade, kao što se vidi iz tabele 1, predstavljaju najzastupljeniju oblast građevinarstva u kojoj se koriste čelične konstrukcije. Poslednjih godina se i u oblasti industrijskih hala pojavljuju novi atraktivni sistemi, tako da novi industrijski objekti predstavljaju, osim funkcionalnih i tehnoloških, i značajna estetska, odnosno arhitektonska rešenja. Takva savremena arhitektonska rešenja prate i novi konstrukcijski sistemi. Jedno od ovakvih rešenja je fabrika INMOS iz Velike Britanije, fabrika za proizvodnju elektronskih komponenti – čipova, veoma upečatljivog izgleda (slika 2). Objekat je projektovan kao prizeman, višebrodan, uz veliki broj elemenata koji se mogu lako montirati uz maksimalnu prefabrikaciju, kako bi se brzo gradio brod po brod. Prva faza ima 8 od predviđenih 20 brodova. Glavni noseći sistem predstavlja podužno postavljena "kičma" dužine 106 m i širine 7,2 m sa pilonima. O pilone su ovešeni glavni rešetkasti nosači koji formiraju brodove dimenzija 13 x 36 m. Kompletna konstrukcija je izvedena od šupljih profila. Konstruktivni sistem daje maksimalnu fleksibilnost unutrašnjem prostoru bez stubova.

Adaptacija i rekonstrukcija starih zgrada predstavlja čest problem u velikim gradovima, koji se dodatno komplikuje u slučajevima kada treba zadržati postojeću fasadu ako ona predstavlja kulturno–istorijsku vrednost. Ovakvi problemi se danas u svetu skoro isključivo rešavaju primenom čeličnih konstrukcija. To ilustruje stara zgrada Princes koja je podignuta 1903. godine kao skladište pamuka u sadašnjem centru Manchestera. Njena atraktivna fasada morala je biti sačuvana prilikom promene namene zgrade u kancelarijski prostor. Pošto je postojeći prostor bio nepodesan, to je kompletna stara zgrada iza fasade srušena i ponovo sagrađena kao čelična okvirna konstrukcija (slika 3). Kao materijal za noseću konstrukciju izabran je čelik zbog brzine građenja, male visine međuspratne konstrukcije i zbog obezbeđenja stabilnosti fasade

Slika 2. Fabrika INMOS iz Velike Britanije

Ukupna pokrivena površina je 21.000 m² sa površinom korisnog prostora od 144.400 m² u 11 spratova iznad i 3 nivoa ispod zemlje. Krovna konstrukcija je prostorni nosač oblika trupa broda. Maksimalna visina krovnog nosača je 12,5 m. Konstrukcija se sastoji od 2 međusobno povezana sistema. Prvi čini čelični prsten koji se nalazi u nivou krova, a drugi 2 lučna nosača koji premošćuju raspon između glavnih stubova. Ova dva konstruktivna sistema spojena su rebrima. Ova prostorna čelična konstrukcija, raspona 207 m, oslanja se preko dva centralna stuba na rastojanju od 124 m. Ovi stubovi su zbog velike visine predviđeni samo za prijem aksijalnih sila pritiska. Radi stabilizacije prostornog krovnog nosača, tj. da bi se sprečilo njegovo preturanje oko podužne ose, postavljeni su posebni vertikalni nosači koji sa konveksnim i konkavnim kablovima prenose sile pritiska odnosno zatezanja. Glavni stubovi su izrađeni od dvostruke kružne cevi, a prostor između njih ispunjen je radi povećanja krutosti. Izrađeni su od vatrootpornog čelika tako da je njihova površina zaštićena samo antikorozivnim premazima.

Kod konstrukcionih sistema visokih zgrada došlo je do revolucionarnih promena kad su uvedeni cevni sistemi. Pravougaoni prizmatični ideal 50-ih i 60-ih godina zamenjen je neprizmatičnim oblicima, koji uglavnom odgovaraju mestu izgradnje, urbanističkim uslovima i vizuelnom efektu promenljivog vertikalnog profila. Cevni sistem se veoma prilagođava takvim promenama i različitim usavršenjima, kao što je sistem svežnja cevi te je našao široku primenu kod izuzetno visokih zgrada. Mešovito čelično–betonski sistemi, pogotovo spregnuti cevni sistemi dalje su unapredili

Slika 3. Izgled stare fasade i čelične konstrukcije zgrade Princes

(sistem skela). Pošto su spratovi nove zgrade morali biti usklađeni sa prozorima zadržane fasade, preseći noseće konstrukcije su izabrani tako da se ostvare maksimalne spratne visine. Iza stare fasade postavljene su ugaonice od nerđajućeg čelika i povezani sa njom ankerima takođe od nerđajućeg čelika.

Veoma atraktivna koncepcija zgrade Glass Hall – Tokio (slika 4) svrstava ovaj objekat u red posebno zanimljivih arhitektonsko građevinskih rešenja. Ovaj objekat pod jednim krovom objedinjuje veliku, malu i eksperimentalnu pozorišnu scenu, višenamensku konferencijsku dvoranu i izložbeni prostor.

Slika 4. Glass Hall – Tokio

primenu takvih formi. Razvijeni su i novi konstruktivni sistemi, kao što su "superokviri" da bi se adekvatno odgovorilo potrebi za fleksibilnošću prostora. Prilagodavanje cevnog okvirnog sistema izvođenju u čeliku zahtevalo je relativno mnogo zavara-vačkih radova, što nije ekonomično u sistemu blisko postavljenih stubova. Međutim, kasniji razvoj posebnih montažnih jedinica proizvedenih u fabrici, koje se zatim transportuju i na gradilištu spajaju zavrtnjevima, omogućili su njihovu primenu kod čeličnih konstrukcija. Najznačajnije zgrade ovog sistema su dve kule bliznakinje visine 417,0 m World Trade Center u Njujorku izgrađene 1972. godine i stospratnica John Hancock Center u Čikagu. Kasnijim razvojem pojavio se sistem rešetkaste cevi u ravni fasade što je ekonomičnije rešenje od okvirnog cevnog sistema, a ogleda se u smanjenju efekata "shear lag". Ovakvi cevni sistemi omogućili su izvođenje širokog spektra visokih zgrada spratnosti od 30 do 110. Kasnijim razvojem cevnih sistema došlo se do koncepta svežnja cevi koji je prvi put primenjen kod objekta Sears Tower u Čikagu sa 109 spratova i 442,0 m visine. Potreba za smanjenjem mase po visini dovela je do pojave ideje o usnopljanju cevi manje veličine koje mogu da budu različitih visina. Konstruktivna efikasnost ukupnog sistema bitno je poboljšana zbog postojanja unutrašnjih ravnih okvira koji smanjuju "shear lag" efekat same spoljašnje cevi. Modularnost i konceptualna osnova svežnja cevi ima široku primenu, jer se cevne čelije mogu organizovati na više načina pri čemu se cev može izvesti u bilo kakvom zatvorenom obliku.

Jedna od najnovijih zgrada izvedenih u ovom sistemu je Bank of China u Hong Kongu, zgrade koja sa svojih 86 spratova i 369 m predstavlja treću po visini spratnu zgradu u Aziji, a šestu u svetu (slika 5).

Zgrada je u osnovi kvadratna, dimenzije stranice 60 m, sa četiri različita tipa spratnih osnova koje se dobijaju tako što se po visini redukuje za po jedan jednokraki trougao na četvrtom, dvadesetpetom, tridesetom i pedesetprvom spratu.

