

# Čelične konstrukcije u visokogradnji

---

**Lučić, Nikla**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:074439>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB**

# **ZAVRŠNI RAD**

Nikla Lučić

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB**

Preddiplomski studij

**ZAVRŠNI RAD**

**Čelične konstrukcije u visokogradnji**

Mentor:

doc. dr. sc. Nikolina Vezilić Strmo

Student:

Nikla Lučić

Zagreb, 2019.

**SAŽETAK**

Tema ovog rada su čelične konstrukcije u visokogradnji, te njihova primjena. Kroz sam rad opisan je čelik kao građevinski materijal, načini dobivanje čelika kroz povijest, vrste čelika te je kroz primjere opisano korištenje tri osnovna sustava kod čeličnih konstrukcija.

Čelik je materijal koji se počeo koristiti davnih dana. Tokom godina su uz određene dodatke npr. kroma u njegovu strukturu poboljšana mehanička svojstva, pa je upravo čelik jedan od najpoznatijih i najprimjenjivanijih materijala današnjice.

U objašnjenima pojedinih vrsta čelika može se vidjeti široka primjena materijala, od kuhinjskog pribora pa sve do brodogradilišta.

<b>1. UVOD</b> .....	<b>5</b>
<b>2. ČELIK KAO MATERIJAL</b> .....	<b>6</b>
2.1. <i>Sastav i vrste čelika</i> .....	6
2.2. <i>Prednosti čelika</i> .....	6
2.3. <i>Mane čelika</i> .....	6
2.4. <i>Mehanička svojstva čelika</i> .....	7
<b>3. DOBIVANJE ČELIKA</b> .....	<b>9</b>
3.1. <i>Proizvodnja čelika</i> .....	9
3.1.1. Bessemer- Birne-ov postupak.....	9
3.1.2. Thomasov postupak.....	10
3.1.3. Siemens- Martins-ov postupak.....	10
3.2. <i>Proizvodnja čeličnih elemenata</i> .....	10
<b>4. POVIJEST I PODJELA ČELIKA</b> .....	<b>12</b>
4.1. <i>Počeci čelika</i> .....	12
4.1.1. Povijest dobivanja čelika .....	12
4.1.2. Primjena čelika u povijesti.....	12
4.1.3. Začeci današnje proizvodnje čelika.....	12
4.2. <i>Vrste i korištenje čelika</i> .....	14
4.2.1. Legirani čelik.....	14
4.2.2. Ugljični čelik.....	14
4.2.3. Alatni čelik.....	15
4.2.4. Nehrdajući čelik.....	16
<b>5. ČELIČNE KONSTRUKCIJE U VISOKOGRADNJI</b> .....	<b>17</b>
5.1. <i>Tipovi čeličnih profila</i> .....	17
5.2. <i>Sustavi čeličnih konstrukcija</i> .....	17
5.2.1. Skeletni okvirni sustavi.....	18
5.2.2. Sustavi na velikim rasponima .....	20
5.2.3. Sustav prostorne jedinice.....	21
5.3. <i>Primjeri čeličnih građevina</i> .....	22
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>33</b>
<b>7. LITERATURA</b> .....	<b>34</b>

## 1. UVOD

Od trenutka kada čovjek postaje svjestan svih prednosti industrijske proizvodnje u svakodnevnom životu upotreba materijala eksponencijalno je rasla s tom spoznajom i uvelike je prestigla iskorištavanje prirodnih materijalnih dobara s kojima smo okruženi. U području građevinarstva iskorištava se poveći dio industrijski proizvedenih dobara i materijala.

Danas moderna gospodarstva iskorištavaju razne sirovine i biopotencijale u proizvodnji energije te se nastoje pronaći neki novi izvori. Kod Zapadnih zemalja je u zadnje vrijeme popularno recikliranje, odnosno oni u što većoj količini nastoje upotrijebiti već korištene materijale, pa se pokušava u ostalim zemljama u kojima je naglašena potreba za proširivanjem i gradnjom potaknuti korištenje prirodnih potencijala.

Kao i nekad, tako i danas, nastoji se svaki izgrađeni objekt iskoristiti na više načina, izgraditi ga da bude što dugotrajniji i otvoriti mogućnosti lake sanacije, bilo to cijele građevine ili nekih njenih dijelova. Jako bitnu ulogu ima materijal od kojeg je objekt sagrađen, vezano za pitanje nosivosti i moguće sanacije.

Čelik je materijal koji je u stanju ponuditi kvalitetno rješenje zbog niza svojih prednosti. Odlikuju ga osobine kao što su mogućnost ponovne upotrebe, dugotrajnost i izdržljivost. Objektu jamči stabilnost, čvrstoću i postojanost.

Suvremeno društvo najčešće koristi čelik kao sastavni dio armiranog betona ili čeličnih nosača. [1]

„Najveći svjetski proizvođači čelika su Kina, Europska unija, Japan, SAD, Indija i Rusija.“ [2]

## 2. ČELIK KAO MATERIJAL

### 2.1. Sastav i vrste čelika

Čelik je slitina ili legura željeza i ugljika i on je danas najbitniji tehnološko-konstruktivski materijal na svijetu. Ugljik je osnovni element koji utječe na kvalitetu i obradljivost čelika te se udio ugljika kreće od 0,05% do 2,06%.

Podjela čelika uglavnom se vrši po kemijskom sastavu i načinu primjene. Razlikujemo sljedeće vrste čelika: **ugljični čelici** (niskougljični, srednjeugljični, visokougljični), **legirani čelici** (manganski, kromovi, krom-molibden, krom nikal), **nehrđajući čelici** (s udjelom od minimalno 10,5% kroma), **alatni čelici** i **specijalni čelici**. [2]

### 2.2. Prednosti čelika

Uspoređujući čelične konstrukcije s ostalima, čelična ima **prednosti** u dizajnu, izgradnji i sveobuhvatnoj ekonomiji u upotrebi.

Ako promatramo običnu armiranobetonsku strukturu, čelična konstrukcija je superiornija u homogenosti, visokoj čvrstoći i dobroj otpornosti na potres. Velika prednost čelika u odnosu na beton jest neograničena mogućnost oblikovanja poprečnih presjeka nosivih elemenata, čime se dobiva maksimalna iskorištenost mehaničkih karakteristika čelika. [3] Čelik za razliku od ostalih materijala može pretrpjeti znatne deformacije prije no što dođe do loma. [4]

Prednosti čelika kao građevinskog materijala su: visoka mehanička otpornost, mehaničke karakteristike se ne mijenjaju u toku vremena, elastičnost, postojanost, duktilnost te žilavost. [5]

### 2.3. Mane čelika

Mane čelika kao građevinskog materijala su: relativno veliki troškovi održavanja, značajni troškovi protupožarne zaštite, problemi izvijanja i ostalih gubitaka stabilnosti i zamor pri cikličnom opterećenju. [5] Kod čelika kao i kod svih metala treba obratiti veliku pozornost na koroziju. [6] „Podložnost koroziji i hrđanje čelika u ovisnosti je o sredini i kemijskom sastavu same legure. Na primjer u pustinji se računa indeks korozije 1, a u morskom priobalju 475. Zaštita od korozije se provodi premazivanjem

antikorozivnim smolama, pocinčavanjem i legiranjem čelika bakrom, niklom i kromom. Cijena specijaliziranih čelika je 40% veća, ali su fizičko-mehanička svojstva znatno bolja. ,, [6]

