

# Čelične konstrukcije u visokogradnji

---

Pregorec, Hrvoje

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:237:855349>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-05**

Repository / Repozitorij:

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



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

# **ZAVRŠNI RAD**

Hrvoje Pregorec

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

**ZAVRŠNI RAD**  
**ČELIČNE KONSTRUKCIJE U**  
**VISOKOGRADNJI**

Mentor:

doc.dr.sc. Nikolina Vezilić Strmo

Student:

Hrvoje Pregorec

Zagreb, veljača 2022.

**UNIVERSITY OF ZAGREB**  
**FACULTY OF CIVIL ENGINEERING**

**FINAL PAPER**  
**STEEL STRUCTURES IN BUILDING**  
**CONSTRUCTION**

Mentor:

doc.dr.sc. Nikolina Vezilić Strmo

Student:

Hrvoje Pregorec

Zagreb, February 2022.

## SAŽETAK

Zadatak ovog završnog rada je prikazati primjenu čeličnih konstrukcija u visokogradnji. Čelik je željezna legura s najviše 2% udjela mase ugljika, a svojim se ekonomskim, tehničkim i estetskim prednostima nameće u graditeljstvu.

Ovim završnim radom daje se kratak uvid u načine dobivanja čelika kroz povijest i danas. Čelik je kroz opis njegovih svojstava, sistematizaciju i prikaz oblika valjanja prezentiran kao građevinski materijal. Detaljno je opisano spajanje čeličnih profila vijcima i postupcima zavarivanja kao i kriteriji prema kojima se određuje vrsta čelika u čeličnim konstrukcijama. Zbog njegove ekonomske prihvatljivosti čelik je također predstavljen i kao "zeleni materijal". Komentiraju se sustavi zaštite čeličnih konstrukcija od vanjskih i izvanrednih djelovanja, konkretno od korozije i požara. Prikazana je podjela elemenata konstrukcije i njihove karakteristike, a analizom vezova i konstrukcijskih sustava obrađeni su načini stabilizacije. Kroz rad su također prikazane prednosti izvođenja čeličnih konstrukcija u odnosu na tradicionalnu masivnu izvedbu.

Navode se sustavi izvedbe čeličnih konstrukcija. Poblje su opisani sustavi prostornih konstrukcija i prostornih jedinica te skeletni (okvirni) sustavi te su oni dodatno prikazani na izvedenim primjerima.

Ključne riječi : čelik, proizvodnja čelika, svojstva čelika, čelične konstrukcije, zaštita čelika

## **ABSTRACT**

The task of this final paper is to show the application of steel structures in high-rise construction. Steel is an iron alloy with a maximum of 2% carbon by mass, and its economic, technical and aesthetic advantages impose itself in construction.

This final paper gives a brief insight into the methods of obtaining steel throughout history and today. Steel is presented as a construction material through the description of its properties, systematization and presentation of the form of rolling. The connection of steel profiles with screws and welding procedures is described in detail, as well as the criteria according to which the type of steel in steel structures is determined. Due to its economic acceptability, steel is also presented as a "green material". The protection systems of steel structures against external and extraordinary effects, specifically against corrosion and fire, are commented on. The division of structural elements and their characteristics is presented, and methods of stabilization are discussed through the analysis of connections and structural systems. The paper also shows the advantages of steel structures compared to traditional massive construction.

Systems of steel constructions are listed. The systems of spatial constructions and spatial units and skeletal (frame) systems are described in detail, and they are additionally shown on derived examples.

Keywords: steel, steel production, steel properties, steel structures, steel protection

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. PROIZVODNJA ČELIKA .....</b>	<b>2</b>
2.1. Proizvodnja čelika kroz povijest .....	2
2.1.1. Bessemerov postupak .....	2
2.1.2. Thomasov postupak.....	3
2.1.3. Siemens-Martinov postupak.....	3
2.2. Proizvodnja čelika danas .....	4
2.2.1. Osnovna peć na kisik (Linz-Donawitz postupak) .....	4
2.2.2. Elektrolučna peć .....	5
<b>3. ČELIK KAO GRAĐEVINSKI MATERIJAL.....</b>	<b>6</b>
3.1. Definicija i svojstva.....	6
3.2. Sistematizacija čelika .....	6
3.3. Izbor konstrukcijskog čelika .....	7
3.4. Tipovi čeličnih profila i područje primjene u konstrukcijama.....	8
3.4.1. " I " profili .....	8
3.4.2. Profili različitih oblika poprečnog presjeka .....	8
3.4.3. Šuplji profili.....	9
3.4.4. Puni profili.....	9
3.4.5. Složeni profili .....	9
3.4.6. Hladno oblikovani profili .....	10
3.5. Spajanje čeličnih profila.....	10
3.5.1. Zavareni spojevi .....	11
3.5.2. Vijčani spojevi.....	12
<b>4. ČELIK KAO "ZELENI MATERIJAL" .....</b>	<b>13</b>
<b>5. ZAŠTITA ČELIČNIH KONSTRUKCIJA .....</b>	<b>14</b>
5.1. Zaštita od korozije.....	14
5.1.1. Zaštita premazima .....	15
5.1.2. Zaštita prevlakama.....	15
5.2. Zaštita od požara .....	16

<b>6. SUSTAVI ČELIČNIH KONSTRUKCIJA.....</b>	<b>17</b>
6.1. Konstrukcijsko oblikovanje .....	17
6.2. Stabilizacija konstrukcije .....	17
6.3. Skeletni (okvirni) sustav .....	19
6.4. Sustavi prostornih konstrukcija.....	19
6.4.1. Prostorne rešetkaste konstrukcije .....	21
6.5. Sustav prostornih jedinica .....	22
<b>7. ČELIČNE KONSTRUKCIJE – PRIMJENA U PRAKSI .....</b>	<b>23</b>
7.1. Obiteljska kuća (vila) u Zagrebu.....	23
7.2. Montažna poslovna zgrada u Delftu ("Zgrada D") .....	25
7.3. Radionička hala u Zagrebu.....	27
<b>8. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>32</b>
<b>POPIS LITERATURE .....</b>	<b>33</b>
<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>34</b>



## 1. UVOD

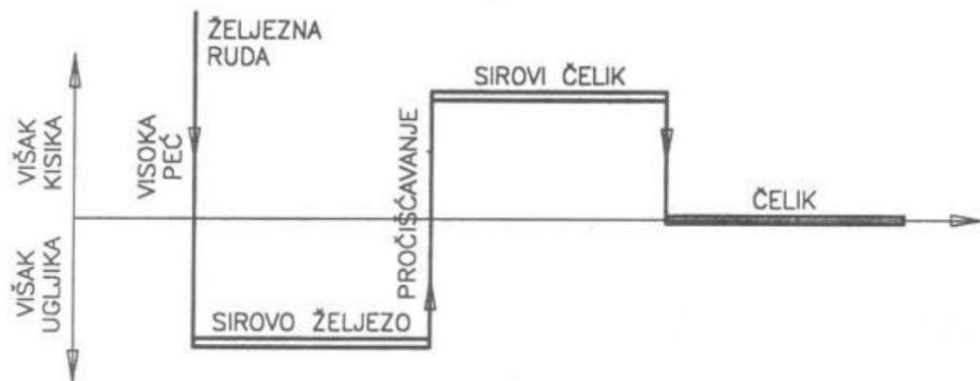
Iako se čelik u različitim oblicima proizvodi vijekovima, njegova primjena u graditeljstvu počinje tek u posljednjih 100 godina. U samim počecima proizvodnje čelik se dobivao na različite načine, no zbog loših tehnologija tako dobiveni materijal nije imao zadovoljavajuća fizikalna i mehanička svojstva.

Uslijed povećane potražnje za čeličnim proizvodima, čelična industrija bila je primorana poboljšati načine proizvodnje pa je tako danas izrada čelika usmjerena na postupke u kisikovim konvertorima. Vrijedi spomenuti da je industrija čelika uspješno riješila pitanje ekološke prihvatljivosti prelaskom sa modela linearne ekonomije na model kružne ekonomije koja recikliranju materijala pridaje najveću važnost. Novim tehnologijama došlo je i do skokovitog poboljšanja u kvaliteti, pa tako danas čelici visoke čvrstoće postaju sve popularniji.

Izradom čelika visoke čvrstoće znatno se smanjila vlastita težina elementa pa su stoga čelične konstrukcije lakše od onih izrađenih od ostalih materijala. Iz tog razloga troškovi temeljenja su kod tako izvedenih konstrukcija svedeni na minimum, a u slučaju slabe nosivosti tla i neravnomjernog slijeganja temelja čelične konstrukcije ostaju kao jedina mogućnost. Zbog primjene postupaka osiguranja kvalitete izgradnje te zbog dobre edukacije inženjera, čelične konstrukcije su sigurne i otporne na različita djelovanja. Projektanti se danas vrlo često odlučuju za korištenje čelika u visokogradnji jer takve građevine svojom čistoćom oblika i transparentnošću privlače pažnju. Osim u visokogradnji, čelik je zbog svojih karakteristika svoje mjesto pronašao i u mostogradnji jer omogućuje izradu elegantnih i estetskih ovješanih i visećih mostova.

## 2. PROIZVODNJA ČELIKA

Metalno željezo otkriveno je i primijenjeno još prije 6000 godina u Aziji, iz koje je preneseno u južnu i centralnu Europu gdje na važnosti dobiva tek u srednjem vijeku. Prvo kovko željezo dobivalo se u jamastim pećima te se takav postupak proizvodnje zadržao sve do 12. ili 13. stoljeća.[1] Kasnijim postupcima izrade željeza u tjestastom stanju kao što su npr. talionički proces, pudlovanje i proces rafinacije dobivane su visokouglične željezne legure čiji proizvodi u primjeni nisu bili pouzdani. Značajniji napredak u proizvodnji čelika započinje 1740. godine kada je tekući čelik prvi puta dobiven u vatrostalnim posudama, tzv. *Crucible* proces.[1] Slika 1. prikazuje temeljne etape proizvodnje čelika iz željezne rude. Od mnogih postupaka kroz povijest najistaknutiji su oni s čijom se primjenom započinje sredinom 19. stoljeća, a tu spadaju Bessemerov, Thomasov i Siemens-Martinov postupak koji su osim napretka u smislu kvalitete čelika istovremeno omogućili i njegovu masovnu proizvodnju.

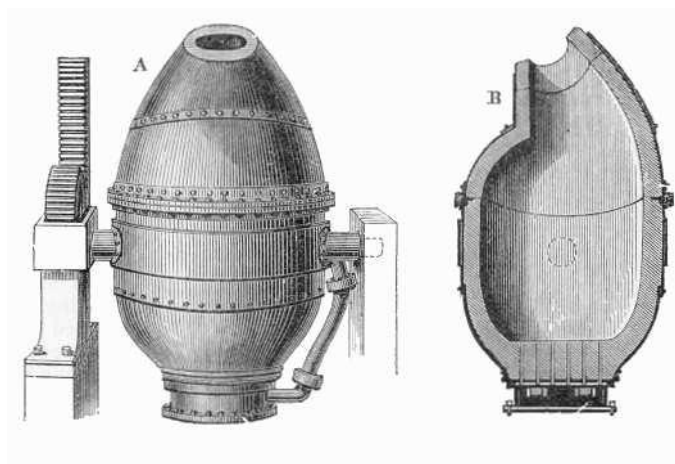


Slika 1. Shematski prikaz proizvodnje čelika

### 2.1. Proizvodnja čelika kroz povijest

#### 2.1.1 Bessemerov postupak

Englez H. Bessemer patentirao je 1856. godine postupak pročišćavanja sirovog željeza dovodom zraka pod pritiskom u kiselu ozidano konvertoru. Postupak zahtjeva sirovo željezo bez fosfora koje se uglavnom moglo pronaći u Švedskoj pa se stoga, uz Englesku, taj postupak tamo najviše i provodio. Zrak koji se upuhuje u rastaljeno željezo služi za oksidiranje nečistoća, a uvodi se u unutrašnjost kroz perforirano dno konvertora. Konvertor (Slika 2.) je oblika valjka s plaštem od zavarenog čelika i fiksiran je na dva horizontalna vratila koji omogućuju naginjanje. Postupak je napušten 1974. godine.