Mešovito čelično-betonski sistemi danas su opšte prihvaćeni i koriste se toliko često kao potpuno čelični ili armiranobetonski sistemi. Najpovoljnije osobine betona su krutost i mogućnost oblikovanja u različite forme konstruktivnih elemenata. Zato se većina mešovitih sistema oslanja na beton za prijem horizontalnog opterećenja (npr. monolitni zidovi, perforirani zidovi ili okvirno cevni elementi sa monolitnim betonskim vezama greda-stub). Za međuspratnu konstrukciju povoljno je upotrebiti čelik zbog mogućnosti premošćenja većih raspona lakšim elementima čime se ostvaruje veći prostor bez stubova. U ovu svrhu široko se primenjuje sistem spregnutih međuspratnih konstrukcija na profilisanim limovima.

Savremeni konstruktivni sistemi za spratne zgrade predstavljaju i "super-okviri" portalnog tipa koji se nalaze u fasadi zgrade. Portalni "super-okvir" sastoji se od vertikalnih oslonaca na uglovima zgrade, koji su povezani horizontalnim elementima na svakih 12-14 spratova. Na ovaj način maksimalno efikasno se pri-

Slika 5. Kineska banka u Hong Kongu

maju horizontalne sile, jer su horizontalni i vertikalni elementi međusobno kruto vezani i imaju značajne dimenzije u ravni okvira. Hotel "De Las Artes Tower" u Barseloni izgrađen je u ovom sistemu.

Završetkom Petronas Towers-Kuala Lumpur (Malezija) 1996. godine ove dve 88-spratne kule postale su najviše zgrade na svetu sa 451,9 m visine (slika 6). U nivou 41 i 42 sprata kule su povezane pasarelom dužine 58,4 m, na 170 m od nivoa ulice. U kule je ugrađeno 36.910 t čelika i 160.000 m³, 65.000 m² pokrivača od nerđajućeg čelika i 77.000 m² stakla. Vertikalni transport se obavlja sa 29 double-deck liftova velike brzine i 10 elevatora u svakoj kuli.

3.2. Sportski objekti

Kod sportskih objekata čelik je kao materijal za noseću konstrukciju veoma zastupljen. U ovu grupu spadaju sportske dvorane i krovovi stadiona. Juna 1996. godine Ajax je izgradio novi stadion nazvan Amsterdamska arena (slika 7). Konstrukcija stadiona jedinstvena je u Evropi zato što je ovo prvi stadion sa potpuno uvlačivim pokretnim krovom. Stadion je koštao 134.000.000 US \$. Stadion ima 52.000 sedišta koja sva imaju izvanredan pregled terena. Dimenzije objekta su impozantne, dugačak je 235 m, širok 165 m, a visok 85 m. Uvlačeći pokretni krov se sastoji od dva panela, svaki dimenzija 40 x 120 m. Ukupna površina krova iznosi 38.000 m². Glavna noseća konstrukcija

Slika 6. Petronas Towers – Kuala Lumpur (Malezija)

krova sastoji se od dva poprečno postavljena lučna rešetkasta nosača i sekundarnih rešetkastih nosača. Ispod stadiona prolazi autoput, a sam teren je 7 m iznad nivoa mora.

Svaki veliki sportski događaj omogućava zemlji domaćinu da na izgrađenim objektima pokaže nivo

Slika 8. Stadion Stad de Frans

svog građevinarstva. Pri održavanju svetskog šampionata u fudbalu u Italiji, Organizacioni komitet propisao je jedinstvene uslove koji stadioni moraju da ispune, kao što su sedišta za svakog gledaoca, pokrivene tribine i otkriven centralni teren. Krovovi za pokrivanje tribina ovih stadiona predstavljaju interesantna konstruktivna rešenja među kojima se izdvajaju dva: krov stadiona San Siro u Milanu i Olimpijskog stadiona u Rimu. Za Svetsko prvenstvo '98 u Francuskoj takođe su izgrađeni novi ili rekonstruisani postojeći stadioni. Među 10 stadiona na kojima će se odigravati utakmicem po svome rešenju izdvaja se stadion Stad de Frans u Parizu za 80.000 gledalaca. Krovna konstrukcija je viseća, ukupne težine 13.000 t (slika 8).

3.3. Mostovi

Prošlo je nešto više od 200 godina od izgradnje prvog metalnog mosta na svetu. Od tada do danas izuzetno intenzivno se razvijao metod proračuna i tehnologije izvođenja, uz istovremenu primenu sve savremenijih statičkih i konstrukcijskih sistema kao i novih materijala. Poslednjih decenija evidentan je sve veći broj čeličnih mostova u odnosu na armiranobetonске. Na ovo je uticalo nekoliko faktora kao što su:

- smanjenje troškova izrade automatizacijom proizvodnje;
- stabilizacija cena čelika zbog otvaranja novih proizvodnih kapaciteta;
- korišćenje moćnih kranova za podizanje većih delova sastavljenih na predmontaži, čime se smanjuje broj privremenih oslonaca;
- korišćenje spregnutih konstrukcija čime se potpuno iskorišćavaju svojstva materijala uz znatnu uštedu;
- upotreba oplata koja ostaje ugrađena u konstrukciji i montažnih armiranobetonских ploča, što omogućava brži tempo montaže;
- poboljšanje sistema zaštite od korozije trajnijim premazima;
- korišćenje novih postupaka zavarivanja u radionici;
- upotrebe zavarivanja i visokovrednih zavrtneva na montaži;
- projektovanje i proizvodnja u radionici uz pomoć računara.

U savremenu mostogradnju je uveden, nakon opsežnih eksperimentalnih istraživanja, novi tip spojnog

sredstva – injektirani zavrtnjevi. To su zavrtnjevi kod kojih je zazor između tela zavrtnja i rupe u spojnim elementima ispunjen dvokomponentnom smolom. Injektiranje smolom vrši se kroz mali otvor na glavi zavrtnja. Usled ispunjenosti zazora rupe smolom eliminisano je bilo kakvo proklizavanje veze.

Mostovi, bez sumnje, predstavljaju najveće dostignuće modernog graditeljstva, a posebno mesto svakako pripada metalnim mostovima koji drže sve rekorde u pogledu raspona, visine stubova i pilona, širine kolovozne table itd.

Trenutno se privode kraju radovi na visećem čeličnom mostu Akashi–Kaikyo (slika 9) koji će po završetku montaže, oktobra 1998. godine, i zvanično postati most sa najvećim rasponom na svetu.



Slika 9. Izgled mosta Akashi–Kaikyo

Ovaj savremeni drumski most je predviđen za šest traka autoputa i spajaće japanski grad Kobe sa ostrvom Anjai. Veoma frekventan prekookeanski saobraćaj koji se odvija preko ovog vodenog puta (1400 brodova dnevno) zahtevao je širinu slobodnog plovnog profila od čak 1500 m. Stoga je usvojen raspon srednjeg, glavnog otvora od 1990m. Konstrukcija mosta je tipična za viseće mostove: ukupan raspon (3910 m) je podeljen na tri otvora (960 + 1990 + 960), a glavni noseći kabl se prevlači preko čeličnih pilona koji se nalaze na srednjim stubovima i ankeruje u ankerkim blokovima na oporcima. Rekordan raspon uslovio je i rekordnu visinu pilona (297,2 m) koji su za oko 100 m viši od pilona postojećih mostova. Kolovozna tabla je širine 35,5 m, a visine 14,0 m. Treba istaći da je pored odgovarajućih saobraćajnih opterećenja karakterističnih sa drumske mostove, ovaj most predviđen za dejstvo vetra osnovne brzine 78m/s i zemljotres magnitude 8.5 stepeni Rihterove skale. S obzirom da je brzina odvajanja vrtloga (6,7 m/s) manja od projektne brzine vetra, problemi aerodinamične stabilnosti ekstremno visokih stubova, koji imaju nisku frekvenciju oscilovanja, rešeni su postavljanjem prigušivača unutar pilona. Najveći deo konstrukcije je izrađen od čelika, sa granicom razvlačenja od 570 MPa i maksimalnom debljinom limova od 50 mm. Izrada ovakog objekta zahteva i veliku preciznost tokom izrade i montaže, što se najbolje može ilustrovati činjenicom da je očekivano odstupanje vrha pilona od vertikale 5 mm, odnosno zakrivljenje od 1/60000.