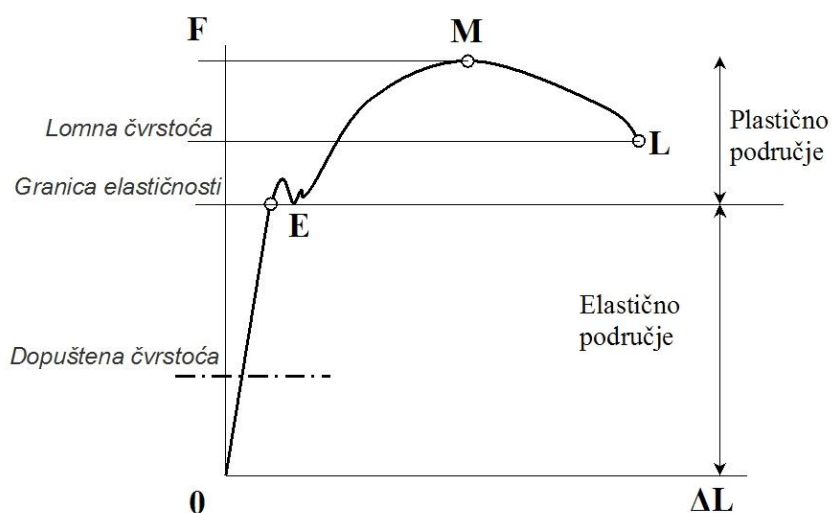
#### 2.4. Mehanička svojstva čelika

Čelik ima dobra mehanička svojstva, kao što je vidljivo i u tablici I.

Naziv	Oznaka	Vrijednost
MODUL ELASTIČNOSTI	$E$	210 000 N/mm <sup>2</sup>
MODUL POSMIKA	$G$	81 000 N/mm <sup>2</sup>
POISSONOV BROJ	$\nu$	0.3
Koeficijent linearnog toplinskog istezanja	$\alpha$	$12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$
GUSTOĆA (zapreminska masa)	$\gamma$	7850 kg/m <sup>3</sup>

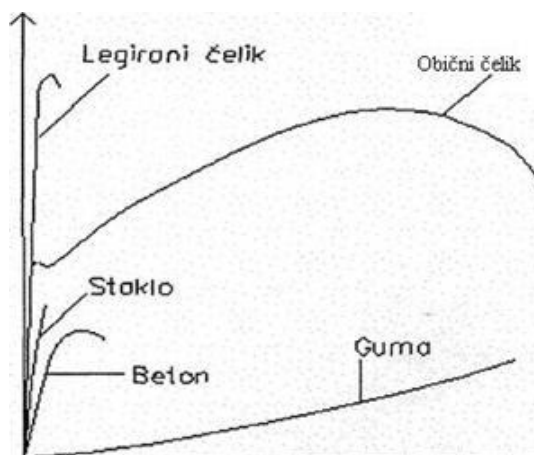
Tablica I., Svojstva građevinskog čelika [7]

Pri manjim opterećenjima do granice proporcionalnosti, vlada Hookeov zakon; postoje **gornja** i **donja** granica razvlačenja, a pri daljnjem naprežanju čelik se u znatnoj mjeri plastično deformira do loma (slika 1.). Čelik dobro podnosi naprežanje prije no što dođe do sloma što je vidljivo i u usporedbi s drugim materijalima (slika 2.). [4]



Slika 1., Radni dijagram čelika [8]



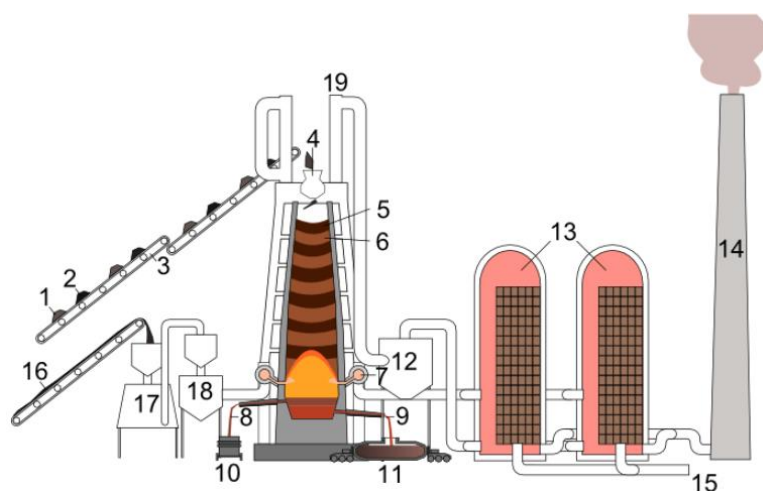


Slika 2., Radni dijagram naprezanja materijala[9]

### 3. DOBIVANJE ČELIKA

#### 3.1. Proizvodnja čelika

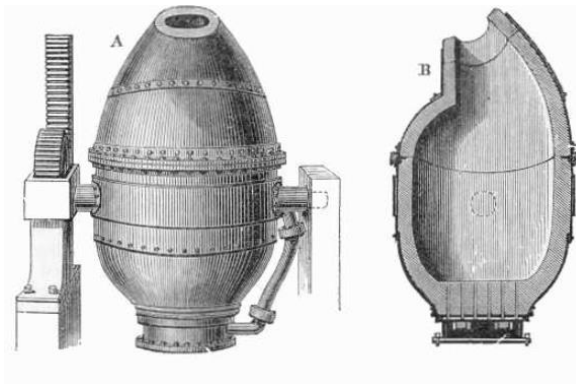
Tri su osnovna koraka u proizvodnji čelika : prvi korak u **visokim pećima** (željezna ruda uz koks i vapnenac pri temperaturi većoj od  $1600^{\circ}$  daju sirovo željezo (3-4% ugljika )+ drozga+ plinovi) (slika 3.), drugi korak u **čeličanicama** (proces redukcije ugljika na 1,7% i deoksidacije (Thomasov, Siemens- Martinov i Bessemer-Birne-ov postupak)) i treći korak u **valjaonicama** (iz ingota se dobivaju konačni profili i limovi). [6]



Slika 3., Visoka peć [10]

#### 3.1.1. Bessemer- Birne-ov postupak

Bessemer- Birne-ov postupak se temelji na pročišćavanju sirovog željeza. To se odvija tako da se dovede zrak pod pritiskom u kiselo ozidanom konverteru. Koriste se ruda iz Švedske jer ovaj postupak zahtijeva sirovo željezo koje je siromašno fosforom. [4]



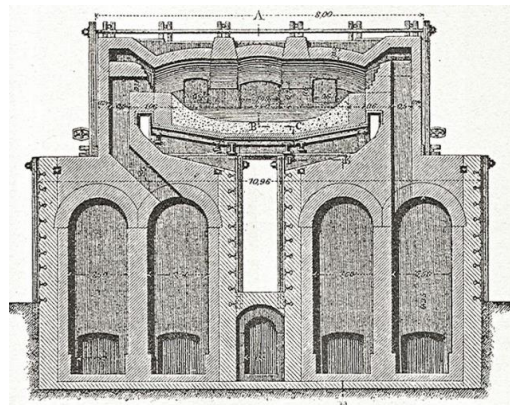
Slika 4., Bessemerovi kiseli konverteri za dobivanja čelika [11]

### 3.1.2. Thomasov postupak

Thomasov postupak je jako sličan postupku Bessemer- Brime. Razlika je u tome što je konverter bazičan, a ne kiseo i što se za troškovni materijal upotrebljava kreč. [4]

### 3.1.3. Siemens- Martin-ov postupak

Siemens-Martinov postupak je način dobivanja čelika pročišćavanjem sirovog željeza. Odvija se u ognjištu pomoću ostatka zraka u plamenu plina i dodatku čeličnog otpada. Ovim postupkom se dobiva troska jako dobre kvalitete. [4] Ima veliku prednost u odnosu na prethodno navedena dva postupka zbog široke mogućnosti primjene.[12]



Slika 5., Siemens-Martinova peć, 1895. [12]

## 3.2. Proizvodnja čeličnih elemenata

Procesi za konačno **oblikovanje** čelika su **valjanje**, **kovanje** i **izvlačenje**.