Slika 2. Bessemerov konverter

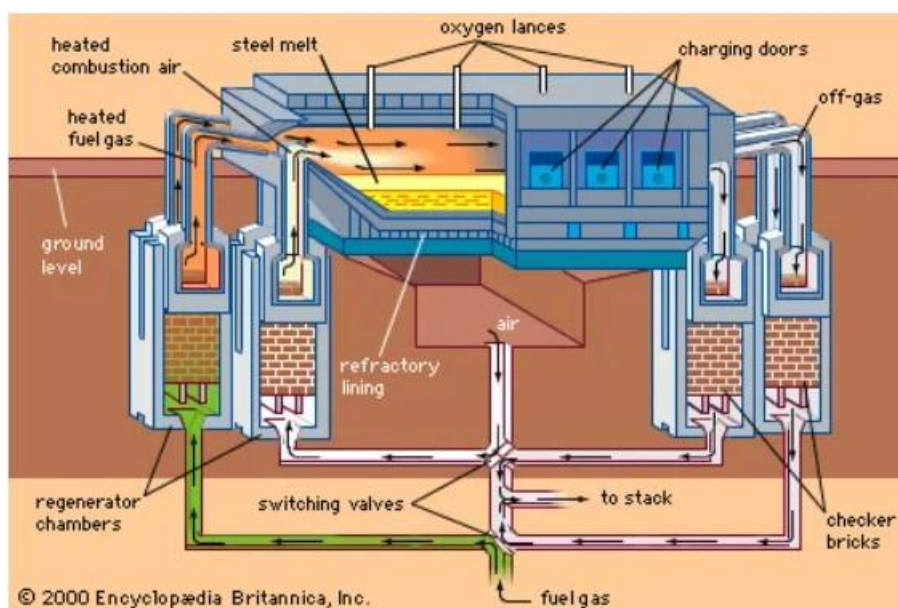
### 2.1.2 Thomasov postupak

Kod povećanog udjela fosfora u rudači, što je bio slučaj u većini Europskih zemalja, Bessemerov konverter pokazao se neefikasnim u uklanjanju istog što dovodi do izrade čelika niske kvalitete i pojave potrebe za novim, učinkovitijim načinom proizvodnje. Thomas zamjenjuje unutarnju kiselu oblogu s lužnatom, a za stvaranje troske koristi vapnenac ili vapno. Zadržava Bessemerov oblik konvertora kojem se kapacitet kreće od 25 do 60 tona. Najprije se konverter postavi u vodoravan položaj te se u njega stavlja vapno nakon čega slijedi umetanje sirovog željeza. Potom se konverter vraća u vertikalni položaj kako bi se započelo sa upuhavanjem zraka. Dobiveni čelik izliva se u spremnik ispod konvertora, a troska dobivena ovim postupkom bila je zbog svog kemijskog sastava odlično gnojivo s vrlo širokom primjenom.

### 2.1.3 Siemens-Martinov postupak

Francuz E. Martin i W. Siemens uvode 1865. godine pročišćavanje sirovog željeza u ognju pomoću ostatka zraka u plamenu plina i dodatku čeličnog otpada.[2] Ovaj postupak, kao i čelik dobiven njime, veoma je sličan Thomasovom postupku ali u pogledu duktilnosti i čvrstoće SM čelik ima određene prednosti i shodno tome šire područje primjene. U početku proizvodnje koristila se kisela vatrostalna obloga peći koja se kasnije zamjenjuje bazičnom zbog boljih rezultata, a kapacitet ognjišta kreće se od nekoliko desetaka do nekoliko stotina tona. Konstrukcijski, peć (Slika 3.) možemo podijeliti na gornji i donji dio. Gornji se dio sastoji od reakcijske komore (ognjište, prednji i zadnji zid) i otvora kroz koje se peć puni sirovinama. U donji dio ubrajamo regeneratorske komore koje su dimovodnim kanalima povezane s ognjištem, a izrađene

su od vatrostalne opeke. Svaka peć ima po dva para regeneratora. Postupak započinje zagrijavanjem plinovitog goriva i zraka u odvojenim regeneratorskim komorama na temperaturu 1000-1200°C nakon čega oni ulaze u peć. Produkti izgaranja odlaze na drugu stranu kanala peći unutar drugog para regeneratora u kojima se energija tj. toplina pohranjuje u opeci. Kada bi nakon 10-15 minuta prvi par regeneratora prestao zagrijavati zrak i plin do željene temperature, tok peći bi se pomoću povratnih ventila preokrenuo tako da zrak i gorivo sada prolaze kroz prethodno zagrijanu opeku te se na taj način griju. Postupak otvorene peći napušten je krajem prošlog stoljeća i zamijenjen postupcima u kisikovim konvertorima.



Slika 3. Siemens-Martinova peć

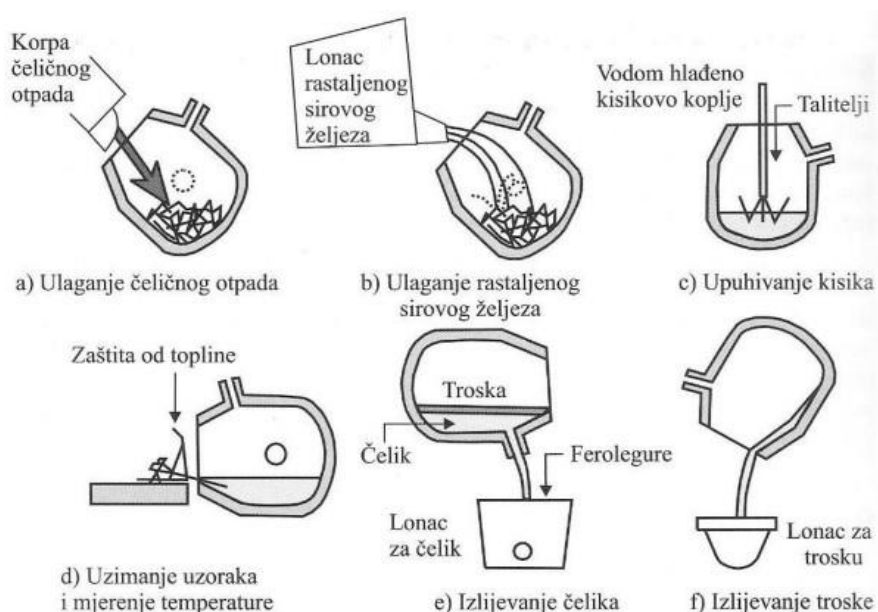
## 2.2. Proizvodnja čelika danas

Razvojem kisikovih konvertora sredinom prošlog stoljeća postignut je značajan napredak u proizvodnji čelika, a razvoj računalne tehnologije istovremeno je omogućio automatizaciju proizvodnje i povećanje produktivnosti. Tako se danas za 4 sata proizvede tona sirovog čelika dok je prije 15 godina za to trebalo 9,8 sati.[3] Glavni načini proizvodnje danas su Linz-Donawitz kojim se proizvodi oko 70% svjetskog čelika i elektrolučni postupak kojim se proizvodi oko 30% svjetskog čelika.

### 2.2.1. Osnovna peć na kisik (Linz-Donawitz postupak)

Postupak Linz-Donawitz smatra se najraširenijim postupkom proizvodnje čelika u svijetu, a njegovom primjenom u 60-tim godinama prošlog stoljeća količina proizvedenog čelika u svijetu u samo 10 godina porasla je sa 346 na 603 Mt.[1]

LD postupak zapravo je unaprijeđen Bessemerov i Thomasov postupak jer se prestaje s upuhavanjem zraka i započinje s pročišćavanjem sirovog željeza puhanjem tehnički čistog kisika (99,5 - 99,8 %) kroz vodom hladenu kapljastu cijev tj. koplje. Najprije se u nagnuti konvertor (također nalik Bessemerovom) ubacuje čelik s otpada te se ulijeva sirovo željezo koje je prethodno obrađeno kako bi se smanjio udio sumpora, silicija i fosfora. Zatim se konvertor podiže u vertikalni položaj, a vodom hladeno koplje spušta se u njegovu unutrašnjost na visinu 2 metra iznad taline te se uključi dovod kisika u trajanju od 20 minuta. Kisik se tada povezuje sa nečistoćama u talini i oksidacijom dolazi do stvaranja visoke temperature koju je potrebno regulirati dodavanjem starog čelika, vapna ili željezne rude. Oksidacijom ugljika nastaje plin ugljikov monoksid (CO) koji je moguće pohraniti i iskoristiti kao gorivo. Po završetku postupka, konvertor se nagne kako bi se uklonila troska, a nakon toga slijedi izlivanje tekućeg niskougljičnog (0,05%) čelika u spremnik. Slika 4. prikazuje faze LD postupka.



Slika 4. Shematski prikaz faza proizvodnje čelika u kisikovom konvertoru

### 2.2.2. Elektrolučna peć

Početak prošloga stoljeća razvija se ideja o upotrebi električne energije u proizvodnji čelika, a kao rezultat toga započinje se s uporabom elektrolučne peći (Slika 4.). Proizvodnja se odvija na način da tri grafitne elektrode stvaranjem električnog luka tale čelični otpad nakon čega slijedi propuhivanje taline kisikom i vrlo jednostavno odvajanje troske i tekućeg čelika. Ovo je ujedno i ekološki najprihvatljiviji postupak proizvodnje jer zahtjeva znatno manje toplinske energije od konvertorskih postupaka, a time je emisija ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) puno manja.

### 3. ČELIK KAO GRAĐEVINSKI MATERIJAL

#### 3.1. Definicija i svojstva

Čelik je željezna legura s najviše 2% masenog udjela ugljika i nizom drugih elemenata (mangan, silicij, sumpor, fosfor itd.).[1] Sadrži brojne primjese koje mogu biti poželjne (krom, molibden, nikal) i nepoželjne (fosfor, sumpor). Djelovanjem na njegova uporabna svojstva postiže se dobra kombinacija čvrstoće, žilavosti, rastezljivosti, spojivosti, mogućnost oblikovanja deformiranjem te mogućnost promjene sastava legiranjem, toplinskom obradom itd.[1] Općenito, svojstva čelika definirana su odnosom između željeza, pratećih i legirajućih elemenata. Temeljna svojstva čelika ovise o kemijskom sastavu, mikrostrukturi te stanju, obliku i dimenzijama proizvoda. Dominantan utjecaj na temeljna svojstva ima sadržaj ugljika s čijim se porastom smanjuje zavarljivost i sposobnost plastičnog deformiranja, a prokaljivost raste. Porastom temperature u čeliku dolazi do promjena mehaničkih svojstava pa on tako postaje sve mekši, granica popuštanja je sve niža i modul elastičnosti pada. Vrijedi napomenuti da čelik nosi do temperature 600 °C.

#### 3.2. Sistematizacija čelika

Osim prema načinu proizvodnje, čelik možemo podijeliti i prema kemijskom sastavu, namjeni, stupnju dezoksidacije, načinu lijevanja, obliku, svojstvima itd. S obzirom na kemijski sastav razlikujemo :

- Nelegirani (ugljični) čelik

Čelik obične kvalitete sa zanemarivim postotkom legura, još se naziva i građevinski čelik. Dijelimo ga na niskougljični, srednjeugljični i visokougljični. Važno je napomenuti da su građevinski čelici za nosive konstrukcije zapravo ugljični čelici s postotkom ugljika <0.25%.[2]

- Legirani čelik

Čelik kojemu se prema potrebi dodaju legirajući elementi u cilju poboljšanja određenih svojstava, a dijelimo ga na niskolegirani (manje od 5% legirajućih elemenata) i visokolegirani (više od 5% legirajućih elemenata). Neki od mogućih legirajućih elemenata su krom, nikal, molibden, bakar, vanadij itd.