Bez obzira na "već viđenu" koncepciju konstrukcije mosta, ovaj most zbog enormnih raspona i optere-

ćenja svakako uliva strahopoštovanje. Sa ukupnom dužinom od 3910 m, pilonima od 297,2 m i ukupnom težinom čelične konstrukcije od 96.200 t, ovaj most predstavlja impozantan objekat koji će ući u sve moderne udžbenike, kao značajan zalog današnjih nemara.

Spregnuti mostovi se mnogo primenjuju pri premošćavanju prepreka srednjih raspona. Najznačajnije prednosti spregnutih mostova su što se oba materijala (čelik i beton) koriste na najbolji mogući način, što betonska kolovozna ploča štiti čelik od korozije, smanjuje temperaturne uticaje i nivo buke, a što se koriste i kao balast koji poboljšava dinamičke karakteristike, odnosno redukuje vibracije mosta. Osim toga, primenom betonske kolovozne ploče otpada potreba za velikim brojem sekundarnih čeličnih elemenata, kao što su podužni nosači, spregovi za kočenje i bočne udare kao i spreg za vetar u nivou kolovoza. Ako se tome doda da su osnovni problemi kod spregnutih mostova zatezanje betona u zoni srednjih oslonaca i zamor sredstava za sprezanje, pokriveni teorijskim i eksperimentalnim istraživanjima, onda je jasno zbog čega je došlo do ekspanzije mostova ovog tipa. Imajući u vidu navedene prednosti, a posebno manju osetljivost na dinamičke uticaje, spregnuti mostovi se u poslednje vreme veoma često koriste i za brze pruge. Tako je u Nemačkoj u poslednjih par godina izgrađen veći broj spregnutih mostova za brze pruge. Osim klasične dinamičke analize kojom bi se potvrdilo da maksimalan napon usled dinamičkih efekata nije iznad propisanih vrednosti, kod brzih pruga je potrebno pokazati i da ne dolazi do vibracija koje će dovesti do "odlepljivanja" točka od šine. Mada se već pouzdano može reći da brzinama od 350 km/h odgovara frekvencija od 5 do 20 Hz, fenomeni rezonancije i drugi dinamički efekti zahtevaju posebne dinamičke analize pri projektovanju svakog novog mosta.

Kao posebno interesantan primer primene spregnutih mostova za brze pruge izdvaja se most preko Rajne u Nantenbah–u. Most preko Rajne u Nantenbahu (slika 10) je trenutno rekorder u pogledu raspona u kategoriji mostova za brze pruge. Statički sistem ovog mosta je kontinualan nosač na tri polja, raspona 83,2 + 208 + 83,2 m. Glavni nosači su dva paralelno postavljena čelična rešetkasta nosača promenljive visine (od 8,5 do 16,5 m), koji su čitavom dužinom mosta spregnuti sa betonskom pločom na gornjem pojasu, a u zonama negativnog momenta na srednjim osloncima i sa betonskom pločom na donjem pojasu. Na ovaj način, dvostrukim sprezanjem, postignuta je znatno veća krutost konstrukcije, što predstavlja dominantan zahtev kod ovakvih mostova, a velika sila pritiska u oslonačkoj zoni je "umirena" betonom što je znatno jeftinije rešenje.

Pešački most preko Bridgwater kanala u Manchesteru se nalazi u okruženju 15 starih (postojećih) mostova i simbol je inženjerskih dostignuća dvadesetog veka (slika 11). Ova po svemu moderna i pomalo neuobičajena konstrukcija primer je novih mogućnosti u projektovanju i izvođenju čeličnih konstrukcija. Naime, analiza ovako složene prostorne, lučne konstrukcije je gotovo nezamisliva bez primene računara, a i izrada zahteva posebnu tehnologiju za savijanje šu-

Slika 10. Most preko Rajne u Nantenbahu

Slika 11. Pešački most Merchats u Mančesteru

pljih kružnih profila prečnika 500 mm. Raspon mosta je 65 m od čega je 38,2 m glavni, srednji otvor. Zbog potreba pešačkog saobraćaja most je u krivini, a zbog slobodnog plovnog profila bilo je potrebno da se ostvari minimalna građevinska visina (visina kolovozne konstrukcije je samo 400 mm). Kao što se vidi na slici centralni luk je postavljen samo sa jedne strane i nagnut je pod uglom od 62° u odnosu na horizontalu kako bi uravnotežio kolovoznu konstrukciju koja je konzolno vezana sa suprotne strane nosača. Na ovaj način su izbalansirani torzioni uticaji u i podužnom nosaču. Vešaljke sprečavaju bočno izvijanje luka i ujedno prihvataju uticaje sa poprečnih konzolnih nosača kolovoza.

4. OSTVARENJA NAŠIH KONSTRUKTERA U ZEMLJI I INOSTRANSTVU

Po završetku Drugog svetskog rata najveći deo aktivnosti naših konstruktera usresređen je na obnovu porušenih i oštećenih mostova, da bi se što pre uspostavio normalan saobraćaj. Ovo vreme karakteriše oskudica čeličnog materijala, pa se do maksimuma koristio materijal od porušenih objekata, što se moglo ostvariti samo zahvaljujući tome što su ovi mostovi bili izgrađeni od čelika. Čelični materijal mostova, koji, zbog svoje prirode i osobenosti, nisu mogli da budu obnovljeni u istom sistemu, iskorišćen je za izradu novih mostova, pa je tako materijal od srušenog visećeg mosta preko reke Save u Beogradu iskorišćen za izradu dva nova mosta – preko reke Ibar u Kraljevu i preko reke Ribnice pored Kraljeva. To su, u isto vreme, bili i prvi mostovi sistema spregnute konstrukcije u našoj zemlji. Iz ovog perioda treba izdvojiti nekoliko velikih mostova kao što su: prva obnova mosta preko Dunava na potezu Beograd – Pančevo, obnova mosta preko Dunava kod Bogojeva i novi most preko Save kod Ostružnice.

Obnovom ratom porušenih postrojenja crne metalurgije dolazi se do čeličnog materijala garantovanog kvaliteta, pristižu visokostručni kadrovi sa fakulteta koji se usavršavaju uz korišćenje stečenog iskustva i znanja, kako iz zemlje, tako i iz inostranstva, kupuje se savremena oprema i mehanizacija, razvija metalopredivačka industrija u zemlji, pa se sve to vidno odražava na izgradnju velikog broja savremenih nosećih čeličnih konstrukcija u građevinarstvu. Zakovane konstrukcije sve više ustupaju mesto zavarenim, iz čega proističu novi konstruktivni sistemi. Istovreme-

no se primenjuju i visokovredni prednapregnuti zavrtnevi, sa kojima su prevaziđene početne teškoće.