Kod proizvodnje valjanjem u valjaonicama su ingoti oslobođeni kalupa i zagrijani prolaze između valjaka gdje se gnječe i povećava im se dužina sirovog bloka do

konačnog proizvoda. U vrste valjanja spadaju toplo i hladno oblikovani profili. [6]  
„Naime tradicionalni način proizvodnje čelika lijevanog u kalupe, poboljšan je kontinuiranim lijevanjem uz hlađenje vodom te formiranjem ploča prije očvršćivanja radi valjanja u konačne oblike poprečnih presjeka. Tako se postiže ušteda energije i bolja kontrola kvalitete.“ [6] Ono što čeliku ide u korist je njegova mogućnost valjanja u razne profile, te je lako prilagodljiv u estetskom i funkcionalnom obliku. [6]

## 4. POVIJEST I PODJELA ČELIKA

### 4.1. Počeci čelika

#### 4.1.1. Povijest dobivanja čelika

Proizvodnja čelika započinje u **dalekoj povijesti**. Ni dan danas nije dokazano da li je prvo željezo proizvedeno slučajno kad je još davnih dana pretpovijesni čovjek ložio vatru na podlozi od čiste željezne rude koju je bilo i tada lako reducirati, ili je iskoristio znanja koja je imao vezano za topljenje bakrene rude te je taj postupak pokušao primijeniti na željeznoj rudi. Taj način dobivanja željeza je bio primitivan i prilično jednostavan: u plitkom ognjištu željezna ruda bi se pokrila drvenim ugljenom i ugljen bi se zapalio, pa bi ispod vatre nastala gnjecava i spužvasta željezna masa, tzv. **ingot** (engl. bloom, njem. Luppe). Od ranih početaka pa sve do 14. st., kad su po prvi puta konstruirane visoke peći, dobivao se čelik u plitkom ognjištu ili u jednostavnoj **oknastoj peći**. Koristila se čista ruda, a u slučaju da je ruda sadržavala nečistoće, ispirala se prije topljenja. Kao gorivo se upotrebljavao drveni ugljen koji je istovremeno bio i reducent. [13]

#### 4.1.2. Primjena čelika u povijesti

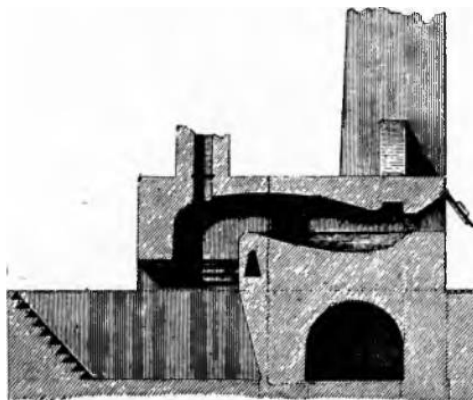
Indijski čelik je bio jako cijenjen i zbog tog su ga u starom vijeku Arapi počeli uvoziti i u Damasku prerađivati u oružje, te je Arabija bila na prvom mjestu u proizvodnji najkvalitetnijih mačeva i sablji kroz cijeli srednji vijek. [13]

“U indijskim grobovima iz 6. st. pronađeno je oružje od čelika, grčki pisac Ktesijas (5.-6. st.) u svom opisu Indije spominje čelične mačeve; Aleksandar Veliki je u Indiji kao dragocjen poklon dobio grudu čelika tešku 15 kg, itd.“ [13]

U starom Japanu su se od čelika izrađivali samurajski mačevi. [13]

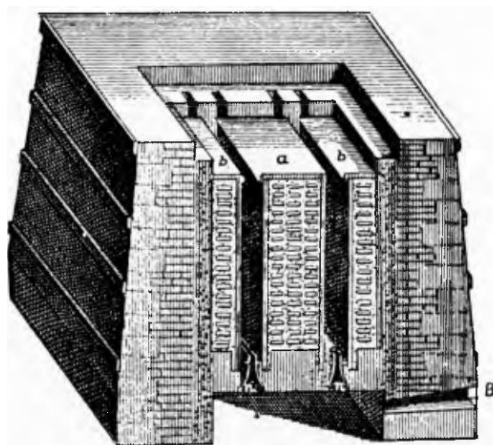
#### 4.1.3. Začeci današnje proizvodnje čelika

Bitan pomak u preradi željeza postigao je Englez Henry Cort. On je pronašao proces lučenja 1783. koji je služio topljenju željeza u **peći za lučenje** (jednoj vrsti peći plamenice, slika 6.). Nedostatak te peći jest da se nije mogla razviti dovoljno visoka temperatura da bi čelik postao tekuć.



Slika 6., Prva izvedba peći za lučenje (oko 1800.)

Francuz René-Antoine Ferchault de Réaumur tvorac je specijalne **peći za cementiranje šipki**, 1722. (slika 7.). Iako je Réaumurova peć bila jako uspješna u tehničkom pogledu, nije se koristila. Naime u Francuskoj se tada čelik smatrao nečist. Réaumurove peći su se upotrebljavale u Engleskoj.



Slika 7., Réaumurova peć za cementiranje šipki

Englez Henry Bessemera (1855.) je zaslužan za modernu proizvodnju čelika. Iako je Amerikanac Kelly pronašao isti postupak kao i Bessemer, zakasnio je jer je svoj patent prijavio godinu dana nakon Bessemera, te je titula pripala Bessemeru. [13]

#### 4.2. Vrste i korištenje čelika

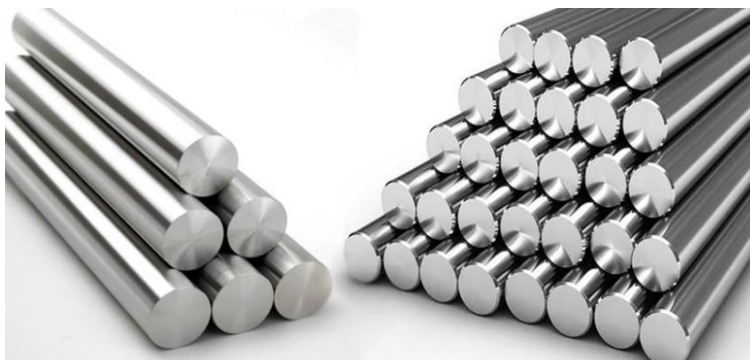
##### 4.2.1. Legirani čelik

Pod pojmom legirani čelik se smatra svaki čelik koji u sebi ima barem jedan dodatni kemijski element (koji utječe na njegova svojstva).

S obzirom na maseni udio legirajućeg elementa mogu se podijeliti na: nisko legirane (udio legirajućeg elementa je manji od 5%) i visoko legirane (udio legirajućeg elementa je veći od 5%).

Legirani čelici se primjenjuju jako često, a primjena ovisi o svojstvima dobivenim legiranjem.

Postoje razne vrste, a neke od njih su: čelici za izradu opruga (visoka granica razvlačenja), čelici za niske temperature, čelici za izradu ventila motora (izdržljivost na visoke temperature), te zadnji legirani čelici **povišene čvrstoće** koji se upotrebljavaju za izradu brodova, mostova, spremnika i drugih predmeta, odnosno konstrukcija na koje se postavljaju visoki zahtjevi. Ove čelike nazivamo još i mikrolegirani čelici. [14]



Slika 8., Legirani čelik [14]

##### 4.2.2. Ugljični čelik

Ugljični čelici čine veliku većinu današnje proizvodnje, te se mogu podijeliti sukladno masenom udjelu ugljika na: **niskougljične**, **srednjeugljične** i **viskougljične** čelike.