Prema namjeni čelici mogu biti konstrukcijski (nosive zavarene konstrukcije, strojni dijelovi), alatni (za rad u toplom ili hladnom stanju, brzorezni čelici), čelici za elektroindustriju, specijalni čelici itd. Prema stupnju dezoksidacije mogu biti umireni, poluumireni i neumireni (potpuno napušteni), a s obzirom na način lijevanja mogu biti klasično lijevani u ingote ili kontinuirano lijevani. Podjela prema svojstvima odnosi se na čelike koji imaju izražena pojedina svojstva kao npr. kemijska otpornost (nehrđajući). [1]

### 3.3. Izbor konstrukcijskog čelika (konstrukcijski čelik)

Čelik je vrlo pogodan građevinski materijal zahvaljujući svojstvu da se prije otkazivanja može znatno deformirati bilo u tlaku bilo u vlaku. Ta se osobina naziva duktilnost.[4] Danas je dostupno preko 2500 vrsta čelika, ali nisu sve prihvatljive za izradu čeličnih konstrukcija u građevini. Važan zadatak koji se stavlja pred projektanta je odabir prave grupe čelika koja će zadovoljiti sve zahtjeve koji su pred nju stavljeni pod uvjetom da ne dođe do krajnje opasne pojave koja se naziva krti lom. Krti lom definira se kao nastupanje loma u elastičnom području, odnosno do loma dolazi bez plastičnih deformacija.[4]

Kriteriji prema kojima se određuje vrsta čelika u čeličnim konstrukcijama su :

- Čvrstoća  
Zahtijevaju se karakteristične vrijednosti granice popuštanja  $f_y$  i čvrstoće  $f_u$ .
- Prerada  
Čeličnih proizvoda u konstrukciju, tako da se zahtijeva podobnost za zavarivanje, obradu u hladnom stanju, mogućnost pocinčavanja itd.
- Ponašanje pri različitim temperaturama  
Karakteristične čvrstoće čelične konstrukcije pri požaru, sklonost lomu pri niskim temperaturama i sl.
- Ponašanje obzirom na koroziju  
Čelična se konstrukcija zaštićuje premazima ili pocinčavanjem, postoji mogućnost primjene čelika s povišenom otpornošću na koroziju ili pak nehrđajućeg čelika.[4]

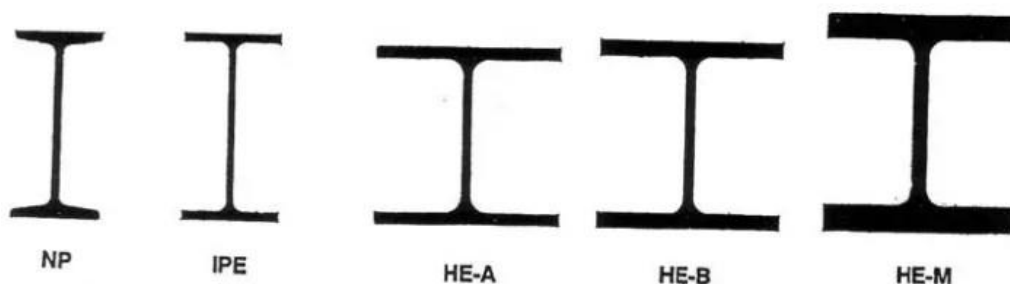
### 3.4. Tipovi čeličnih profila i područje primjene u konstrukcijama

Osnovni oblici čeličnih poluproizvoda su limovi, trake, šipke, cijevi, profili itd., a s obzirom na stanje isporuke mogu biti toplo valjani, hladno valjani, lijevani, hladno vučeni, kovani, toplinski obrađeni itd.[1] Proizvedeni čelik se u obliku taline lijeva u posebne konične kalupe tj. kokile, a nakon određenog vremena se formirana ohlađena masa geometrijski jednostavnog oblika (ingot) vadi iz kalupa. Tako dobiveni ingoti se daljnjim postupcima plastične prerade (valjanje, kovanje) pretvaraju u različite čelične proizvode. Proces valjanja sastoji se od višestrukog prolaza užarenog čelika između redova valjaka, a rezultat su čelični profili sa karakterističnim oblicima poprečnog presjeka.

#### 3.4.1. " I " profili

Kod " I " profila (Slika 5.) koji se najčešće koriste kao univerzalni nosači i stupovi razlikujemo :

- NP profil – uskopojasni profil s kosim pojasevima (danas napušten),
- IPE profil – europski profil s paralelnim pojasevima,
- HE-A profil – širokopojasni profil lake izvedbe,
- HE-B profil – širokopojasni profil normalne izvedbe,
- HE-M profil – širokopojasni profil teške izvedbe.



Slika 5. Tipovi " I " profila

#### 3.4.2. Profili različitih oblika poprečnog presjeka

Ovdje ubrajamo U profile koje koristimo kao nosače opterećene na savijanje, spregove ili štapove rešetkastih nosača, te T i L profile koji se primjenjuju za štapove ispune vezova i kao štapovi rešetki. Slika 6. prikazuje oblike spomenutih profila.

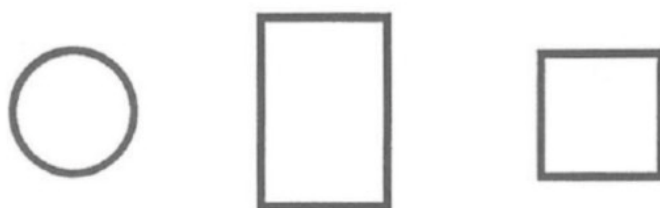




Slika 6. Profili različitih poprečnih presjeka

### 3.4.3. Šuplji profili

Zatvoreni (šuplji) profili (Slika 7.) koriste se kao tlačni elementi.



Slika 7. Šuplji profili

### 3.4.4. Puni profili

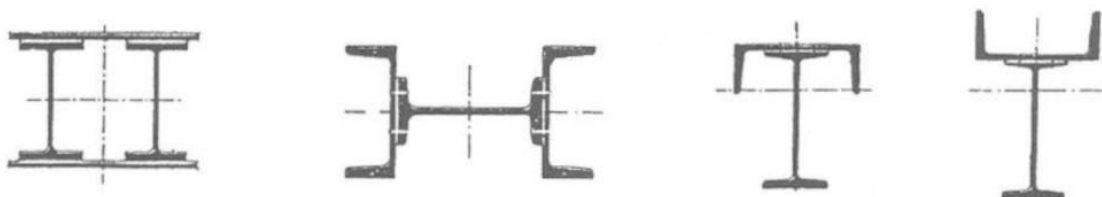
Puni profili (Slika 8.) koriste se obično kao vlačni elementi.



Slika 8. Puni profili

### 3.4.5. Složeni profili

Koriste se za elemente konstrukcije izložene većim akcijama, za veće raspone ili ako se zahtjevaju konstrukcijski oblici kojih nema na tržištu. Slika 9. prikazuje tipove takvih profila.



Slika 9. Složeni profili

### 3.4.6. Hladno oblikovani profili

Povoljni su elementi jer se u hladnom stanju mogu oblikovati u povoljne oblike (Slika 10.). Iste su debljine u svim dijelovima poprečnog presjeka i imaju široko područje uporabe.



Slika 10. Hladno oblikovani profili

Od ostalih oblika vrijedi spomenuti lamele koje se primjenjuju za pojaseve, limove koji mogu biti fini, srednji i grubi ovisno o debljini te specijalni profili kao što su npr. žice za prednapinjanje.[2]

### 3.5. Spajanje čeličnih profila

Spojevi su nužni kako bi se svladala ograničenja u dužini i širini valjanih profila koja su uzrokovana ekonomskim razlozima u proizvodnji i transportom. Spoj se sastoji od spojnih sredstava kao što su vijci, svornjaci, zakovice ili varovi, te dijelova konstrukcijskih elemenata spojenih ovim sredstvima.[5] Kada za to postoje uvjeti, pribjegava se zavarivanju kao najefikasnijem načinu za postizanje kvalitetnog spoja. Tako su spojevi izvedeni u radionicama uglavnom zavareni, za razliku od spojeva izvedenih na gradilištu koji su pretežito montažni (najčešće vijčani). U početku su se spojevi čeličnih elemenata izvodili zakovicama, nakon čega se započelo sa uporabom vijaka, a u najnaprednije načine izvođenja spadaju već spomenuto zavarivanje i visokovrijedni (VV) vijci. Provođenjem opažanja kroz životni vijek konstrukcije došlo se do određenih spoznaja u ponašanju pojedinih tipova spojeva, pa su tako primjećene razne prednosti i nedostaci istih. Studijama je dokazano da se različiti spojevi različito deformiraju, stoga je strogo zabranjena kombinacija različitih spojeva u istom spoju. U izvanrednim slučajevima se dopušta kombinacija vara i visokovrijednih (VV) vijaka jer im je deformabilnost slična. Općenito, svi postupci spajanja moraju ostvariti pravilan i kontinuiran prijenos sila s jednog konstrukcijskog elementa na drugi.

Obzirom na spojna sredstva, spojevi se dijele na one koji su ostvareni :

- Zakovicama,
- Vijcima,
- Zavarima,
- Trnovima,
- Posebnim sredstvima.[5]

### 3.5.1. Zavareni spojevi

Zavarivanje je spajanje dva metalna elementa dovođenjem topline tako da se stvara materijalni kontinuitet. Najčešći postupci zavarivanja u radionicama i na gradilištu su:

- Zavarivanje električnim lukom – ručno (MMA),
- Zavarivanje električnim lukom pod zaštitom plina (MAG),
- Zavarivanje električnim lukom pod zaštitom praška (SAW),
- Zavarivanje trna električnim lukom.[5]

Zavarene spojeve koji se koriste kod građevinskih konstrukcija možemo podijeliti na :

- Varove u uvali (Slika 11.)

Dominantni tip vara sa ukupnim udjelom od 80% u zavarenim konstrukcijama. Ekonomski je prihvatljiv jer se ne zahtijeva priprema krajeva spojnih elemenata, ali je slab pri umoru i estetski ne zadovoljava. Razlikujemo tri tipa : križni ili T spoj, spoj sa preklopom i kutni spojevi.

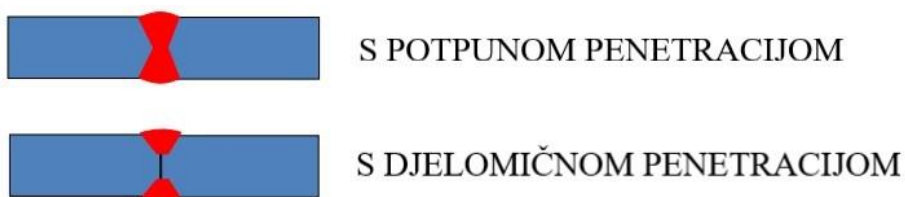


Slika 11. Varovi u uvali

- Sučeoane zavare

Udio od 15% u zavarenim konstrukcijama. Skupi su jer se zahtijeva priprema krajeva elemenata, ali su dobri kod umora i estetski privlačni. Razlikujemo sučeoane

varove pune i djelomične penetracije prikazane na slici 12.



Slika 12. Sučeoni zavari

- Varovi u rupama i prozrezima

Sprečavaju izvijanje i odvajanje preklopljenih ploča te se rijetko koriste u zavarenim konstrukcijama.

- Točkasti varovi

Spajanje tankih elemenata pomoću dvije elektrode kroz koje prolazi struja čime se lokalno tope dijelovi koji se spajaju. Pritiskom se stvara "fuzijska" točka, a linija takvih točaka tvori spoj. Također se rijetko koriste u zavarenim konstrukcijama.

### 3.5.2. Vijčani spojevi

S obzirom da su vijci potisnuli primjenu zakovica u praksi, sva pravila glede konstrukcijskog oblikovanja spojeva s vijcima vrijede i za zakovice.[2] Proces izrade vijčanih spojeva je jednostavan kao i njihovo ugrađivanje stoga se češće koriste u čeličnim konstrukcijama. Osim toga, vrlo se lako prilagođavaju potrebama na gradilištu.

U takvim spojevima vijci se mogu ponašati kao :

- Vijci naprezani na posmik

Pomicanje spojenih ploča spriječeno je prvenstveno preko stabla vijka.

- Prednapeti tarni spojevi ostvareni s visokovrijednim (VV) vijcima

Ploče su međusobno pritisnute s vlačnom silom koja se unosi u vijke zatezanjem.