I pored velike krize u zemlji poslednjih godina, koja se najviše odrazila na investicije u građevinarstvu, ipak je izveden veći broj objekata koji zaslužuju pažnju. Ovde će biti prikazani samo neki od njih.

4.1. Industrijske hale i zgrade

Niz velikih, funkcionalno i konstruktorski uspešno izvedenih objekata u velikim industrijskim i energetskim postrojenjima svedoči o visokom nivou projektovanja i izgradnje ove vrste čeličnih konstrukcija. Među mnogima ovde će biti pomenute hale i objekti RHR Trepča, RTB Bor, MKS Smederevo, Aluminijski kombinat Podgorica, Železare Nikšić i Skoplje, "Zorka" – Šabac, HIP Pančevo, REIK Kolutara i veliki broj industrijskih hala u inostranstvu pogotovo u Libiji, Iraku i Rusiji.

Jedna od najvećih industrijskih hala u Jugoslaviji je objekat hladne valjaonice "Sartid"–a iz Smedereva korisne površine 104.241 m² (slika 12). Objekat je realizovan u dve faze. Hala je širine 3 x 24,0 m + 5 x 30,0 m = 222,0 m, a dužine 29 x 18,0 m = 522,0 m, a opslužuju je 37 mostnih dizalica od 20 do 80 t. Noseća konstrukcija se sastoji od punih limenih stubova uklještenih u temelje, rešetkastih krovnih nosača, kranskih staza sistema kontinualnih nosača, oslonačkih konstrukcija, "R" rožnjača i spregova. Glavni projektant noseće konstrukcije prve faze je bio Kamenko Jovičić, dipl. inž. građ., a druge Milan Relić, dipl. inž. građ.

Slika 13. Visokoregalno skladište "Zorka", Šabac

Veliki broj industrijskih hala i skladišta je realizovan u inostranstvu među kojima se ističu: hale u luci Misurata (Libija), fabrika računarske opreme u Jerevanu (Jermenija), hale drvnog i metalnog kompleksa Zapadnosibirskog metalurškog kombinata u Novokuznjecku (Rusija), itd.

U okviru luke Misurata izvedeno je devet hala ukupne površine 80.000 m². Pet hala su dimenzija 50,0 x 150,0 m (slika 14), dve 50,0 x 150,0 m i po jedna dimenzija 41,0 x 50,0 m i 41,0 x 78,0 m. Svi objekti su okvirnog sistema sa vutama. Projektovanje je izvršeno prema BS propisima i teoriji plastičnosti čime je dobijena izuzetno racionalna konstrukcija. Radove na projektovanju, izradi i montaži čelične konstrukcije, kao i na oblaganju izvršila je "Goša" iz Smederevske Palanke. Glavni projektant je bio Dragoslav Tošić, dipl. inž. građ.

Slika 12. Hala hladne valjaonice u Smederevu

Visokoregalno skladište "Zorka" – Šabac, koncipirano je kao samonoseće, tj. konstrukcija visokoregalnog skladišta je takva da regali primaju korisno opterećenje od paleta, tehnološke opreme, krovne i fasadne konstrukcije, snega i vetra. Objekat se sastoji od visokoregalnog skladišta i aneksa. Objekat visokoregalnog skladišta je dužine 48,0 m, širine 26,4 m i visine 23,0 m. Projektant je Milun Mišković, a izvođač "Filip Kljajić" – Kragujevac. Izgled objekta u fazi izgradnje prikazan je na slici 13.

Slika 14. Hala Transit Shed u luci Misurata (Libija)

Primena čelika u zgradarstvu u našoj zemlji javlja se u većoj meri tek u poslednjoj deceniji, bilo sa čisto čeličnom bilo sa spregnutom čelik–beton nosećom konstrukcijom. Ušteda u korisnom prostoru, prefabrikacija, brza montaža suvim postupkom, smanjenje sopstvene težine i ukupnog koštanja su faktori koji će doprineti daljoj promociji ovakvih zgrada kod nas. Prva zgrada sa nosećom čeličnom konstrukcijom u Srbiji je 11–to spratna poslovna zgrada "Projmetala" u Beogradu, površine osnove 415 m² za koju je utrošeno 17,4 kg/m³ čelika. Kao primer savremenih spratnih zgrada od čelika mogu se izdvojiti: tri poslovne zgrade u Sremskoj ulici u Beogradu (projektant prof. Gojko Nenadić, dipl. inž. građ.), poslovna zgrada Minel ENIM-a u Beogradu (projektant prof. dr Dragan Budevaca, dipl. inž. građ.) i poslovna zgrada "Jugodrava" u Beogradu (projektant Ćupurdija, dipl. inž. građ.). Zgrada "Jugodrava" je izvedena kao oveseni sistem tako što rešetkasti krovni vezači opterećenje sa vešaljki prenose na okvire (slika 15).

Slika 15. Poslovna zgrada "Jugodrava" u Beogradu

Na lokaciji sportskog kluba OKK Beograd izgrađena je sportsko–poslovna zgrada ukupne površine 14.000 m² (slika 16). Ukupna dužina objekta je $8 \times 6,0 + 4,8 = 52,80$ m i širine $2,3 + 3,8 - 0 + 5 \times 7,6 + 4,4 = 54,5$ m. Objekat se sastoji od podruma i 7 etaža. U centralnom delu drugog sprata kroz tri etaže između osovina 2 – 8 i osa C – D i G izvedena je sportska dvorana za košarku dužine 36 m, širine 26,9 m i visine 9,0 m sa tribinama za 1000 gledalaca. Krovna konstrukcija iznad dvorane urađena je kao roštiljna od čeličnih linijskih rešetkastih nosača. Konstrukcija zgrade na poslovnom delu je skeletna, a prijem horizontalnih sila ostvaren je armiranobetonskim stepenišnim i liftovskim jezgrima. Meduspratne konstrukcije i stubovi izvedeni su kao spregnuti čime je uz nosivost obezbeđena i adekvatna vatrootpornost. Projektant je Vidan Matić, a izvođač "Invest Eksport".

Objekat javne garaže u Užicu sastoji se od dve konstruktivno nezavisne celine garaže i aneksa međusobno odvojenih dilatacijom. Osnovni sistem noseće konstrukcije garaže proizašao je iz funkcionalnog rešenja saobraćaja, geomehaničkih uslova fundiranja i

Slika 16. Sportsko–poslovni objekat OKK "Beograd"

arhitektonskog rešenja. Noseća konstrukcija garaže je izvedena od spregnutih međuspratnih konstrukcija i stubova. Spregnuta međuspratna konstrukcija raspoređena 15,0 m (13,0 m) izvedena je od polumontažnih "Omnia" ploča i čeličnih limnih nosača. Sprezanje je ostvareno preko krutih moždanika i armaturnih petlji. Osnovni usvojeni rasteri stubova u podužnom smislu iznose 5,0 m, a u poprečnom 15,0 m, odnosno 13,0 m. Obezbeđenje prostorne krutosti objekta ostvareno je vertikalnim spregovima i ukrućenjima. Projektant objekta je Dragan Nikolić, a izvođač "Jedinstvo – Metalogradnja" – Užice. Izveden objekat je prikazan na slici 17.