To je ono što u većini slučajeva danas nazivamo čelikom, a koristi se u brodogradnji, građevinskoj, automobilskoj, strojnoj i vojnoj industriji.

Takvi čelici u svojoj strukturi sadrže **veliki maseni udio ugljika** što im pridonosi visokoj čvrstoći, ali imaju malu žilavost. Obzirom na tu karakteristiku primjenjuju se

u izradi strojnih dijelova na koje se postavljaju zahtjevi za visokom čvrstoćom, a malom žilavosti.

Upotrebljavaju se u sirovom stanju jer bi se kroz toplinsku obradu, a prije svega kaljenje, mogle pojaviti pukotine.

Postoje i brodograđevni čelici koji se najčešće upotrebljavaju u gradnji brodskih konstrukcija. Osim što se primjenjuju u brodogradnji često se koriste i u proizvodnji različitih konstrukcija na vlakovima.

Najčešće upotrebljavana vrsta čelika koja spada u kategoriju ugljičnih jest čelik za kotlove koji u pravilu mora imati postavljene visoke zahtjeve u pogledu čvrstoće i otpornosti na različite medije koji se nalaze u kotlu. [15]



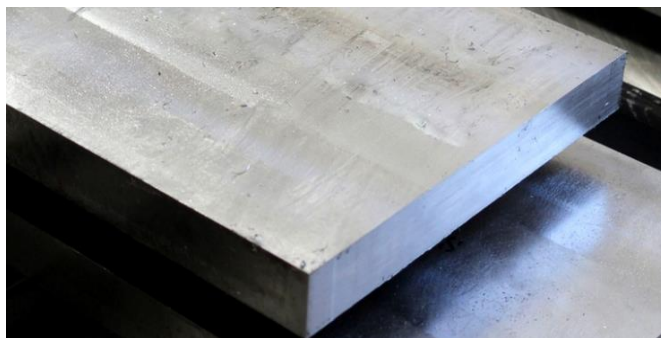
Slika 9., Ugljični čelik [15]

#### 4.2.3. *Alatni čelik*

Alatni čelik mora zadovoljiti brojne zahtjeve. Primarno se upotrebljavaju za **izradu alata** kod kojih treba paziti na to da alati budu otporni na svakojake uvjete jer se svakodnevno upotrebljavaju.

Karakteristike alatnog čelika su veća tvrdoća i otpornost na habanje (trošenje). Glavni zahtjevi su otpornost prema visokim temperaturama i otpornost prema popuštanju. [16]





Slika 10., Alatni čelik [16]

#### 4.2.4. *Nehrđajući čelik*

Danas se svijet građevinarstva, auto industrije, strojarstva i mnogih drugih grana gotovo ne može zamisliti bez nehrđajućeg čelika, odnosno **inox**. Inox je nastao 1821. godine izumom Francuza Berthier-a koji je u čelik dodao **1.5% kroma** kako bi izradio **pribor za jelo**. U 20. stoljeću pristupa se razvoju tehnologije proizvodnje čelika i otkriveni su brojni novi načini i tehnike koji su pridonijeli i unaprijedili proizvodnju čelika. Dodali su željezu i ugljiku **krom** čiji se udio može popeti i do 20% te **nikal**. Krom je najvažniji metal u kemijskom sastavu jer on stvara na površini oksidirani sloj koji štiti čelik od korozije i vanjskih utjecaja. „Nehrđajući čelici su materijali s kojima se svakodnevno susrećemo – žlice, vilice, noževi, medicinski pribor i instrumenti, nakit, škare... Oni su za razliku od čelika manje podložni hrđanju, lakše se čiste, održavaju i dezinficiraju.

Također vrsta nehrđajućeg čelika **Austenitno feritni inox** često se upotrebljava u rudarstvu, odnosno naftnoj industriji, petrokemiji te kemijskoj industriji.“ [17]



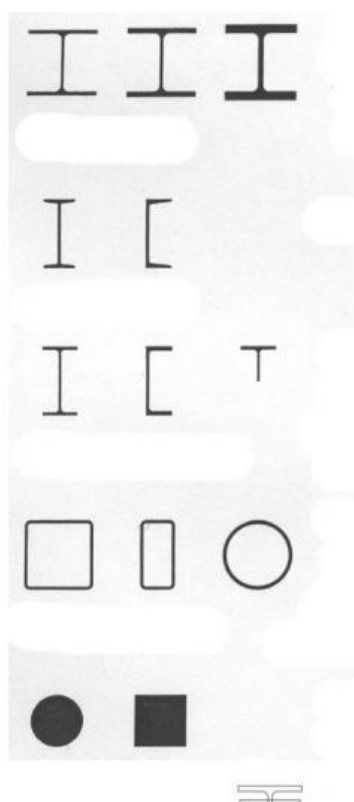
Slika 11., Nehrđajući čelik [17]

## 5. ČELIČNE KONSTRUKCIJE U VISOKOGRADNJI

### 5.1. Tipovi čeličnih profila

Čelik kao materijal ima veliku mogućnost oblikovanja, te je zbog tog ekonomičan i često korišten materijal u građevinarstvu. Prerada je široka: valjanje profila u vrućem i hladnom stanju, hladno oblikovanje tankostjenih profila, kovanje, lijevanje, itd.

Nekoliko profila koji se koriste za izradu čeličnih konstrukcija su: I profili, H profili, okrugli, cijevni i pravokutni profili. (slika 12.). Njihovim kombiniranjem i obradom se mogu dobiti razni proizvoljni oblici. [4]



Slika 12., Čelični profili [18]

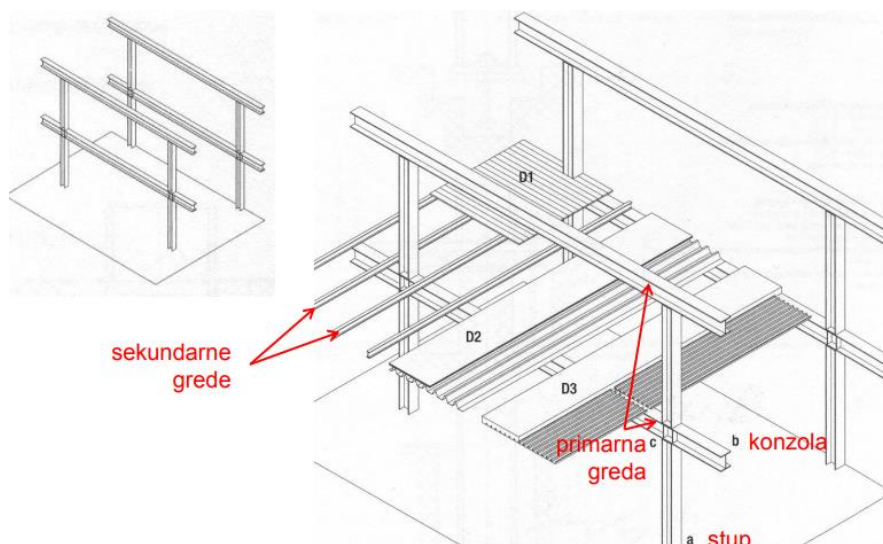
### 5.2. Sustavi čeličnih konstrukcija

Primjeri sustava čeličnih konstrukcija su: skeletni i okvirni sustavi, sustavi na velikim rasponima (rešetke, prostorne strukture) i prostorne jedinice (kiosci, kontejneri). [18]