- Vijci u vlaku

Unutarnje sile prenose se pomoću vijaka naprezanih na posmik i trenja između ploča u slučaju tarnih priključaka izvedenih s prednapetim vijcima.[5]

#### 4. ČELIK KAO "ZELENI MATERIJAL"

Mogućnost recikliranja i ponovne upotrebe čini čelik ekološki prihvatljivim pa se stoga još naziva i "zeleni materijal". Danas zastupljeni model kružne ekonomije stavlja naglasak na recikliranje kao najvažniji dio u ciklusu nekog materijala. Osnovna ideja tog modela je "nula otpada, ponovna upotreba materijala, recikliranje" i ona je ključna za koncept održivosti.[3] Proizvođači čelika vode se tom idejom pri čemu im uvelike pomažu predispozicije tog materijala koji je sam po sebi praktičan za provođenje iste. Tako čelična industrija svake godine izvještava o rezultatima održivosti iz kojih je vidljivo da je u posljednjih pola stoljeća došlo do pada od 60% u potrošnji energije po toni proizvedenog čelika.[3] Osim toga, ulaganjem u tehnologiju i znanstvena istraživanja uvelike je smanjena količina sirovina potrebnih za izradu čelika, a izradom čelika visoke čvrstoće smanjila se vlastita težina elemenata. Čelik se može 100% reciklirati i pri tome zadržava svojstva izvornog čelika, a kada materijal ima sposobnost recikliranja u kvalitetom isti materijal to još nazivamo pristupom "od kolijevke do kolijevke" (engl. cradle to cradle approach).[3] Sirovine potrebne za proizvodnju čelika i danas su dostupne u velikim količinama, no to se isto ne može reći i za čelični otpad koji općenito nedostaje zbog dugog vijeka trajanja čelika. Bez obzira na to, čelična industrija reciklira sav dostupan čelik te je on danas najrecikliraniji materijal na svijetu. Velika važnost pridaje se smanjenju emisije stakleničkih plinova (CO<sub>2</sub>) u proizvodnji pa se tako razvojem suvremenih tehnologija "hvatanja i skladištenja ugljika" ta emisija znatno smanjila i svela na minimum. Šljaka, kao glavni nusproizvod proizvodnje danas se koristi u cementnoj industriji, ali i kao gnojivo jer je bogata fosforom, silicijem itd. Primjenom čelika visoke kvalitete gradnja postaje sve efikasnija sa minimalnim udjelom otpada, a zbog njegove velike otpornosti broj nosivih elemenata u konstrukciji moguće je smanjiti i na taj način maksimalno iskoristiti prostor za potrebe investitora. Osim toga, čelične konstrukcije lako se prilagođavaju promjeni konfiguracije jer se vrlo brzo demontažom i ponovnom montažom dovode u željeni oblik.

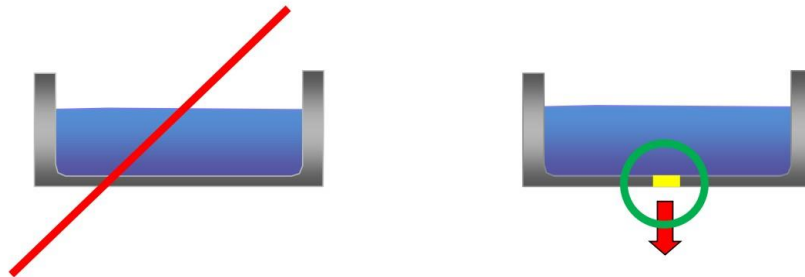
## 5. ZAŠTITA ČELIČNIH KONSTRUKCIJA

### 5.1. Zaštita od korozije

Čelik koji se primjenjuje za izradu čeličnih konstrukcija potrebno je zaštititi od korozije koja se uobičajeno kao kemijski proces pojavljuje na površini metala. Obzirom na okruženje u kojem nastaje, koroziju možemo podijeliti na "suhu" koja se događa u zraku bez vlage te "mokru" koroziju koja javlja u uvjetima kada relativna vlaga u zraku prelazi 60%. Osim vlažnosti okoliša, na pojavu korozije bitno utječu atmosferske nečistoće (sulfidi i kloridi) te prisutnost sloja oksida na površini čelika koji je na nekim lokalnim mjestima prekinut.[6] Problem korozije potrebno je rješavati već u fazi projektiranja, tj. treba ga tretirati kao moguće "tehničko oštećenje" elemenata čelične konstrukcije.

Općenito, zaštitu od korozije možemo podijeliti na :

- Aktivnu – rješavanje detalja u fazi projektiranja koji pokazuju povećanu otpornost na koroziju (Slika 13.)



Slika 13. Aktivna zaštita od korozije

- Pasivnu – nanošenje premaza i prevlaka prilikom proizvodnje, montaže i održavanja čelične konstrukcije

Najučinkovitija zaštita od korozije postiže se uparivanjem aktivnih i pasivnih mjera zaštite.[6]

Osnovni načini zaštite čeličnih konstrukcija su :

- Premazima – ličenje, valjanje, štrcanje
- Prevlakama – formiranje metalnog sloja koji nije istovjetan osnovnoj čeličnoj podlozi [6]

U području čeličnih konstrukcija govorimo o sljedećim vrstama korozije :

- U točki ( engl. pitting corrosion ),
- Kavitacijska ( engl. crevice corrosion),
- Bimetalna ( engl. bimetallic corrosion),
- Naponska (engl. stress corrosion cracking),
- Bakteriološka (engl. bacterial corrosion).

#### 5.1.1. Zaštita premazima

Premazi su najčešći oblik zaštite čeličnih konstrukcija od korozije. Prethodno je potrebno pripremiti čelične površine za izvođenje premaza kako bi kvaliteta zaštite bila na najvišem mogućem nivou. Pri tome se koriste različiti postupci kao npr. čišćenje uranjanjem u kiselinu, pjeskarenje i plamenovanje kojima se prvenstveno uklanjaju oksidni sloj i rđa. Premaz se dobiva miješanjem pigmenta (daje boju i neprozirnost), veziva (daje film) i otapala (razrjeđuje) te neovisno o načinu na koji se on nanosi možemo reći da dolazi do stvaranja "mokrog filma" na površini elementa. S vremenom otapalo u potpunosti ishlapi, a na površini zaostaje "suhi film" koji tvore pigmenti i vezivo.

Sustav premaza sastoji se od tri sloja koji moraju biti međusobno kompatibilni :

- Temeljni sloj (primer),
- Središnji sloj (intermediate coat),
- Završni slojevi (finishes).

#### 5.1.2. Zaštita prevlakama

Zaštita čeličnih konstrukcija metalnim prevlakama primjenjuje se izvođenjem sljedećih postupaka :

- Vruće pocinčavanje,
- Štrcanje metala (aluminij i cink),
- Elektroplatiranjem. [6]

Vrijedi napomenuti da je moguća kombinacija premaza i metalnih prevlaka u tzv. Duplex-sustavu čije su karakteristike velika trajnost i mogućnost završnog izbora boje.

#### 5.2. Zaštita od požara

Požar smatramo izvanrednim djelovanjem na čeličnu konstrukciju, stoga ga je potrebno

uzeti u obzir u početnoj fazi projektiranja.

Zaštita od požara sastoji se od :

- Sprečavanja nastanka požara,
- Sprečavanja širenja požara,
- Ugradnje uređaja za gašenje i najavu požara,
- Predviđanja puteva evakuacije ljudi i dobara.

Mjera otpornosti nosivog elementa prema standardnom požaru definirana je vremenom izraženim u minutama od početka ispitivanja do trenutka otkazivanja. Klase otpornosti na požar su : R30, R60, R90, R120, R150 i R180 (R30 znači da element može izdržati 30 minuta standardni požar).[2] Svrha zaštite je produljiti vrijeme zagrijavanja čeličnih elemenata kako bi što kasnije došlo do dosezanja kritične temperature i otkazivanja nosivosti.

Razlikujemo dvije vrste mjera građevinske zaštite :

- Direktne mjere – premazivanje elemenata bojama, oblaganje ili špricanje, punjenje profila vodom.
- Indirektne mjere – zaštita elementa neotpornog na požar s elementima koji su otporni na požar.[2]

Najčešće korišteni materijali za zaštitu čelika od požara su gips, mineralna vuna, beton te razne vrste silikata. Nekada se koristio i azbest, no on je zbog svog kancerogenog djelovanja u potpunosti odbačen. U slučaju da čelična konstrukcija pretrpi djelovanje požara, nedeformirani elementi se zadržavaju u uporabi, a deformirani elementi se zamijene. Pri tome treba uzeti u obzir da kod gašenja požara vodom dolazi do kaljenja na površini čelika i povećava se vjerojatnost pojave krtog loma, zbog toga je elemente zahvaćene požarom potrebno ispitati nerazornim metodama.



## 6. SUSTAVI ČELIČNIH KONSTRUKCIJA

### 6.1. Konstrukcijsko oblikovanje

Način naprežanja elementa uvjetuje način na koji će se element izvesti. Konstrukcijske elemente možemo podijeliti na :

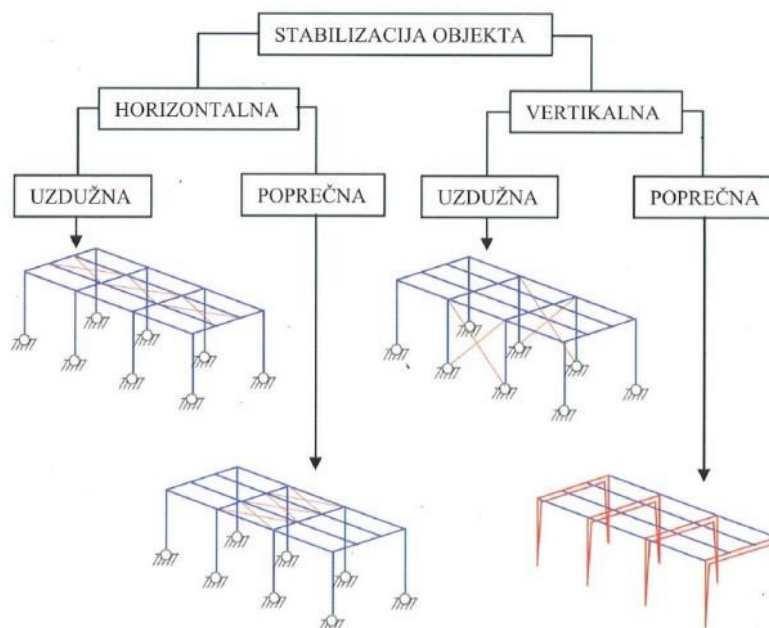
- Gredne nosače – najčešće su horizontalni te nose poprečno opterećenje koje uzrokuje moment savijanja i poprečnu silu. Mogu biti primarni i sekundarni.,
- Rešetkaste nosače – izvedeni su s vlačnim i tlačnim štapovima, a koriste se umjesto grednih nosača kada se radi o većim rasponima. Mogu biti izvedeni kao ravninske rešetke i prostorne rešetke.,
- Stupove – vertikalni elementi na koje prvenstveno djeluje tlačna sila, a često su izloženi i momentu savijanja.,
- Vlačne i/ili tlačne elemente.

### 6.2. Stabilizacija konstrukcije

Osnovna zadaća stabilizacije je osigurati prijenos do temelja svih djelovanja na konstrukciju, i to na način da ne bude ugrožena globalna stabilnost konstrukcije. Svaka građevina općenito mora imati 4 dijela ukupne stabilizacije objekta :

- Horizontalna udružna,
- Horizontalna poprečna,
- Vertikalna uzdužna,
- Vertikalna poprečna.[6]

Prikaz navedenih vrsta stabilizacije u slučaju primjene vezova dan je na Slici 14.