Na prostoru ispred zgrade NIS Jugopetrola izvedena je benzinska stanica sa prodajnim, kancelarij-

Slika 17. Javna garaža u Užicu

Slika 18. Benzinska stanica "Dejton"

skim i magacinskim prostorom (slika 18). Preko prodajnog dela prelaze glavni kosi nosači koji se dalje talasasto nastavljaju kao nosači nadstrešnice formirani od dva U profila okrenuti jedan prema drugom leđima na rastojanju od 150 mm i povezani sa dva paralelna lima. Na donji pojas ovih nosača oslanjaju se rešetkaste tropojasne rožnjače na koje su preko distancera postavljeni nosači krovnog pokrivača – "LEXAN"-a. Na najnižim tačkama talasastog nosača postavljeni su kružni stubovi. Projektant je Vidan Matić, a izvođač "Zavarivač" – Vranje.

4.2. Sportski objekti

Sportski objekti, kao što su hale i krovovi stadiona predstavljaju pravi izazov za svakog konstruktera, pa u ovoj oblasti postoji veliki broj izuzetnih ostvarenja kao što su sportske dvorane u Beogradu ("Pionir" i "Ledena dvorana"), Novom Sadu ("Vojvodina"), Leskovcu, bazeni u Beogradu i Bečeju, krovna konstrukcija stadiona "Crvena zvezde" u Beogradu i mnogi drugi. U okviru ovog rada biće predstavljeni samo neki od njih.

Objekat sportske dvorane u Tuzli (slika 19), korisne površine oko 16.000 m², ima veliku univerzalnu dvoranu za 6.000 gledalaca, malu dvoranu za 800 gle-

Slika 20. Čelična konstrukcija sportske dvorane u Smederevskoj Palanci

dalaca, izložbeni prostor i dve sale za trening. Krovna konstrukcija je jedinstvena izvedena kao prostorna u sistemu "MERO" raspona 53,0 m x 91,0 m. Prostorna rešetkasta konstrukcija je pločasta sistemne visine 2215 mm u rasteru 3133 x 3133 mm. Glavni projektant je bio Slobodan Cvetković, dipl. inž. građ.

Trgovačko sportski centar u Smederevskoj Palanci je izveden kao čelična hala sa aneksima dimenzija 65,0 x 70,0 m (slika 20). Glavni stubovi hale su spregnuti ispunjeni betonom. Glavni krovni vezači iznad sportske dvorane su prostorni rešetkasti nosači sa zategom raspona 65,0 m. Veza između glavnih stubova i krovnih vezača je zglobna. Izvođač čelične konstrukcije je "Goša" – Smederevska Palanka.

Od sportskih objekata izvedenih u inostranstvu posebno se izdvajaju sportski kompleks u Permu (Rusija) i krovna konstrukcija stadiona Shah Alam u Selangoru (Malezija). Krovna konstrukcija površine 34.386 m² sastavljena je iz dve identične površine oblika presečenog kružnog cilindra radijusa 284,1 m. Prostorna krovna konstrukcija konstantne visine 3,0 m i rastera 3,8 x 3,6 m dimenzija prepusta od 69,0 m u

Slika 19. Sportska dvorana u Tuzli

Slika 21. Stadion Shah Alam u Maleziji

sredini i dužine od 283,79 m na mestu slobodne ivice je najveća konstrukcija tog tipa na svetu (slika 21). Prostorna konstrukcija je izvedena od cevi sa čvorovima od monolitnih čeličnih kugli sistema "UNISTRUT". Oslanjanje krovne konstrukcije je izvršeno na 32 mesta po obodu. Glavni izvođač radova je bio "Energoprojekt" – Beograd.

4.3. Mostovi

Na raspisanoj međunarodnoj licitaciji 1952. godine za izgradnju novog mosta preko Save, na mestu prethodno srušenog visećeg mosta, sa istim rasponima, 75,0 + 261,0 + 75,0 m, usvojen je projekt firme "MAN" (slika 22). Sistem kontinualne grede sa zadatim rasponima i kolovoznom ortotropnom pločom bio je jedinstven u to vreme u svetu, pa je mnogo godina bio most sa najvećim rasponom u svetu u svojoj kategoriji. Firma "MAN", pored tehničke dokumentacije za glavnu konstrukciju, izradila je u fabrikama i zatvorenu ortotropnu ploču, dok je našim stručnjacima poverena izrada delova glavne konstrukcije mosta i

Slika 22. Most preko Save u Brankovoj ulici u Beogradu

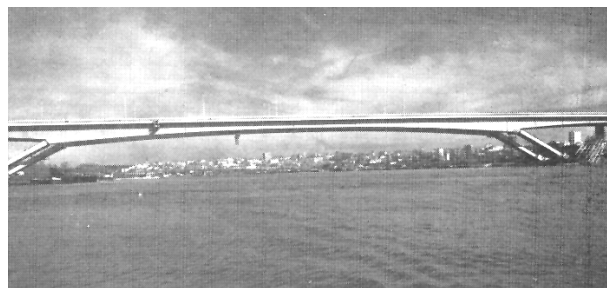
celokupne montaže, koja je izvršena sistemom slobodne montaže. Uspešno obavljen posao 1956. godine značio je sticanje velikog iskustva i potvrde osposobljenosti naše operative za izgradnju ovako značajnih objekata. Porastom obima saobraćaja ukazala se potreba za proširenjem kapaciteta mosta, što je učinjeno od 1974. do 1976. godine, postavljanjem nove konstrukcije na stubove starog mosta, neposredno uz izgrađenu mostovsku konstrukciju, čime je dobijen veći saobraćajni profil. Tehnička dokumentacija mosta, tehnologija građenja i samo izvođenje, delo je naših stručnjaka, koji su tom prilikom dali svoj doprinos unapređenju tehnologije građenja u oblasti mostogradnje. Glavni projektant mosta bio je inž. D. Dragojević. Konstrukcija mosta montirana je 3,5 m nizvodno, pored stare konstrukcije, i nakon završene montaže, prevučena u svoj definitivni položaj. Specifičnost ovog poduhvata je u činjenici da su krajnje reakcije u svim fazama opterećenja negativne.

Na međunarodnoj licitaciji za izgradnju novog "Pančevačkog mosta" na istoj lokaciji, sa većim kapacitetom, usvojena je varijanta naših stručnjaka, koja je

koncipirana kao kontinualna rešetka na pet polja, raspona 5 x 161,0 m, sa paralelnim pojasnim štapovima i dijagonalnom ispunom. Glavni projektanti mosta su bili inž. L. Colja i prof. Lj. Jevtović. Konstrukcija mosta primala je novi sadržaj od dva železnička koloseka postavljenih unutar rešetkastih glavnih nosača, a na obostrano postavljenim konzolama postavljena su dva kolovoza za drumski saobraćaj, širine po 7,0 m, i pešačke staze od 1,5 m. Most je računat kao prostorni sistem, uzimanjem u obzir saradnje kolovoznih nosača sa štapovima donjeg pojasa, i saradnje horizontalnih spregova sa glavnim nosačima pri nesimetričnom položaju opterećenja. Izgradnja mosta tehnološki je zamišljena tako da se izvođenjem bitno ne ometa saobraćaj, tako što se nova konstrukcija mosta privremeno postavlja 7,35 m nizvodno, na proširene glavne stubove. Završetkom montaže glavne konstrukcije mosta bez konzola, 1961. godine, stvorili su se uslovi da se saobraćaj prebaci sa starog, privremenog mosta, na novi i to za jedan železnički kolosek i drumsku traku širine 2,8 m. Tokom 1961. godine i polovinom 1962. godine demontirana je stara konstrukcija i uklonjeni pomoćni međuoslonci. Prevlačenjem cele konstrukcije mosta, dužine 800,0 m i težine 8000 t, u projektovanu osu mosta, koje je trajalo samo dva dana, pristupilo se završetku mosta, postavljanjem drumskih saobraćajnica na konzole. Završetak svih radova i puštanje mosta u saobraćaj bilo je tokom 1964. godine.