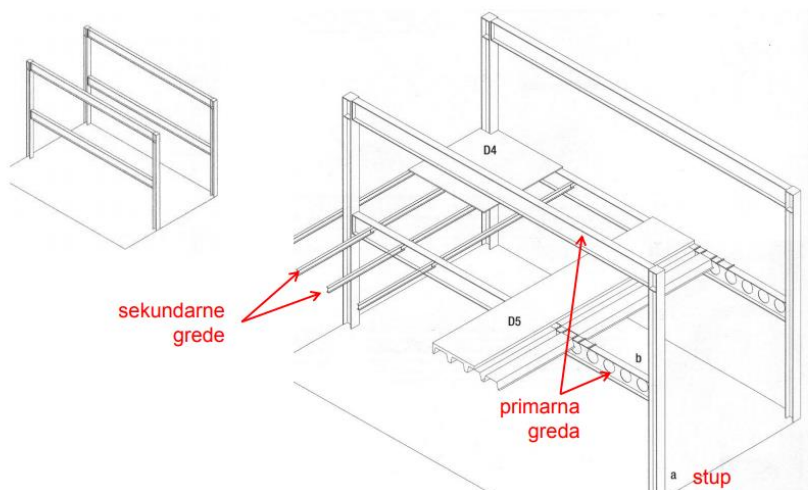
### 5.2.1. Skeletni okvirni sustavi

Dimenzioniranje ovih tipova čeličnih konstrukcija je manje varijabilno nego kod bilo kojih ostalih vrsta čeličnih konstrukcija. Raspon i visina variraju dok su razmaci unutar ograničenja 4-8 metara. Velika je primjena ovih sustava i zato je moguća veća optimizacija sustava. Najčešće se koriste valjani i zavareni nosači promjenjivog poprečnog presjeka. [4]

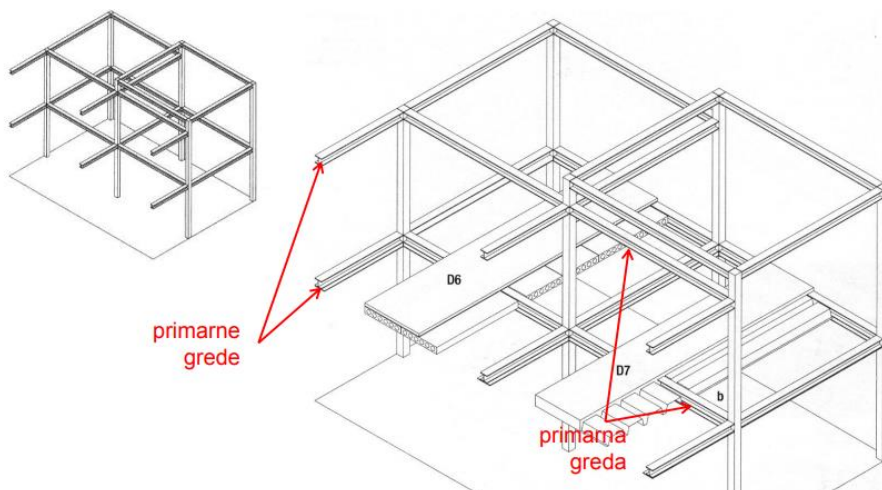
Tipovi skeletnih i okvirnih sustava su: sustav s konzolama (slika 13.), sustav s neprekinutim stupovima (slika 14.), sustav s neprekinutim stupovima i primarnim gredama u dva smjera (slika 15.). [18]



Slika 13., Sustav s konzolama [18]

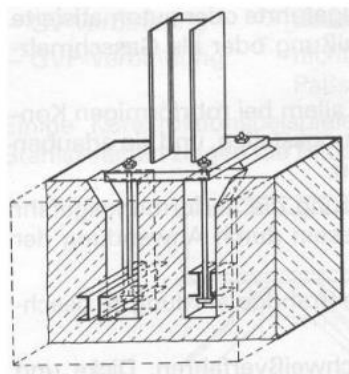


Slika 14., Sustav s neprekinutim stupovima [18]



Slika 15., Sustav s neprekinutim stupovima i primarnim gredama u dva smjera [18]

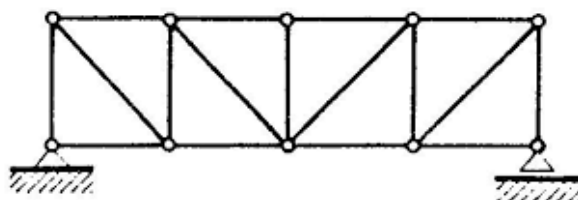
Postoje također i razni načini spajanja sustava. Neki od njih su: zavareni spoj, vijčana izvedba (slika 16.), izvedba zakovicama.[18]



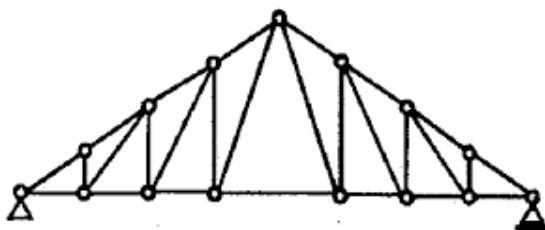
Slika 16., Spoj čeličnih konstrukcija(vijčana izvedba) [18]

### 5.2.2. Sustavi na velikim rasponima

Rešetkasta konstrukcija se sastoji od elemenata koji se sastoje od gornjeg pojasa, donjeg pojasa i ispune pod kutem. Takva izvedba najčešće ima trokutastu formu. Profili koji se odabiru su: otvorenih, složenih i zatvorenih presjeka. Osnovni oblici primjenjivani u visokogradnji kao vjetrovni spregovi, podrožnice i krovni nosači u pravilu imaju paralelne spojeve(slika 17.). Visina nosača je  $H = L/7$  do  $L/10$ . Primjena s kosim gornjim pojasom(slika 18.) je isključivo za krovne nosače. [4]



Slika 17., Paralelni sustav [19]

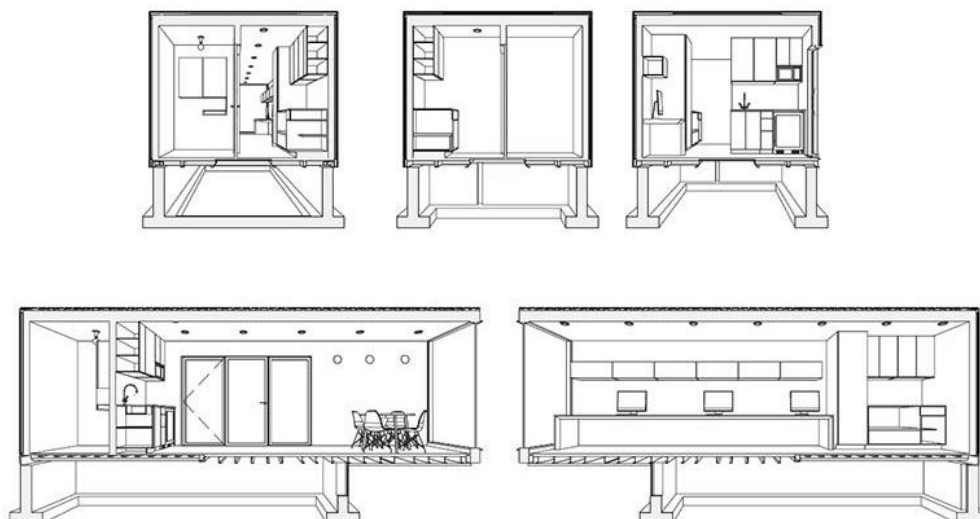


Slika 18., Dvostrešan krov [20]

Glavna primjena je u zgradarstvu(krovni nosač, okvir-glavni nosivi sustav, međukatna konstrukcija ), mostovima i vezovima u zgradarstvu i mostovima(stabilizirajuća funkcija). [4]

### 5.2.3. Sustav prostorne jedinice

Najbolji primjeri sustava prostornih jedinica su kontejneri(slika 19.). To su montažni objekti koji se dopremaju na određenu lokaciju. Najčešće su primjenjivani kao stambene jedinice i uredski prostori na gradilištima. Velika prednost je jednostavna i jeftina montaža, te mogućnost modeliranja kontejnera po želji. [21]