Slika 14. Vrste stabilizacije

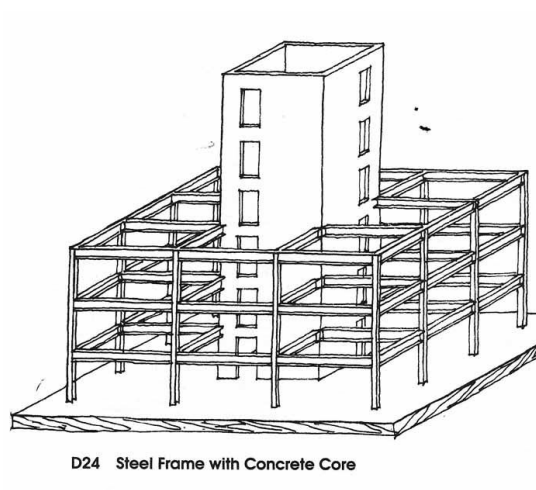
Stabilizacija se može izvoditi ugradnjom :

- Vezova

Sadrže vlačne dijagonale koje su izvedene kao puni okrugli profili ili vlačno-tlačne dijagonale izvedene kao šuplji (cijevni) profili.(Slika 14.)

- Konstrukcijskih sustava

Prostorna krutost postiže se izvedbom masivnih armiranobetonskih stijena, a ukoliko se pojedine stijene međusobno direktno spoje dobiva se jezgra (Slika 15.) koja je kruta s obzirom na savijanje i torziju. Jezgra može sadržavati stubišta, dizala i sl.



Slika 15. Armiranobetonska jezgra

### 6.3. Skeletni (okvirni) sustavi

Skeletna izgradnja je projektiranje, izrada i montaža nosive konstrukcije, koja je koncipirana od jedne okosnice ili tzv. skeleta. Takav je skelet izveden od čelika (čelični skeleti), dok se zatvaranje prostora obavlja elementima iz različitih materijala.[2] Skelet se sastoji od nosivih elemenata u horizontalnim i vertikalnim ravninama objekta, a elementi kojima se zatvara prostor skeleta su međukatne konstrukcije, pregradne i fasadne stijene. Ovisno o namjeni skelet mora imati određenu krutost i zadovoljavajuću nosivost za najnepovoljniju kombinaciju djelovanja.

Prednosti skeletne izvedbe su :

- Bolje iskorištenje tlocrta, veći razmaci stupova,
- Niža cijena koštanja,
- Funkcije nosivosti i zatvaranja prostora su odvojene,
- Fleksibilnost prenamjene prostora.[2]

Povećanjem visine znatno se povećava utjecaj horizontalnih djelovanja pa razlikujemo nosive skelete za :

- Višekatne objekte (mala vitkost) – objekti do 40 katova

Kod nižih i srednjih visina zgrada koriste se uglavnom okvirni sustavi, a ako je to moguće, kod nižih zgrada primjenjuje se armiranobetonska jezgra (stepenice i dizala) za prijenos horizontalnih sila.

- Višekatne toranjske objekte (velika vitkost) – objekti sa više od 40 katova

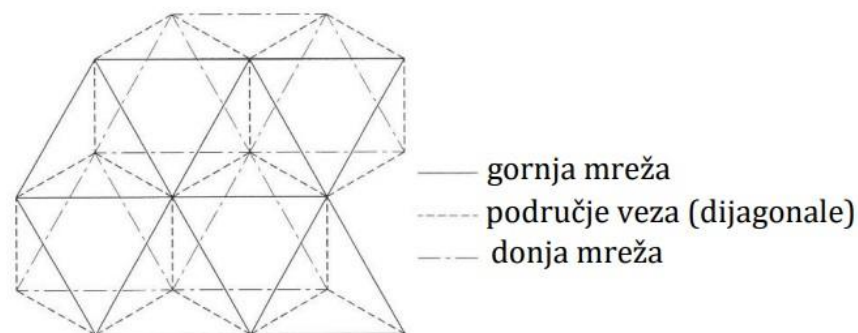
Jedini prihvatljivi nosivi sustav kod ovog tipa objekata je cijevni sustav.

### 6.4. Sustavi prostornih konstrukcija [7]

Prostorni sustavi za izvedbu krovništa čija je nosivost u dva smjera. Klasifikacija takvih sustava obzirom na njihov općeniti oblik može se izvršiti kako slijedi:

- Dvosmjerne i trosmjerne mreže

Sustavi sa gornjim i donjim mrežama koje povezuju vezni elementi tj. dijagonale, a postižu raspone i do  $L = 100\text{m}$ . Za još veće raspone uvode se trosmjerne mreže radi smanjenja dužine elementa.(Slika 16.)



Slika 16. Prostorni sustav

- Cilindrične mreže

Koriste se za izvođenje krovništa hala, aerodroma (Slika 17.), željezničkih stanica, sportskih dvorana, teniskih hala itd., maksimalna učinkovitost takvih mreža postiže se pravokutnim tlocrtom konstrukcije. Sustav sa jednom cilindričnom mrežom postiže raspone  $L \cong 20\text{m}$ , a sa dvije mreže  $L \cong 60\text{m}$ .



Slika 17. Prostorna čelična rešetka tipa "Mero"

- Kupole

Specifične konstrukcije jer one za maksimalno zatvoreni volumen građevine daju minimalnu površinu krovne plohe. Najčešće su u primjeni : kupola sa trosmjernom mrežom, paralelno lamelarna kupola te rebraste i Schwedlerove kupole. Sa jednom mrežom postižu raspone  $L \cong 40\text{m}$ , a kupole sa dvije mreže raspone od  $L \cong 100\text{m}$  pa sve do  $200\text{m}$ . Primjer kupole prikazan je na Slici 18.



Slika 18. Buckminster Fuller's Montreal Biosphere

#### 6.4.1. Prostorne rešetkaste konstrukcije

Ukoliko se izvede statički sustav sa mrežama u dva sloja i uvede pretpostavka da opterećenje djeluje isključivo u čvorovima sustava dobiva se sustav pod nazivom prostorne rešetkaste konstrukcije (spatial truss system). Osnovni dijelovi sustava su elementi (izvedeni od čelika ili manje od aluminija), čvorovi i spojevi, a formiraju se pomoću mreža i dijagonalnih štapova te slaganjem prostornih modula.

Prednosti takvih konstrukcija su :

- Transport i montaža najmanje mase,
- Kratko vrijeme izvedbe i neosjetljivost na godišnja doba,
- Ekonomski prihvatljive, mala visina konstrukcije u odnosu na raspon,
- Veliki oblikovni potencijal i sigurnost u slučaju požara.

Nedostaci su :

- Dulja radionička izrada elemenata
- Antikorozivna zaštita
- Prostorno spanjanje velikog broja štapova u čvorovima
- Dugotrajni statički proračun

Razlikujemo 3 metode montaže prostornih rešetki :

- Spajanje pojedinih elemenata na predviđenu konstrukciju u prostoru,
- Spajanje više elemenata na tlu, zatim spajanje u prostoru,
- Spajanje na tlu i dizanje montirane konstrukcije.

#### 6.5. Sustav prostornih jedinica

Montaža gotovih prostornih jedinica kao što su npr. kontenjeri na čeličnu nosivu konstrukciju. Osim toga moguće je i koristiti kontenjere kao prostornu jedinicu stanovanja.(Slika 19.)



Slika 19. Kontenjeri kao prostorna jedinica stanovanja

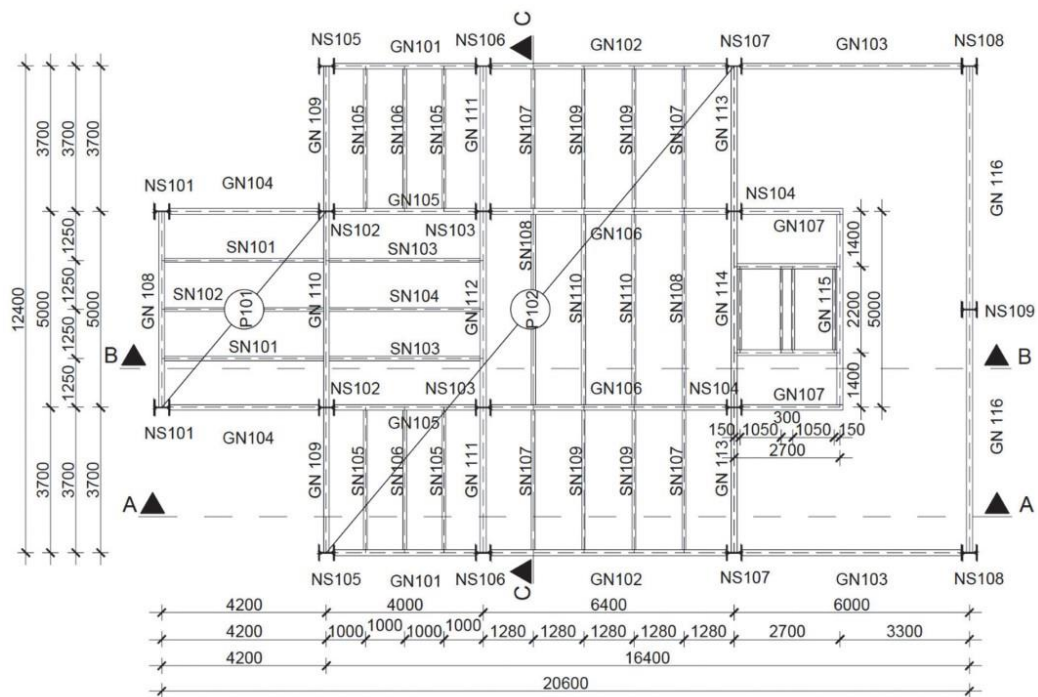
## 7. ČELIČNE KONSTRUKCIJE – PRIMJENA U PRAKSI

### 7.1. Obiteljska kuća (vila) u Zagrebu [8]

Iako u Hrvatskoj zbog jakih tradicijskih navika prevladavaju zidane i armiranobetonske konstrukcije, primjena čeličnih konstrukcija u stambenoj izgradnji zaslužuje veću pažnju. Primjer jedne takve obiteljske kuće (vile) smještene u Zagrebu, za čije je arhitektonske podloge zaslužna doc. dr. sc. Željka Jurković, komentirati će se u ovom radu.

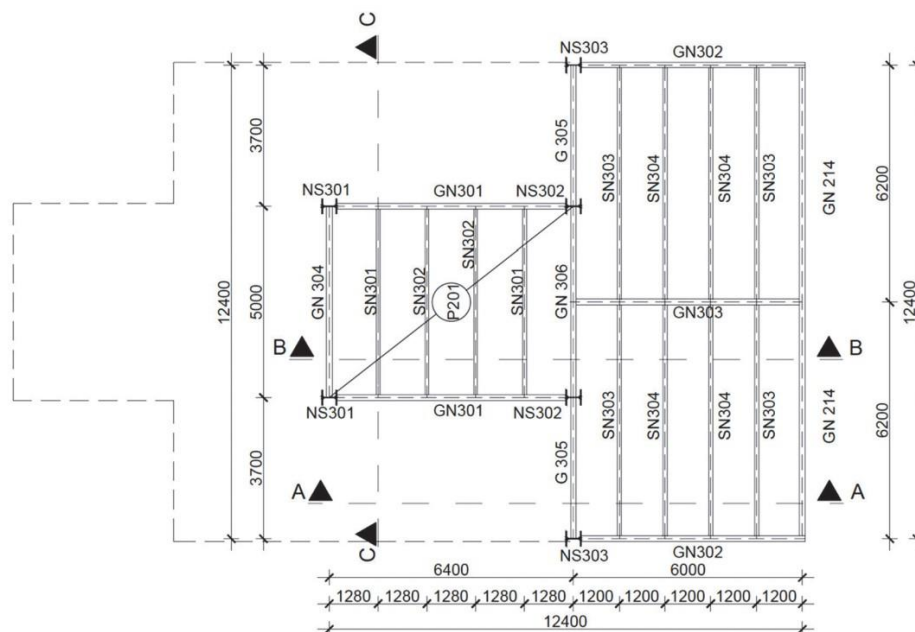
#### Prostorni koncept

Vila se sastoji od tri etaže, osnih tlocrtnih dimenzija 20,6 x 12,4 m i ukupne visine 9,3 m. Prizemlje (Slika 20.) je visine 3,18 m, dok su druga i treća etaža visoke 3,06 m. Na prvoj i drugoj etaži izvedena je terasa, a strop druge etaže podijeljen je na prohodni dio u nagibu od 27° i neprohodni ravni krov.