Izgradnjom autoputa kroz Beograd, prelaz preko reke Save ostvaren je impozantnim rešenjem mostovske konstrukcije, koja, u jednom skoku "preskače" Savu, asocirajući svojim vitkim kosim "nogama" na gazelu u skoku, pa i dalje nosi popularno ime "Gazela" (slika 23). Autor konstrukcije je ak. prof. dr Milan Đurić. Autoputski profil, širine 2 x 10,5 m, sa 2 pešačke staze širine 3 m prelazi preko mosta sistemom kosog podupirala raspona 41,65 + 249,92 + 40,30 m i dve proste grede raspona 66,80 m. Ovaj most spada u originalna rešenja, kako po svojoj konstrukciji, tako i po svojim estetskim dometima.

Kao što je već rečeno, primena spregnutih sistema u mostogradnji, vezana je za izgradnju mosta preko Ibra u Kraljevu. Posle toga izgrađen je veliki broj mostova ovoga sistema, kako malih, tako i velikih raspona. Glavni nosači sistema kontinualnog nosača zahtevali su prednaprezanje u zoni negativnih momenata, tako da je najveći broj mostova izgrađen u spregnuto – prednapregnutom sistemu. Iz ove grupe treba



Slika 23. Most "Gazela" u Beogradu

spomenuti most preko Save kod Orašja (projektant akademik prof. dr Nikola Hajdin) zbog njegovog velikog srednjeg raspona od 134,0 m. Osim toga, na ovom mostu izvršeno je sprezanje betona i čelika postavljanjem betonske ploče i u ravan donjeg pojasa u zoni srednjih oslonaca.

Jačanjem ekonomske moći i naglim razvojem saobraćaja gradi se veliki broj, kako drumskih, tako i železničkih mostova, širom zemlje. Na pruzi Beograd – Bar izgrađeno je mnogo mostova različitih sistema, a većina od njih je imala neku osobenost. Na ovoj pruzi najznačajnije mesto pripada mostu preko kanjona Mala Rijeka (projektant prof. Lj. Jevtović), koji se nalazi na oko 200 m iznad rečnog korita. Kanjon je premošćen rešetkastom konstrukcijom sistema kontinualnog nosača sa pet otvora, sa srednjim otvorom od 150,0 m i ukupnom dužinom 498,0 m. S obzirom na veliku visinu i konfiguraciju terena, kao i izuzetno jake vetrove, trebalo je optimalno rešiti probleme u vezi sa uticajem vetra, kako na konstrukciju mosta, tako i na vozila – vagone na samom mostu. Na trasi ove pruge nalazi se još jedan izuzetno interesantan most zvani "Kosorski Žljeb" (projektant prof. Lj. Jevtović). Cela dolina premošćena je čeličnim lukom raspona 70,0 m, koji nosi gredu dužine 87,5 m. Ovo je jedini železnički lučni most u Jugoslaviji.

Pri nabranjanju značajnih ostvarenja u mostogradnji mora se navesti i izgradnja mosta preko reke Tise između Kanjiže i Kneževca (projektant prof. Lj. Jevtović). Most je viseći, sa glavnim rasponom od 154,6 m, namenjen za drumski saobraćaj, sa kolovozom širine 7,0 m.

Drumski most "Mratinje" kod HE Piva sistema kontinualnog nosača raspona 100,0 + 180,0 + 100,0 m sa ortotropnom kolovoznom pločom izveden je od strane "GOŠE" u zavarenoj izradi sa montažnim nastavcima ostvarenim zavarivanjem i visokovrednim zavrtnjevima (projektanti inž. M. Popadić i B. Midić, a konsultant je bio prof. dr B. Zarić). Ovaj most je zbog dobro koncipirane konstrukcije, izuzetno smele montaže u teškim terenskim uslovima – montaža sa tri polazne tačke na visini do 112,0 m iznad tla (slika 25), kao i zbog uspešnog estetskog uklapanja u okolinu dobio 1977. godine nagradu European Convention for Construction Steelwork kao jedna od najbolje izvedenih čeličnih konstrukcija u Evropi.

Slika 25. Drumski most "Mratinje" kod HE "Piva" u fazi montaže

Veoma značajan poduhvat je izgradnja železničkog mosta sa kosim kablovima u Beogradu preko Save (slika 26) za potrebe Beogradskog železničkog čvora

Slika 24. Most preko Neretve kod Jablanice

Istovremeno, u ovo doba gradi se i pruga Sarajevo – Ploče, na kojoj, kao najinteresantnije rešenje treba navesti most preko reke Neretve kod Jablanice (slika 24), čiji je glavni otvor ramovske konstrukcije sa kosim i razmaknutim nogama i rasponom od 100,0 m, ukupne dužine 300,0 m (projektant inž. B. Zarić).

Takoreći istovremeno radi se nekoliko velikih drumskih mostova, kao što su mostovi preko Dunava kod Bezdana, Smedereva, Bačke Palanke i Bogojeva, mostovi preko Save kod Šapca i Sremske Mitrovice, kao i most preko Drine kod Loznice.

Slika 26. Železnički most preko Save u Beogradu

Slika 27. Dispozicija konstrukcije preko reke Save

(projektanti ak. prof. dr N. Hajdin i prof. Lj. Jevtović). Statički sistem mosta je kontinualan nosač sa šest polja raspona $53,74 + 85,0 + 50,15 + 253,7 + 50,15 + 65,2 = 557,94$ m pri čemu je srednji otvor raspona 253,7 m prihvaćen sa četiri kose zatege oblikovane od snopa paralelnih žica uvučениh u polietilensku cev sa glavama za ankerovanje zalivene hladnim postupkom. Železnički kolosek postavljen je u tucaničkom zastoru postavljenom preko čelične ortotropne ploče ugrađene između sandučastih glavnih nosača.

Izgradnja mosta trajala je od 1974. do 1979. godine.

Drumski most u Novom Sadu preko Dunava sličnog sistema kao prethodni sa ukupnom dužinom od 1312,0 m, od čega na glavnu mostovsku konstrukciju otpada 591,0 m (projektanti ak. prof. dr Nikola Hajdin i prof. Gojko Nenadić). Rasponi su $2 \times 60,0 + 351,0 + 2 \times 60,0$ m, što je u to vreme bio svetski rekord za mostove ove vrste, sa pilonima i zategama u srednjoj ravni mosta.

Poslednjih desetak godina zbog velike recesije izvedeno je samo nekoliko značajnih ostvarenja u mostogradnji. Ovde će biti opisani samo najznačajniji. Drumski most "Gazivode" preko akumulacije završen je 1989. godine. Most je statičkog sistema rešetkastog luka raspona 219,1 m. Širina mosta je 9,5 m. Ukupna težina čelične konstrukcije je 832 t. Glavni projektant je Slobodan Cvetković, dipl. inž. građ., a izvođač radova je bila "Mostogradnja".