Slika 19., Kontejner [22]

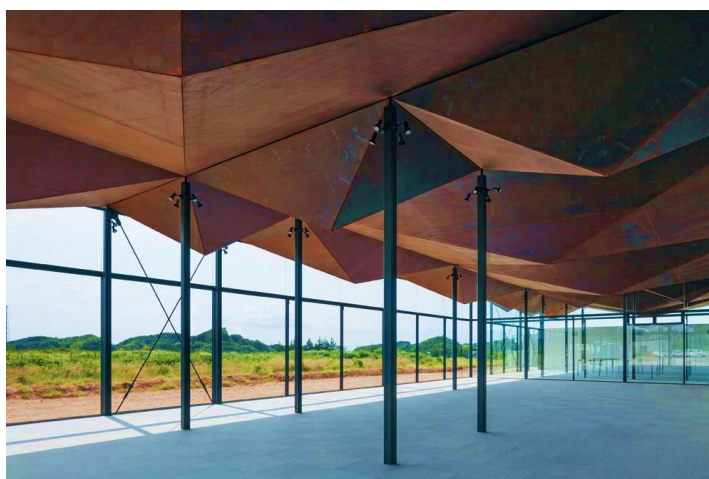
## 5.3. Primjeri čeličnih građevina

**Građevina: Upravna zgrada u Futtsu**

**Arhitekt: Nobuhiro Tsukada**

**Slike: Tomohiro Sakashita**

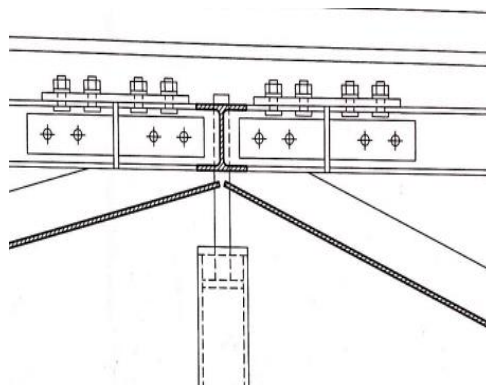
Zgradu uprave u Futtsuu može se lako uočiti zbog njenog krova, koji se kao jasna silueta ističe poput tamnog negativnog odraza na bijeloj pozadini. Aludirajući na krajolik naborane dine u neposrednoj blizini tokijskoj zaljeva, strop s donje strane nove zgrade se sastoji od piramida. One su napravljene od čeličnih ploča, debljine 6 mm te su okrenute naopako. Prozračna administrativna zgrada izgrađena je od čelične konstrukcije okvira i pokazuje stručnost u izvedbi, naročito u unutrašnjosti zgrade. Za razliku od dvorane koja pripada upravi i zatvorena je sa svih strana, zgrada uprave je ostakljena s dvije strane. Zapadna i sjeveroistočna fasada, gdje se nalaze uredi, su obložene limom u tamno sivoj boji. Pregradni zidovi su svijetle boje poput bijele fasade dvorane koja se nalazi iza i s tim se težilo dobiti dojam plutajućeg krova. Spregovi koji su vidljivi na fasadi su šupljeg kružnog profila, nose teret krova i služe za stabilizaciju. Zavareni su čeličnim čvorom na okvire koji su izrađeni od širokih greda. Krovna konstrukcija se sastoji od okvira s potpornim čeličnim nosačima. U šupljinama piramida se nalazi sustav ventilacije. U krovnoj konstrukciji su korišteni su zavareni I profili, a kod vanjskih stupova I i C profili. Okrenute čelične piramide su zavarene u tvornici, zatim pojedinačno podizane dizalicom te pričvršćene na konstrukciju okvira. [23]



Slika 20., Strop zgrade [23]



Slika 21., Vanjski izgled [23]



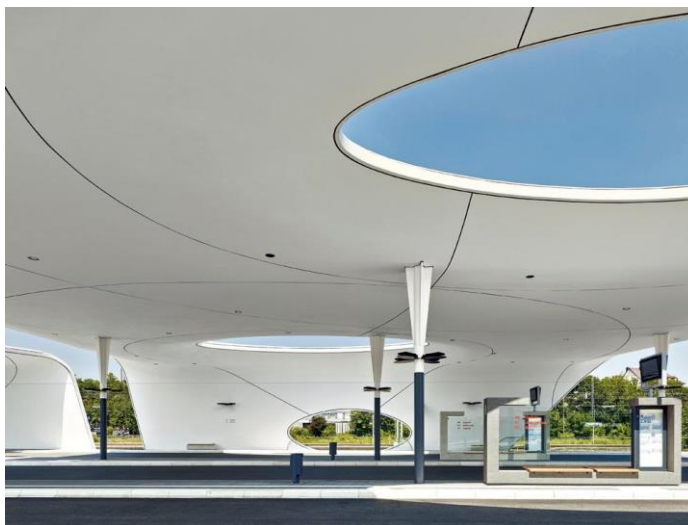
Slika 22., Detalj spoja piramida na stropu [23]



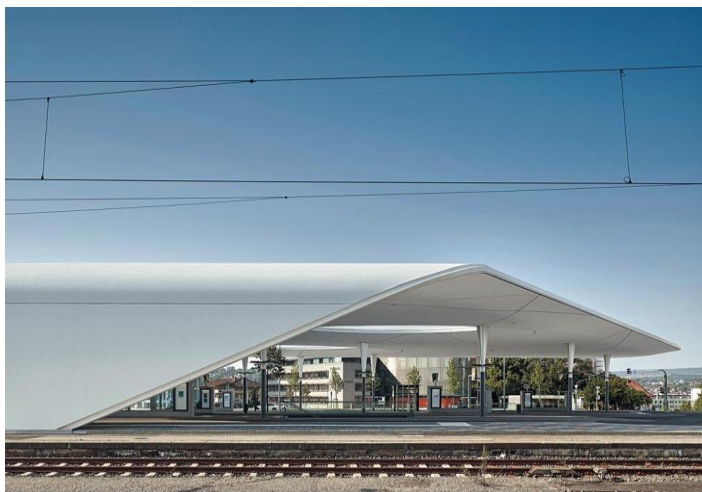
***Građevina: Autobusni kolodvor u Pforzheimu******Arhitekt: Metarazn Architekten******Slike: Zooey Braun***

Bijeli dinamički zakrivljeni krovovi prostiru se na novom autobusnom kolodvoru u Pforzheimu. Nalaze se tik uz zgradu stanice iz 1950.-ih. Postoje 3 krova istog izgleda koji su trapezoidnog oblika sa zaobljenim uglovima i eliptičnim otvorima. Prema željezničkim prugama krovna se površina nakon zaobljenog prijelaza kao zidna ploča spušta prema podu. Uloga zidova jest da pružaju zaštitu od zračnih udara i buke vlakova koji prolaze. Površina krovova sastoji se od bijele žbuke na zakrivljenim potpornim pločama. Ispod ove naizgled jednostavne konstrukcije, krije se složena čelična konstrukcija izgrađena od dostupnih HEA profila. Jedan nosivi sloj paralelan je s autobusnim peronima, a drugi se spaja u obliku lepeza između kosih krovnih rubova s istočne i zapadne strane. Suženi dijelovi vanjskih krovnih rubova i otvora sastoje se od zavarenih IPE profila. Nosači čije je pozicioniranje na nekim područjima moralo biti prilagođeno zahtjevima planiranja prometa, čvrsto su spojeni na potpornu mrežu s izduženim pločama za ukrućenje.