Slika 20. Tlocrt prvog kata

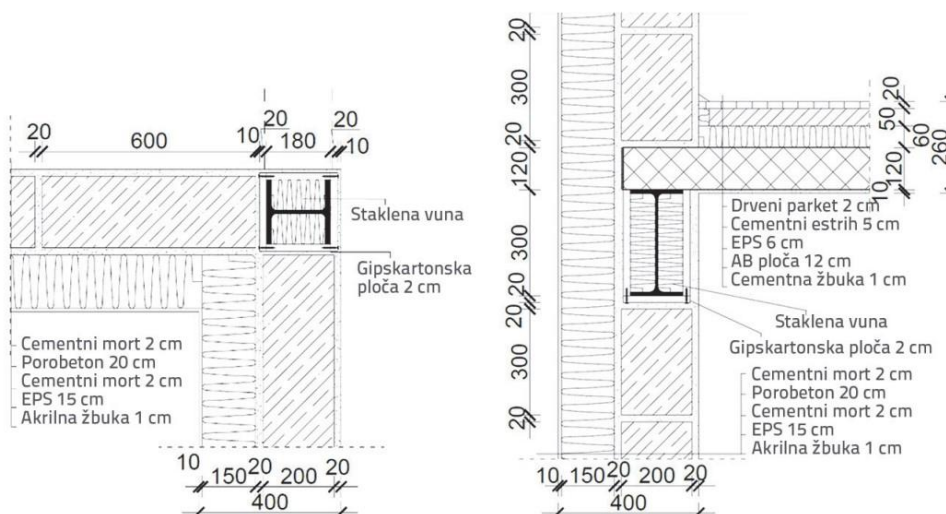
Jedna prostorija kuće na trećoj etaži (Slika 21.) osnih dimenzija 6 x 12,06 m projektirana je kao galerija s kosim staklenim krovom.



Slika 21. Tlocrt trećeg kata

Korišteni građevinski materijali i sustavi

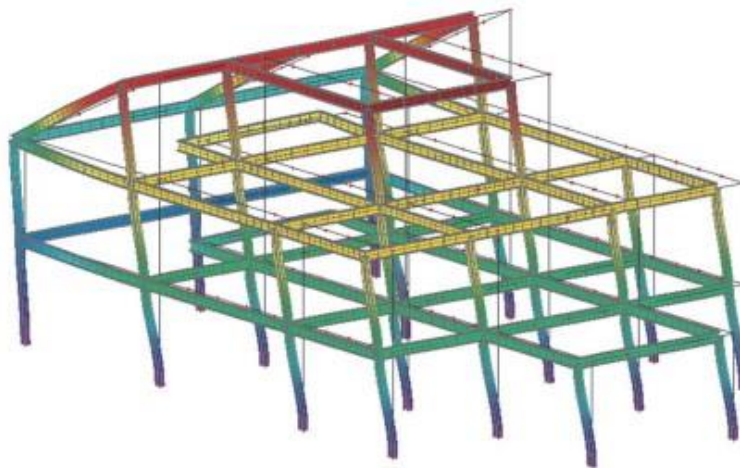
Svi nosivi elementi izrađeni su od čelika kvalitete S275. Međukatna konstrukcija izvedena je kao armiranobetonška ploča debljine 15cm i razreda betona C25/30, a položena je preko roštiljne čelične konstrukcije od glavnih i sekundarnih greda. Stupovi su izvedeni kao širokopojasni HEB profili (Slika 22. lijevo), a za primarne i sekundarne grede te konstrukciju stubišta korišteni su IPE profili (Slika 22. desno).



Slika 22. Detalji rubnog stupa (lijevo) i rubne grede (desno)



Spojevi greda i stupova te stupova i temelja izvedeni su kao kruti, a spoj međukatne sekundarne i glavne grede kao zglobovi. Radi se o čistoj okvirnoj čeličnoj konstrukciji sa stupovima koji su upeti u temelje pa iz tog razloga nije potrebna horizontalna i vertikalna stabilizacija konstrukcije što je vidljivo na slici 23.

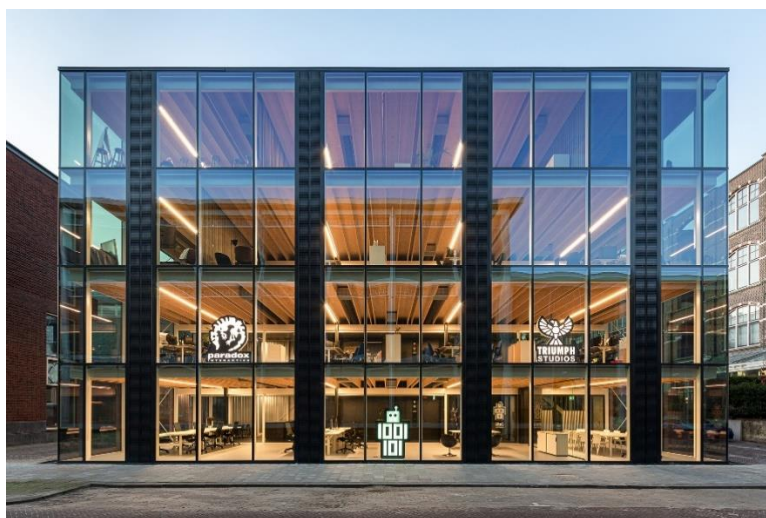


Slika 23. Okvirni sustav kuće

Zaštita čeličnih profila od požara predviđena je oblaganjem nosivih elemenata gipkartonskim pločama debljine 1 cm, koje istovremeno imaju ulogu toplinske izolacije. Vrijedi spomenuti da izvedba ove kuće daje utrošak čelika od  $65 \text{ kg/m}^2$  (49kg konstrukcijski čelik i 16 kg armaturni čelik) i betona od  $0,06 \text{ m}^3/\text{m}^2$ .

#### 7.2. Montažna poslovna zgrada u Delftu ("Zgrada D") [9]

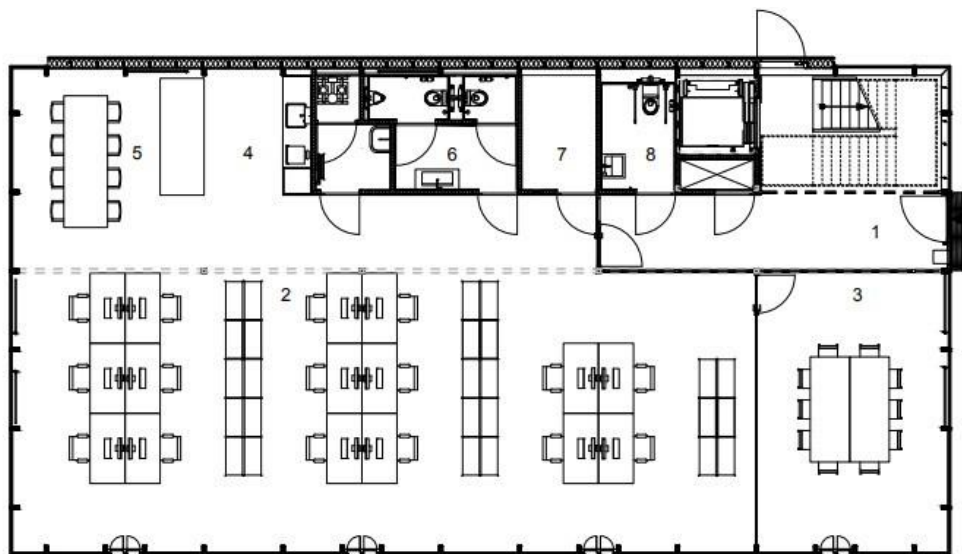
Ova moderna, održiva i potpuno montažna zgrada prikazana na slici 24. nalazi se u središtu Nizozemskog grada Delfta i u vlasništvu je tvrtke Cepezed. Sagrađena je potkraj 2019. godine, a danas se u njoj nalaze poslovni prostori.



Slika 24. Montažna poslovna zgrada u Delftu

## Prostorni koncept

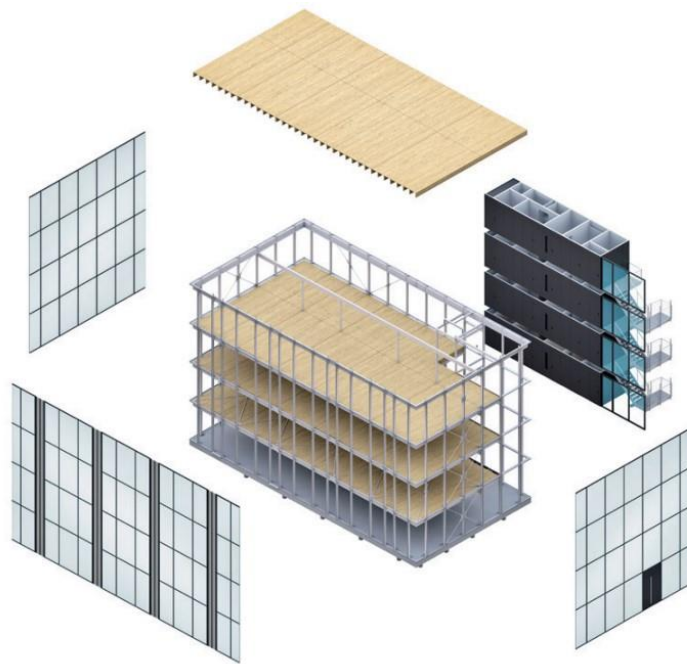
Objekt je izgrađen u gabaritima građevine koja se prethodno nalazila na istom mjestu, ali je zbog zastarjelosti morala biti srušena. Pravokutnog je oblika sa osnim tlocrtnim dimenzijama 21,5 x 11 m te sadrži četiri etaže sa ukupno 800 m<sup>2</sup> iskoristivog prostora. Zgrada je također potpuno fleksibilna u svom rasporedu. Na slici 25. prikazan je tlocrt prizemlja u kojem se nalaze hodnik (1), uredski prostori (2), soba za sastanke (3), ostava (4), blagavaona (5), sanitarni čvor (6, 8) i spremište (7).



Slika 25. Tlocrt prizemlja

## Korišteni građevinski materijali i sustavi

Ovo je hibridna zgrada jer se osim čelika koriste drvo i staklo. (Slika 26.) Temelji su izrađeni od armiranog betona, a svi ostali građevinski elementi su modularni i suhomontažni. Nosiva konstrukcija izrađena je od izuzetno vitkih čeličnih profila u skeletnom sustavu gradnje dok je međukatna konstrukcija izvedena od laganih drvenih elemenata od lameliranog furnira (LVL). Rebra LVL elemenata ostaju potpuno vidljiva i dio su estetike zgrade. Objekt nema okvire prozora već je dvoslojno izolacijsko staklo izravno montirano na čeličnu konstrukciju te je zbog toga ona opremljena zavarenim vijčanim profilima. Fasada je u velikoj mjeri prozirna, što omogućuje snažnu vidljivost i odnose između unutarnjeg i vanjskog svijeta. Cijela zgrada funkcionira kao jedan veliki protupožarni odjeljak, a kao rezultat toga bilo je potrebno malo materijala za zaštitu od požara. Kompletan konstrukcija čeličnog skeleta i drvenih podova sastavljena je u tri tjedna, a cjelokupna izgradnja trajala je nešto više od pola godine.