Trasa autoputa – obilaznica oko Beograda – prelazi reku Savu kod Ostružnice nizvodno od postojećeg železničkog mosta. Kako se objekat nalazi u zoni plovnog puta reke to je zahtevan plovni gabarit širine 180,0 m i visine 9,5 m od maksimalne plovne vode. Most se sastoji od čelične konstrukcije preko reke i prethodnonapregnutih prilaznih konstrukcija ukupne

dužine 1789,6 m. Investicionim programom koji je prihvaćen od Evropske investicione banke uslovljeno je da se autoput gradi u dve faze, gde bi u prvoj fazi bila izgrađena polovina saobraćajnog profila, koji omogućava odvijanje dvosmernog saobraćaja. Analizom varijantnih rešenja za konstrukciju iznad reke izabrano je rešenje čeličnog kontinualnog nosača promenljive visine sa rasponima $99,0 + 198,0 + 99,0 + 99,0 + 88,0$, što ukupno iznosi 583,0 m (slika 27).

Glavni nosač mostovske konstrukcije je sandučastog poprečnog preseka, sa dva vertikalna lima na međusobnom rastojanju od 6720 mm i promenljive visine 3500 – 8000 mm. Ukupna širina mosta iznosi 14300 mm (slika 28). Kolovozna tabla je izvedena kao ortotropna ploča sa torziono krutim podužnim rebrima i poprečnim nosačima na razmaku od 2750 mm. Debljina lima kolovozne table je 12 – 18 mm, a podužnih rebara 7 mm. Na svakom drugom poprečnom nosaču unutar sandučastog glavnog nosača nalaze se dijafragme, čime je postignuto da svaki montažni komad ima bar dve dijafragme, pa je na taj način i u fazi montaže očuvana torziona krutost poprečnog preseka mosta.

U zavisnosti od karaktera naprežanja i veličine presečnih sila usvojen je kvalitet čelika za pojedine elemente preseka, Fe 360 i Fe 510. Ukupan utrošak čelika za noseću konstrukciju iznosi 500 kg/m^2 osnove mosta. Za čeličnu konstrukciju iznad reke projektanti su S. Cvetković i D. Dragojević, a izvođač "Mostogradnja" – Beograd. Izvedena konstrukcija mosta prikazana je na slici 29.

Pešački most "Sveti Irinej" premošćuje reku Savu povezujući Mačvansku i Sremsku Mitrovicu (slika 30). Objekat se sastoji od prilazne konstrukcije, sistema proste grede i glavne konstrukcije sistema mosta sa

Slika 28. Poprečni presek mosta – Prva faza

Slika 29. Izgled namontirane čelične konstrukcije iznad reke

Slika 30. Pešački most "Sveti Irinej"

kosim kablovima raspona 35,0 + 192,5 + 35,0 m. Širina mosta je 5,5 m, a u zoni pilona se povećava na 6,5 m. Armiranobetonski piloni su smešteni u srednju ravan mosta. Greda za ukrućenje oslanja se na obalne i pilonske stubove i sastoji se od čeličnog trapezastog sandučastog nosača spregnutog sa armiranobetonskom kolovoznom pločom. Odgovorni projektanti su Gradimir Srećković, dipl. inž. građ. i Dragoljub Isailović, dipl. inž. građ., a generalni izvođač "Mostogradnja" – Beograd.

Most preko Dunava – Ade – Dunavca kod Smedereva za prevođenje cevovoda je još jedan u nizu brilijantnih ostvarenja naših konstruktera i predstavlja najduži most ove namene u Evropi. Konstrukcija za prelaz cevovoda sastoji se od tri mosta. Mostovi A i B su viseći istovetne koncepcije, a most C je rešetkasta kontinualna konstrukcija. Najznačajniji most je onaj koji premošćuje Dunav, srednjeg raspona 479,7 m i ukupne dužine 865,74 m (slika 31). Posebna konstruktorska vredost ovog mosta je korišćenje rešetkastih horizontala na mestu pilona za koje su vezana bočna užad za stabilizaciju. Glavni projektant mostova je bio prof. Zvonimir Pavlović, dipl. inž. građ.

4.4. Specijalne konstrukcije

Zahvaljujući kvalitetnom stručnom kadru na svim nivoima, projektovani su i izvedeni i najkomplikovaniji objekti u čeliku i to ne samo u mostogradnji i zgradarstvu već i u ostalim oblastima građevinskog konstrukterstva, kao što su antenski stubovi visine i do

Slika 31. Viseći most preko Dunava za prevođenje cevovoda

220 m, rezervoari prečnika i do 60 m, silosi, bunker, žičare u našoj zemlji i inostranstvu. Od atraktivnih antenskih stubova treba pomenuti slobodno stojeće cevne stubove Zekova glava – Bjelasica, visine 40,42 m i Štirovnik – Lovćen, visine 48,22 m, kao i stubove sa ankerskim užadima (jarbole) kod Subotice visine 199,8 m i u Belom Manastiru visine 199,99 m i težine 120 t (slika 32). Poprečni presek stuba je jednakostranični trougao dužine strane 3500 mm do kote 173,6 m i 1200 mm od kote 177,5 m do vrha stuba. Konstrukcija stuba je prihvaćena sa četiri nivoa zateznih užadi. Svako uže je prednapregnuto. Glavni projektant stuba je prof. Gojko Nenadić, dipl. inž. građ., a izvođač "Mostogradnja" – Beograd.

Za potrebe izgradnje GSM javne mreže za mobilne telekomunikacije u Republici Srbiji predviđena je izgradnja velikog broja antenskih stubova i nosača antena. Ovde će biti prikazan samo jedan antenski stub – Brankovac. Stub je samostojeći visine 47,0 m izveden kao prostorna rešetkasta konstrukcija. Osnova stuba je kvadratnog preseka promenljivih dimenzija strana po visini, tako da je u podnožju $a = 6,77$ m, a na vrhu se sužava na 2,0 m. Konstrukcija je izvedena od ugona i podeljena je u osam montažnih komada. Projektant je S. Kolundžija, a izvođač "Montena" – Beograd. Izgled izvedenog stuba prikazan je na slici 33.

Na sajmu u Lagosu (Nigerija) izgrađen je čelični stub – vodotoranj i nosač antena visine 56,7 m (slika

Slika 32. Antenski stub u Belom Manastiru

34). Stablo stuba je kružnog poprečnog preseka. Na donjem delu stuba postoje "noge" obložene limom. Dno rezervoara vodotornja nalazi se na koti 35,0 m. Projektant konstrukcije je prof. Gojko Nenadić.