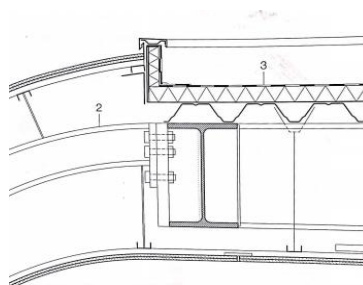
Noću bijeli krovni elementi služe kao refleksna površina jer se svjetla u obliku listova koji stoje na stupovima, reflektiraju o krov. Malo ispod svjetla stupovi prelaze u donji tamni dio, za razliku od gornjeg bijelog. Ovaj prekid vertikale pridonosi plutajućem izgledu krovnih ploha. [23]



Slika 23., Stupovi i svjetla na njima [23]



Slika 24., Spajanje krova kao zid na pod [23]



Slika 25., Detalj krova [23]

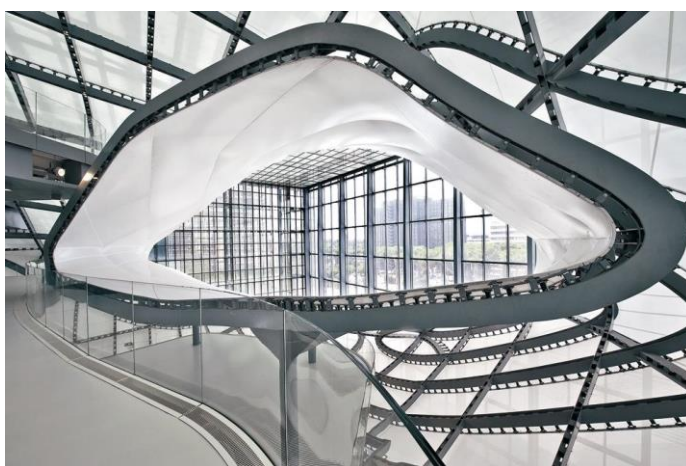
***Građevina: Kongresni centar i hotel u Rimu******Arhitekt: Massimiliano und Doriana Fuksas******Slike: Moreno Maggi, Leonarda Finotti***

Kongresni centar i hotel u Rimu dovršen je nakon 18 godina planiranja i izgradnje. Glavni dio kompleksa na kojem je i naglasak jest nepravilan kvadar (nazvan „Novi Rim“) dugačak 165 metara. Ostakljeni, ali masivni volumen dopunjuje na južnoj strani visoki hotel sa 17 katova i 439 soba. Obje građevine se izdižu iznad prostranog podruma koji nudi 17.000 četvornih metara višenamjenskih dvorana raznih veličina. Posjetitelje se prvo vodi pokretnim stepenicama na izložbenu razinu. Kada se dođe u sami centar prizemlja vidi se čitav unutrašnji prostor kojim dominira naizgled lebdeći bijeli tekstilni slobodni oblik. U unutrašnjosti ovog, tzv. oblaka nalaze se dizala i još jedne pokretne stepenice. Obloga od stakloplastike stvara difuzno, mliječno svjetlo i postiže se atmosfera drugačija od vanjskog svijeta i dvorana. Postoje 3 sloja unutar oblaka i za svaki su korištene različite konstrukcije. Vanjski dio se sastoji od 6 čeličnih okvira s Vierendeelovim nosačima i horizontalnim gredama, koji se protežu na 66 metara bez stupova. Iznutra je oblak podržan zaobljenim okvirom. Konstrukcija je poduprta na samo 3 točke. Čelični nosači unutar oblaka ističu se na vanjskoj površini kao tamna sjena, posebno noću kada je oblak osvijetljen.

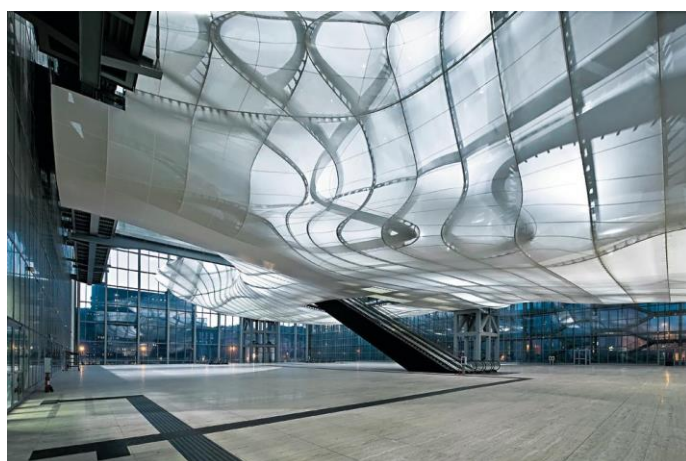
Nastojeći stvoriti strukturu oblaka, volumen je rađen u sve 3 prostorne osi. Ovaj postupak je omogućio da se zavareni pravokutni dijelovi cijevi spajaju na konzole na koje je membrana pričvršćena cijevnim tračnicama. Geometrija potkonstrukcije membrane pokazala se učinkovitom u mnogim područjima, međutim za dijelove sa zakrivljenim površinama izvedeni su gušći spojevi za postizanje skladne površine. Ugrađeno je više od 400 različitih vrsta konzola, od kojih su neke okrenute u dvije osi, te su omogućeni kutovi zaokreta od 0 do 69 stupnjeva. [23]



Slika 26., Hotel i kongresni centar izvana [23]



Slika 27., Unutrašnjost objekta- Vierendeelovi nosači [23]



Slika 28., Unutrašnjost objekta- vidljivost čelične strukture kroz stakloplastiku [23]

***Građevina: Gradski stadion Poljud, Split******Arhitekt: dr. Boris Magaš***

Gradski stadion Poljud, pod nadimkom Poljudska ljepotica, izgrađen je 1979. godine u svrhu športskih objekata 8. Mediteranskih igara. Stadion je napravljen u obliku školjke, te se uklapa u okolinu u kojoj se nalazi, nadomak mora. [24] Konstrukcija se sastoji od čelika i poluprozirnog leksana (krov), AB konstrukcija (gledište i korisni prostori), AB sekundarne konstrukcije (prilazni mostovi i potporni zidovi). Leksan u krovu upija do 70% UV zraka te sprječava zagrijavanje zraka pod krovom. Krovna konstrukcija jest MERO tip, raspon je 205x47 metara i za sada je najveća na svijetu takve vrste. Broj štapova na krovu Poljuda je 13.000 komada, a MERO kugli 3500 komada. Čelična prostorna rešetka je sačinjena od dvije neovisne prostorne ljuske.

Elementi rešetke se sastoje od gornjeg, donjeg pojasa i ispune, a povezani su MERO kuglama. Sačinjeni su od šupljih okruglih profila. [25]



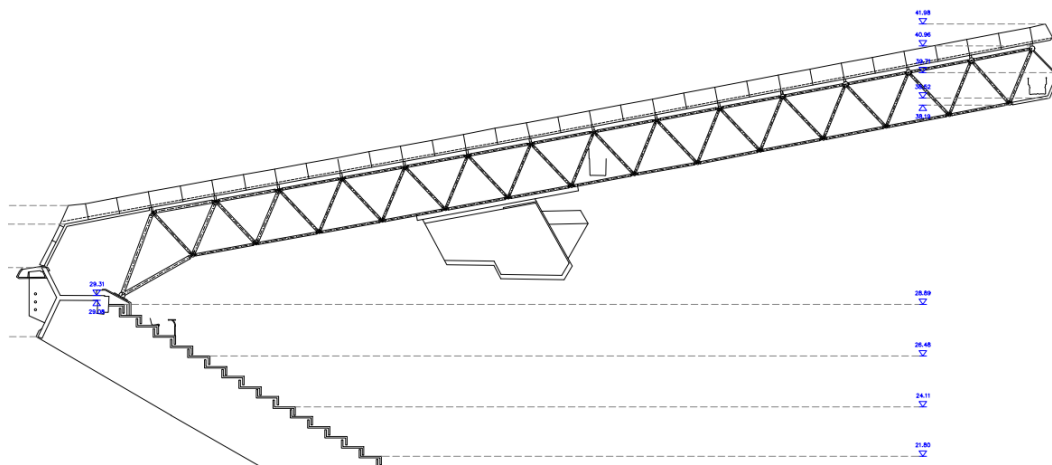
Slika 29., Gradski stadion Poljud [26]