Slika 26. Sustav građevine

### 7.3. Radionička hala u Zagrebu

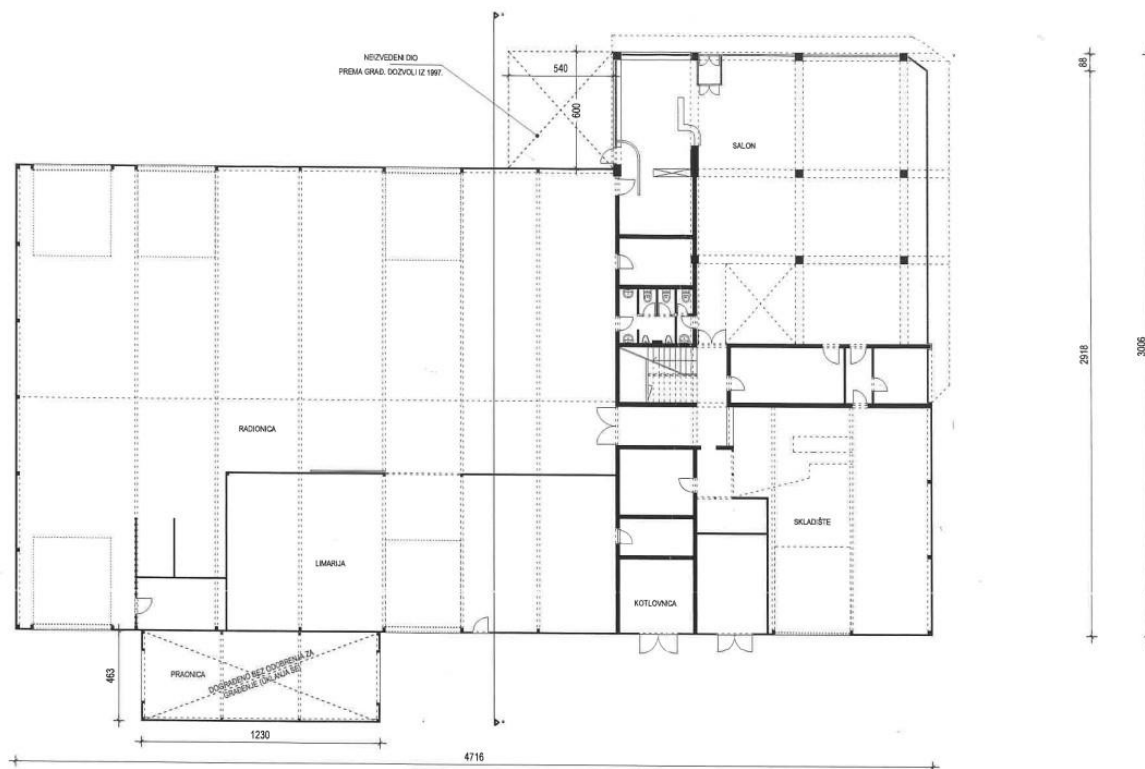
Ova građevina na slici 27. nalazi se u Zagrebu, gradska četvrt Sesvete. Investitor, a ujedno i vlasnik je Franjo Bolčević. Projektirao ju je Dragutin Brodnjak ing. građ. dok je ovlaštenu revident bio mr. sc. Ivan Fišter dipl. ing. građ.



Slika 27. Hala Bolčević

## Prostorni koncept

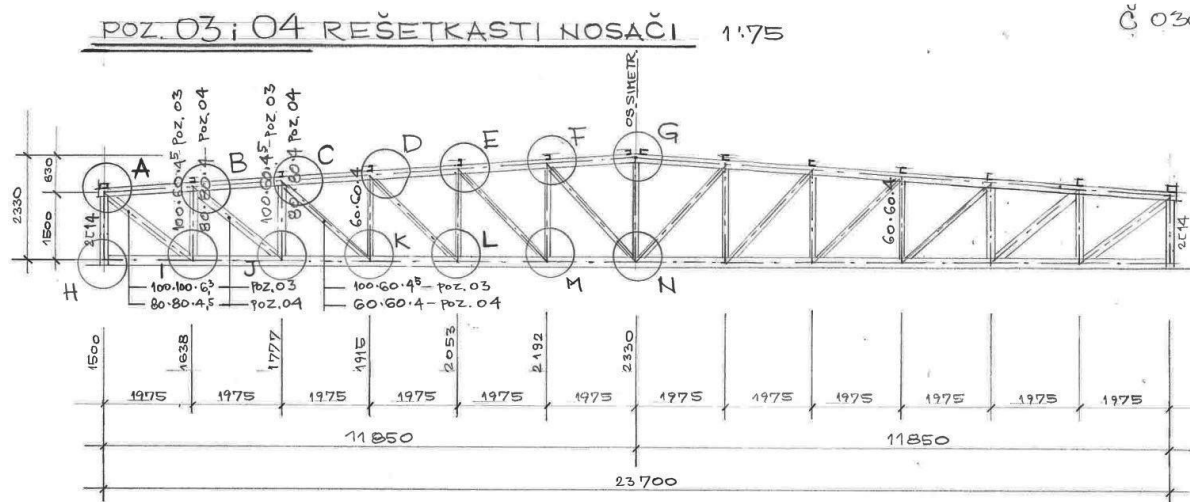
Ovaj objekt ima osne tlocrtne dimenzije 40,16 x 30,06 m (Slika 28.) i sastoji se od dva dijela: poslovnih prostora i radionice koji su povezani u jednu cjelinu. Poslovni prostori nalaze se u armiranobetonskom dijelu građevine koji je ujedno i dvoetažni sistem, dok je radionica izvedena kao jednoetažna čelična konstrukcija te će se ona u ovom radu komentirati. Površina betonskog dijela građevine iznosi 552 m<sup>2</sup>, a čeličnog dijela 888m<sup>2</sup>.



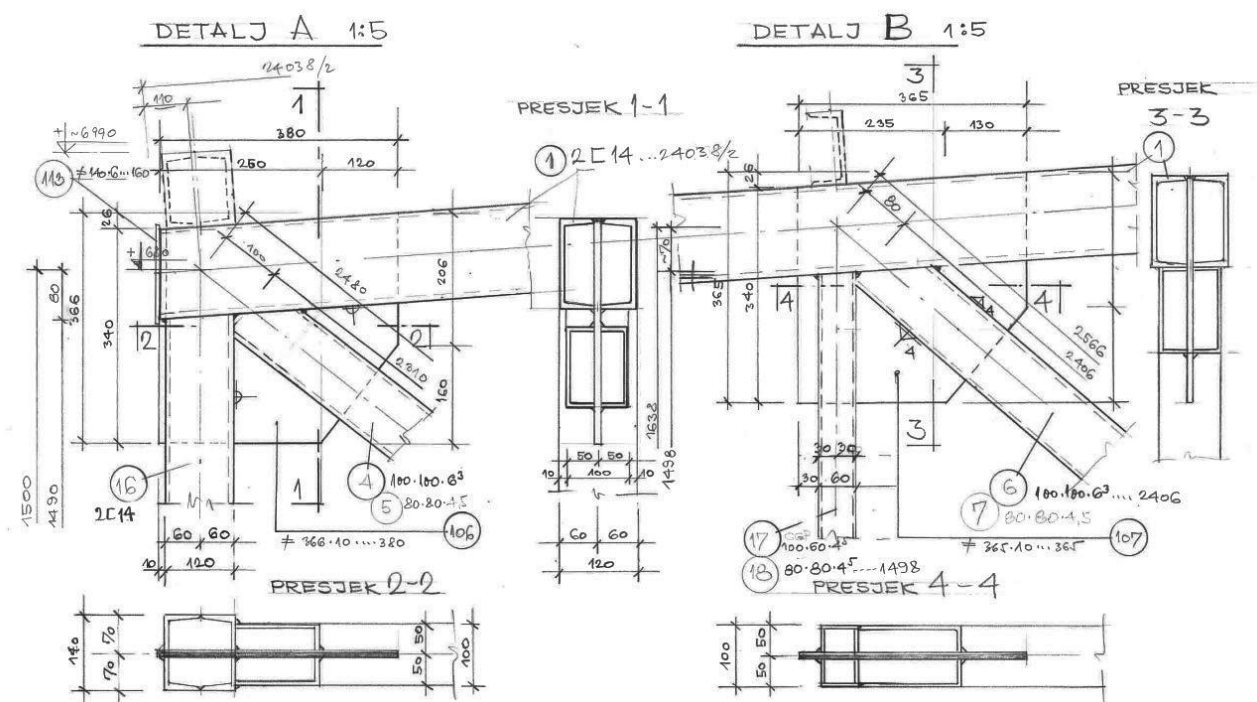
Slika 28. Tlocrt prvog kata hale

## Korišteni građevinski materijali i sustavi

Svi nosivi elementi izvedeni su od čelika S235 dok je pod izveden kao armiranobetonska ploča debljine 14 cm i razreda betona C25/30. Glavni stupovi izvedeni su kao dva sučeono zavarena (po cijeloj svojoj visini) U16 profila te su sidreni u temelje na odgovarajući način. Radi se o okvirnom sustavu gdje su prva dva rešetkasta nosača na razmaku od 5,4 m, a preostali nosači na razmaku od 4 m. Gornji i donji pojas te prva i posljednja vertikalna rešetkastog nosača projektirani su kao dva sučeono zavarena U14 profila dok je ispuna rešetke izvedena od toplo dogotovljenih cijevnih profila.(Slika 29.) Kod spajanja ispune s donjim i gornjim pojasom rešetkastog nosača korišteni su čvorni limovi kao što je prikazano na detaljima A i B.(Slika 29.) Krovšte je dvostrešno s blagim nagibom (5°), a izvedeno je od panela.