4.5. Prostorne konstrukcije

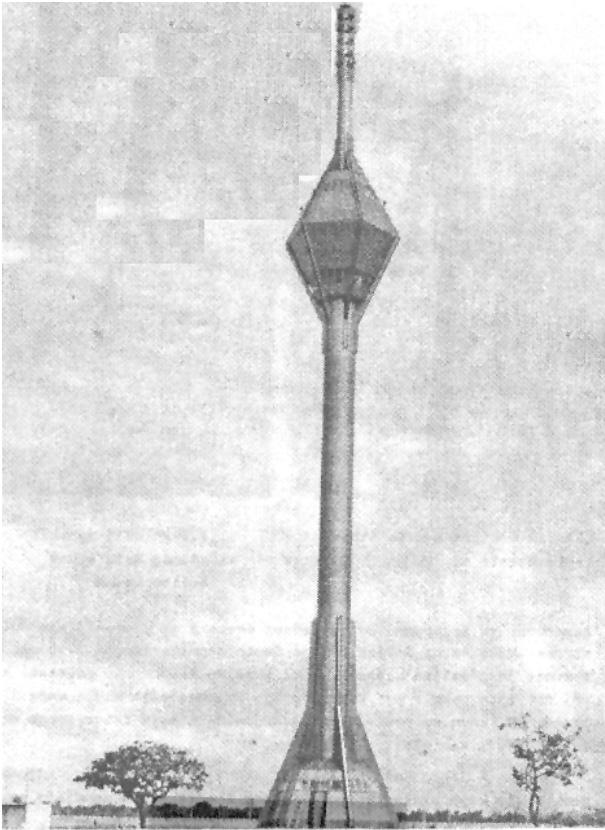
Metal, čelik i aluminijumske legure, posebno su pogodni za prostorne noseće sisteme. Na ovom polju su u poslednje vreme pokazani lepi rezultati i u osvanjanju novih sistema i u realizovanim objektima. Izuzetan primer prostorne rešetkaste krovne konstrukcije čini Poslovno-sportski centar u Tuzli prethodno opisan. Krovna konstrukcija je izvedena u sistemu "MERO". Za sličan sistem pod nazivom "Brus +" firme "14. oktobar" iz Kruševca, za štapove i čvorne kugle izvršena su laboratorijska eksperimentalna istraživanja u IMK Građevinskog fakulteta u Beogradu u cilju verifikacije sistema. Razvijen je takođe i prostorni sistem rešetkastih nosača GOŠA za konstrukcije velikih raspona.

Slika 33. Antenski stub Brankovac

Ovaj sistem je primenjen za paviljon Ekospocentra u Moskvi čija se krovna konstrukcija sastoji iz tri prostorne tetraedarske strukture visine 3,0 m i raspona 72,0 x 78,0 m i 72,0 x 84,0 m oslonjenih po obimu. Prostorna rešetkasta konstrukcija je formirana u dijagonalnom rasteru, 45° u odnosu na obimne zidove. Kompletna konstrukcija je izvedena od 16 vrsti cevi, sa tipskim čvorom kao ključem sistema. Čvor je tako koncipiran da može primiti 12, odnosno 14 štapova različitih pravaca. Glavni projektant je Vladimir Sjekloča, dipl. inž. građ., a izvođač "Goša" – Smederevska Palanka.

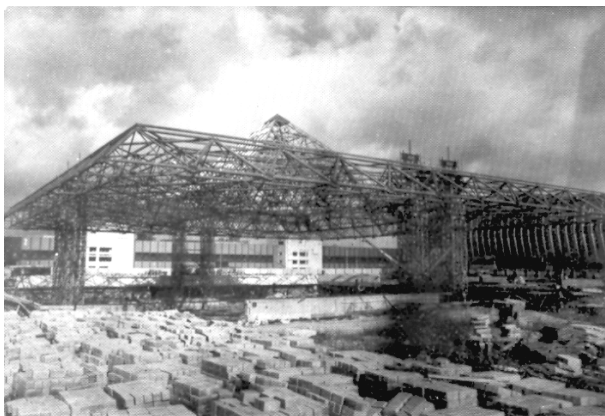
U istom sistemu je izveden i objekat "Forum" u Moskvi. Objekat ima zarubljeno piramidalnu formu krovne konstrukcije kvadratne osnove 90,0 x 90,0 m na visini 6,0 m od poda. Iz središnjeg dela ove forme izranja četvorostrana piramida osnove 27,0 x 27,0 m. Ova piramida sa oslonačkim centralnim kosnicima čini pravilan oktaedar. Kosnici se na visini od 3,5 m od poda susstiču u zajednički oslonac, koji takođe ima oblik piramide. Namontirana čelična konstrukcija je prikazana na slici 35.

Prema principima konstrukcije "Unistrut" – SAD na tržištu Jugoslavije razvijen je sistem "Siting" – Čačak. Korišćenjem ovog sistema izgrađeno je nekoliko zapaženih objekata – benzinskih pumpi NIS "Jugopetrol" – a u Beogradu, Gornjem Milanovcu i Čačku. Osnovni elementi sistema su čvorni limovi i štapovi. Čvorni limovi se formiraju hladnim oblikovanjem –



Slika 34. Čelični stub na Sajmu u Lagosu, Nigerija

presovanjem od lima debljine 6 mm i dimenzija 260 x 250 mm sa odsečenim uglovima. Na čvornim limovima se buše rupe i istiskuju trnovi. Štapovi se izvode od hladno oblikovanih U profila visine 40 mm i širine nožice 30 mm i debljinama 2, 3, 4 i 5 mm. Veze u čvorovima se ostvaruju visokovrednim zavrtnjima M16 sa tačnim naleganjem klase čvrstoće 8.8. Proizvodni program daje standardni raster konstrukcije od 900, 1200 i 1500 m. Originalni američki sistem omogućava izradu samo pločastih formi konstrukcija. Međutim, kako se često javljaju zahtevi arhitekata za lučnim oblicima to je sistem usavršen tako što je dodatnim savijanjem čvornog lima i skraćenjem štapova donjeg pojasa u pravcu krivine luka omogućeno izvođenje i zakrivlje-



Slika 35. Objekat "Forum" u Moskvi u fazi montaže

Slika 36. Benzinska pumpa u Valjevu

nih – lučnih oblika. Primer ovakvog rešenja je benzinska pumpa u Valjevu (projektant V. Matic) prikazana na slici 36.

Ovim prikazom obuhvaćeni su samo neki najznačajniji objekti sa nosećom čeličnom konstrukcijom raznovrsne namene. Sigurno da u velikom broju značajnih ostvarenja ima objekata koji zaslužuju, a nisu ovom prilikom pomenuti, što ni u kom slučaju ne umanjuje njihovu vrednost i značaj za građevinsko konstrukterstvo Srbije. Takođe je uočljiv kontinuitet koji postoji u izgradnji objekata sa nosećom konstrukcijom od čelika, sa nizom ostvarenja koji predstavljaju sam vrh svetskog konstrukterstva, pri čemu su mnogi objekti držali svetske rekorde u svojoj klasi niz godina.

Zbog obilja korišćenog materijala za pisanje ovog rada od preko 100 bibliografskih jedinica nije priložen spisak literature.

LITERATURA

- [1] Evrokod 3 – Deo 1.1 "Opšta pravila i pravila za proračun zgrada", editor D. Buđevac, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd 1995.
- [2] D. Buđevac: Aktualnosti i tendencije u metalnim konstrukcijama. Monografija: Stanje i pravci razvoja građevinske tehnike, Beograd 1993.
- [3] Merchants Bridge, Castlefield, Manchester. New Steel Construction, No 6/1997.
- [4] J. Schlaich, H. Schober: Glass-Covered Grid-Shells. Structural Engineering International, May 1996.
- [5] K. Watanabe: Glass Hall at the Tokyo International Forum. Structural Engineering International, April 1996.
- [6] M. Kawaguchi: Sports Arena, Kadoma, Japan. Structural Engineering International, April 1996.
- [7] R. Saul: Bridges with Double Composite Action. Structural Engineering International, February 1996.
- [8] A.S. Beard: Tsing Ma Bridge, Hong Kong. Structural Engineering International, August 1996.
- [9] M. Yasuda, N. Furuya, K. Hata: Anchorages and Towers of the Akashi-Kaikyo Bridge, Japan. Structural Engineering International, November 1993.
- [10] Innovations in Steel. New Life for Old Buildings around the World. International Iron and Steel Institute 1993.
- [11] Industrial Buildings, Francisco Asensio Cerver, Barcelona 1992.