Slika 30., Detalj spoja- MERO kugla [25]



Slika 31., Krovná konstrukcija [25]



Slika 32., Presjek krovne konstrukcije [25]

***Građevina: Redondo Beach House******Arhitekt: Peter DeMaria***

Kuća je izgrađena kombinacijom prefabriciranih brodskih kontejnera i tradicionalnih građevinskih materijala. Sastoji se od 8 kontejnera, različitih dimenzija, koji su međusobno povezani raznim građevinskim metodama. Zidovi kontejnera su metalni, a unutarnji prostori su od drva i čelika. Korišten je težak čelik koji je napravljen da traje stoljećima. U kući se nalazi i bazen koji je također izgrađen od kontejnera. Ističe se velika dnevna soba u kojoj je strop visok čak 6 metara, te ostale prostorije: 4 spavaće sobe, 3 kupaonice i soba za zabavu. Ovakvom gradnjom uvelike se smanjuje otpad koji nastaje uobičajenom gradnjom kuća. [27] Za zidni okvir korišten je Ultra touch materijal. [28] Napravljen je od prirodnih vlakana velike kvalitete. Prošao je najveće ASTM testove za požarnu zaštitu, vlagu i koroziju. [29] Stropovi i zidovi su obojani tankim slojevima bijele keramičke izolacije koja je razvijena od strane NASE. [27] Navedene izolacije rezultiraju dobrom toplinskom zaštitom i protupožarnom zaštitom. Zanimljivo je da u kući nema klima uređaja, nego se koristi prirodan prolazak zraka(propuh). Kuća je napravljena da štedi energiju tako da su vodovodne cijevi niskog pada, ugrađena su LED svjetla i korišteni su Energy star uređaji. [28]





Slika 33., Izgled kuće [27]



Slika 34., Izgled bazena [27]

## 6. ZAKLJUČAK

U samom radu opisana su svojstva, vrste, dobivanje i primjena čelika. Zbog velike mogućnosti primjene, čelik se uzdiže gledajući druge materijale. Uvelike tu ulogu igraju profili koje možemo dobiti raznim preradama. Zatim čelik je ekonomski gledano jako poželjan materijal, te je optimalno i tehnički opravdano ugraditi pojedine čelične elemente u građevinske objekte. To je materijal koji se može reciklirati i ponovno upotrijebiti u iste ili neke druge svrhe pa je iz današnjeg ekološkog aspekta reciklažnost materijala jako zahvalna.

Osigurane su rezerve sirovina za proizvodnju čelika, željeza ima dovoljno u Zemljinoj kori, pa se smatra da u skoroj budućnosti ne ćemo ostati bez glavne sirovine.

Proučavanjem primjene čelika u visokogradnji, može se uočiti prethodno navedena široka primjena. Gradnja i upotreba nisu jednostavne, krenuvši od projektiranja, pa do odabira vrste čelika, profila te u novije doba uklapanja čelika s ostalim materijalima.

Gledajući neke povijesne zgrade ili mostove, npr. most Golden Gate i Eiffelov toranj, čelik je osnovni materijal i pomoću njega se ostvarivala ljepota građevine i vidljiva je komplicirana izvedba. Analizirajući nove zgrade utvrđeno jest da iako izvana konstrukcija izgleda jednostavno jer je obložena nekom modernom oblogom, zapravo je zahtjevnija kao i u prošlosti.

## 7. LITERATURA

- [1] <http://www.gradimo.hr/clanak/o-celiku/1017>, 28.7.2019.
- [2] <http://e-metallicus.com/hr/metal/celik/sto-je-celik.html>, 28.7.2019.
- [3] <http://hr.chinaxtwsteelstructure.com/info/steel-structure-advantage-22693400.html>, 28.7.2019.
- [4] B. Androić, D. Dujmović, I. Džeba, Metalne konstrukcije 1, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- [5] <http://gradnja.me/celik/>, 28.7.2019.
- [6] M. Sulyok- Selimbegović, Čelične konstrukcije, Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- [7] Celik\_i\_njegova\_svojstva.pdf 28.7.2019.
- [8] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Dijagram\\_naprezanja](https://hr.wikipedia.org/wiki/Dijagram_naprezanja), 28.7.2019.
- [9] [http://www.grad.hr/gadaf/exp/exp\\_sve.htm](http://www.grad.hr/gadaf/exp/exp_sve.htm), 28.7.2019.
- [10] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Visoka\\_pe%C4%87](https://hr.wikipedia.org/wiki/Visoka_pe%C4%87), 28.7.2019.
- [11]  
[https://hr.wikipedia.org/wiki/Bessemerov\\_postupak#/media/Datoteka:Bessemer\\_converter.jpg](https://hr.wikipedia.org/wiki/Bessemerov_postupak#/media/Datoteka:Bessemer_converter.jpg), 28.7.2019.
- [12] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Siemens-Martinova\\_pe%C4%87](https://hr.wikipedia.org/wiki/Siemens-Martinova_pe%C4%87), 28.7.2019.
- [13] <http://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/celik.pdf>, 28.7.2019.
- [14] <http://www.laser-ing.hr/blog/legirani-celik-primjena-nastajanje/>, 28.7.2019.
- [15] <http://www.laser-ing.hr/blog/sto-je-ugljicni-celik-gdje-se-upotrebljava/>, 28.7.2019.
- [16] <http://www.laser-ing.hr/blog/sto-su-alatni-celici-gdje-se-najcesce-koriste/>, 28.7.2019.
- [17] <http://www.laser-ing.hr/blog/nehrdajuci-celik-temelj-danasnje-industrije/>, 28.7.2019.
- [18] Drvene i metalne konstrukcije, prezentacije s predavanja, doc.dr.sc. Nikolina Vezilić Strmo; doc.dr.dc. Silvio Bašić
- [19] <http://www.gfos.unios.hr/download/Silva-Lozan%C4%8Di%C4%87-resetkasti-nosaci-05-04-2017-12-07.pdf>, 31.8.2019.
- [20]  
[http://rgn.hr/~lfrgic/nids\\_lfrgic/PDF\\_Print\\_Mehanika\\_I\\_N/PDF\\_M\\_I/9\\_Resetkasti%20nosaci\\_N\\_N.pdf](http://rgn.hr/~lfrgic/nids_lfrgic/PDF_Print_Mehanika_I_N/PDF_M_I/9_Resetkasti%20nosaci_N_N.pdf), 31.8.2019.

- [21] <http://www.containex.com.hr/hr/proizvodi/uredski-kontejner> 3.2.3, 31.8.2019.
- [22] <https://www.contemporist.com/architect-home-office-shipping-container/>, 31.8.2019.
- [23] Časopis „Detail“, 4. izdanje, 2017.
- [24] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Gradski\\_stadion\\_Poljud](https://hr.wikipedia.org/wiki/Gradski_stadion_Poljud), 31.8.2019.
- [25] HNK Hajduk
- [26] <https://www.min-kulture.hr/default.aspx?id=13097>, 31.8.2019.
- [27] <https://www.bobvila.com/slideshow/house-tour-redondo-beach-container-house-2445>, 31.8.2019.
- [28] <https://inhabitat.com/demaria-shipping-container-house/> 31.8.2019.
- [29] <https://www.bondedlogic.com/ultratouch-denim-insulation/> 10.9.2019.