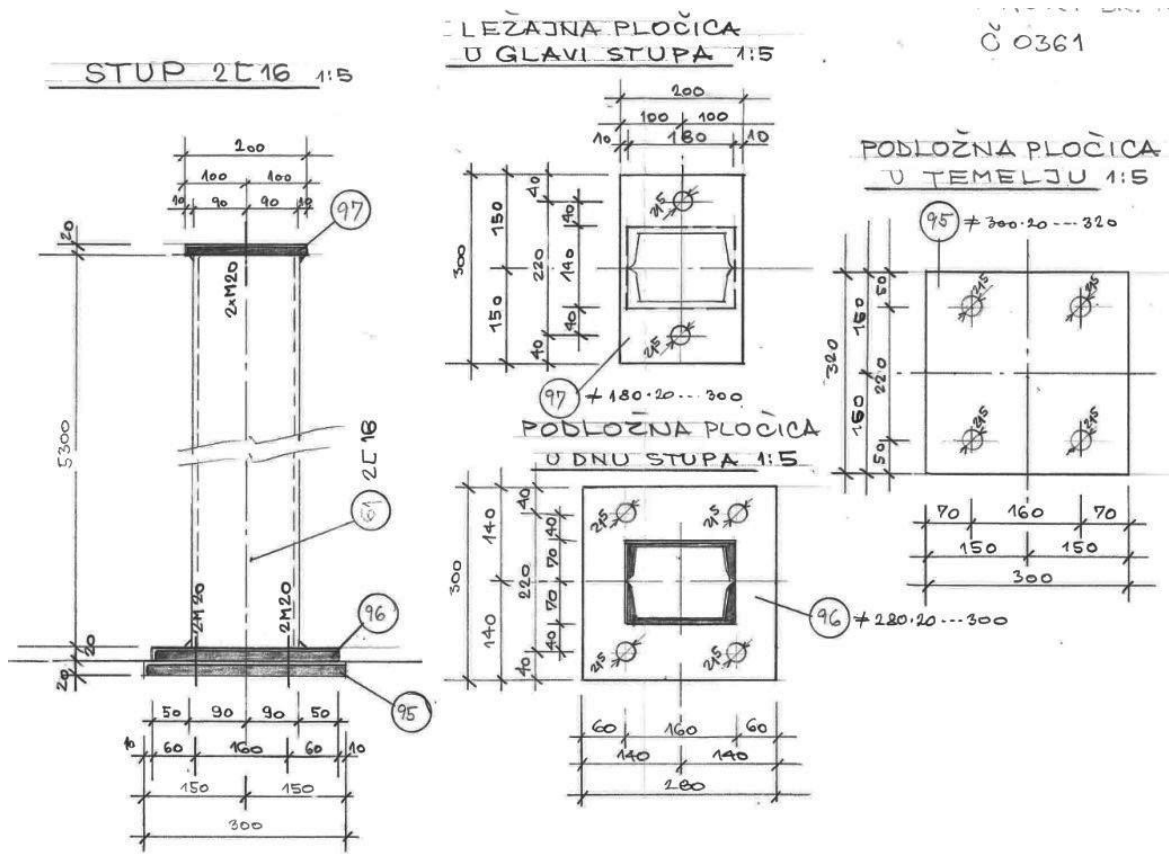


Slika 29. Rešetkasti nosač

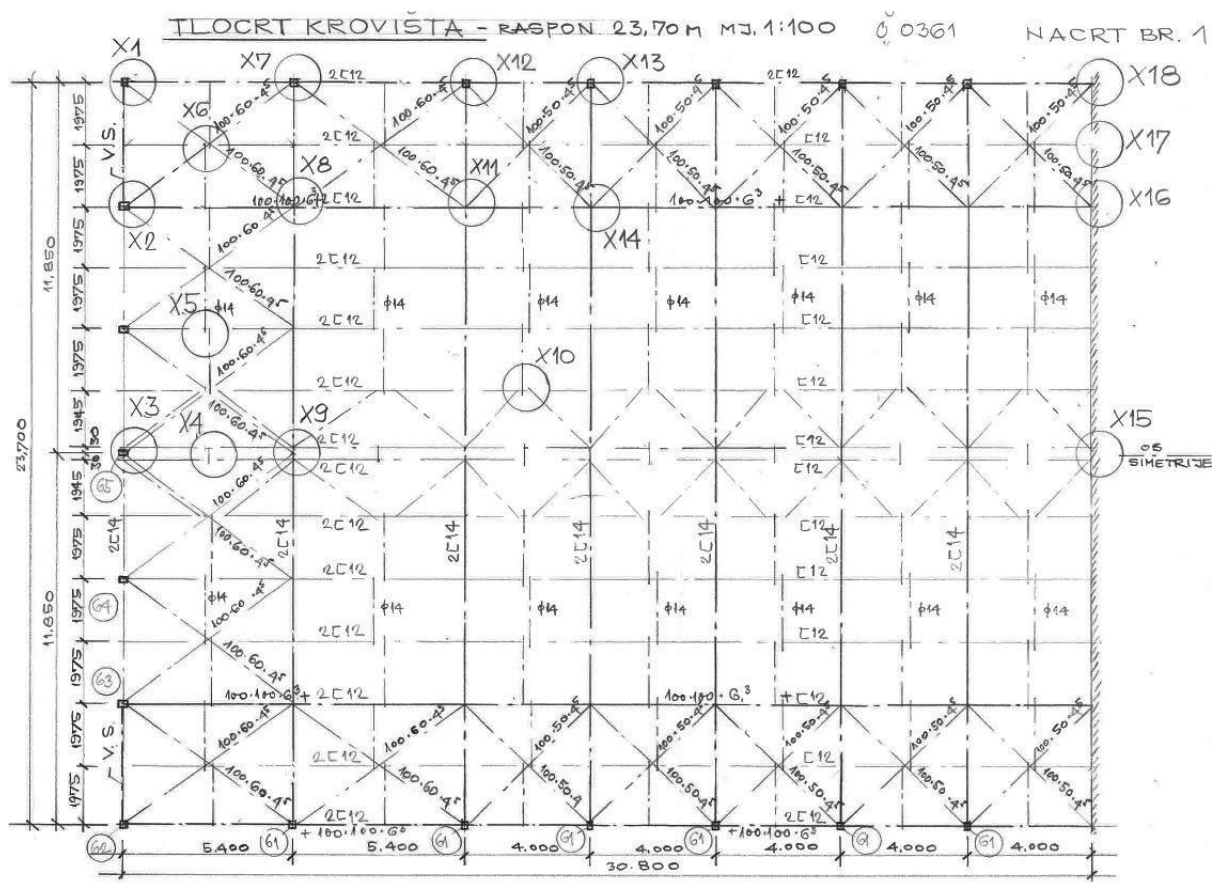


Slika 30. Detalji čvorova A i B

Za razliku od primjera čelične kuće, u ovom slučaju stupovi su zglobno povezani s temeljem pa je iz toga razloga bilo potrebno izvesti horizontalnu i vertikalnu stabilizaciju konstrukcije. Detaljan prikaz spajanja stupa s temeljem vidljiv je na slici 31. Horizontalna uzdužna i poprečna stabilizacija izvedene su spregom od toplo dogotovljenih čeličnih cijevnih profila, a postavljene su u rubna polja krovišta hale kao što je prikazano na slici 32.

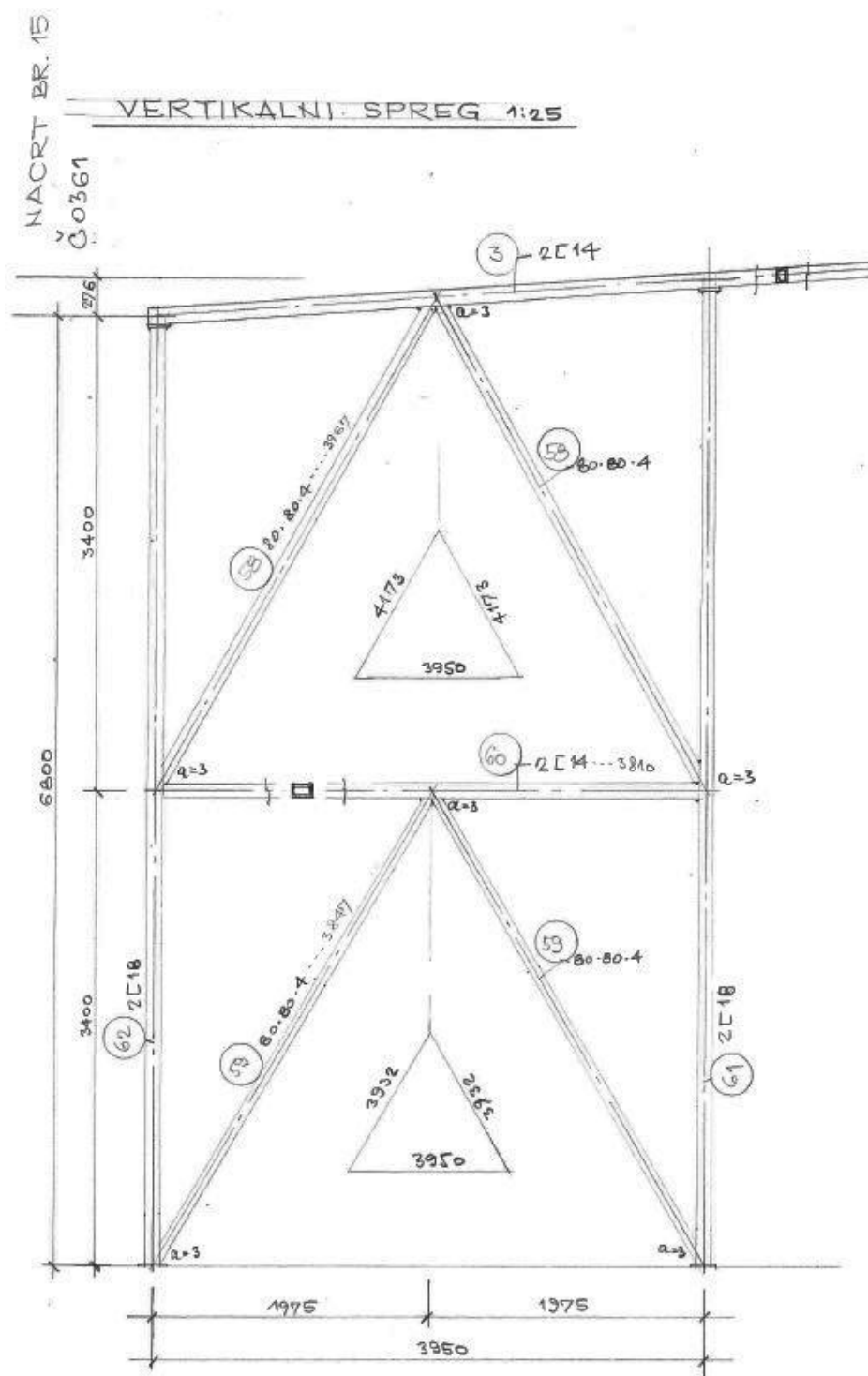


Slika 31. Spajanje stupa s temeljem



Slika 32. Tlocrt krovišta sa horizontalnom uzdužnom i poprečnom stabilizacijom

Vetikalna stabilizacija postavljena je na zapadnoj zabatnoj strani objekta u rubnim poljima hale, a izvedena je također od toplo dogotovljenih čeličnih cijevnih profila.(Slika 33.)



Slika 33. Vertikalni spreg

Vrijedi spomenuti da je za izradu ove čelične konstrukcije utrošeno oko  $40 \text{ kg/m}^2$  tlocrta konstrukcije.

## ZAKLJUČAK

S obzirom na sve navedeno u prethodnim poglavljima završnog rada, mogu se istaknuti sljedeća zaključna mišljenja. Masovna proizvodnja, a time i uporaba čelika, započinje sredinom 19. stoljeća. Razvoj računalne tehnologije sredinom 20. stoljeća omogućio je automatizaciju proizvodnje i povećanje produktivnosti u radu, pri čemu treba istaknuti postupke u kisikovim konvertorima kao primarne postupke proizvodnje čelika danas. Čelik se u graditeljstvu nameće svojim ekonomskim, tehničkim i estetskim prednostima. Vrlo je pogodan građevinski materijal zahvaljujući svojstvu duktilnosti, a razlikujemo nelegirani (ugljični) čelik i legirani čelik. Na tržištu postoje mnogobrojni tipovi čeličnih profila pri izboru za primjenu u konstrukcijama, a mogu biti toplo valjani, hladno valjani, lijevani, hladno vučeni, kovani, toplinski obrađeni. Oblici poprečnog presjeka mogu biti puni, šuplji, složeni i hladno oblikovani profili. Pri oblikovanju konstrukcija neophodni su spojevi pojedinih elemenata koji mogu biti vijčani ili zavareni. Čelik se zbog svoje ekološke prihvatljivosti još naziva i "zeleni materijal". Zaštita čeličnih konstrukcija neophodna je radi trajnosti i opasnosti od požara. Razlikuju se dvije vrste zaštite i to zaštita od korozije i protupožarna zaštita. Sustavi čeličnih konstrukcija mogu biti skeletni (okvirni) i prostorni, pri čemu je potrebno posebno istaknuti prostorne jedinice. Primjena čeličnih konstrukcija u visokogradnji je široka pa se tako koriste pri izvođenju stambenih i poslovnih zgrada, u gospodarstvu za razne hale, visoke tornjeve, silose itd. Pružaju mnoge prednosti u odnosu na tradicionalnu armiranobetonsku izvedbu. U pogledu ekonomičnosti ističu se kratkim vremenom izgradnje, jeftinim temeljenjem te jednostavnim integriranjem instalacija, fasade i ostalih elemenata. Fleksibilne su jer omogućuju jednostavnu buduću preinaku i obnovu, odvajanje spojeva i lagana pojačavanja. Estetski gledano, daju više slobode u izražavanju i više kreativnosti u projektiranju te istovremeno odaju dojam transparentnosti, vitkosti i lakoće. Gradilište na kojem se izvodi čelična konstrukcija je "prijateljsko" susjedno gradilište zbog malo buke, prašine i rasipanja materijala, a osim toga ima i niske zahtjeve transporta. Postoje učinkovita rješenja za akustičku i toplinsku izolaciju. Vrijedi istaknuti da su čelične konstrukcije zbog svoje male težine, a izuzetno velike nosivosti i duktilnosti povoljne za korištenje na potresno aktivnim područjima.



## POPIS LITERATURE

- [1] Gojić M., Metalurgija čelika, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2006.
- [2] Androić B., Dujmović D., Džeba I., Metalne konstrukcije 1, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1994.
- [3] Androić B., Dujmović D., Androić Brajčić I., Čelik u arhitekturi, strukturama visoke tehnologije i potresu, Zagreb, 2022.
- [4] Androić B., Dujmović D., Čelične konstrukcije 1 (dio 1.), Zagreb, 2021.
- [5] Androić B., Dujmović D., Čelične konstrukcije 1 (dio 2.), Zagreb, 2021.
- [6] Androić B., Dujmović D., Čelične konstrukcije 1, Zagreb, 2009.
- [7] Skejić D., Separat "Sustavi prostornih konstrukcija", Predavanja iz Metalnih konstrukcija 2
- [8] Mihić, F., Markulak, D., Dokšanović, T.: Primjena čeličnih konstrukcija u stambenoj izgradnji, GRAĐEVINAR, 74 (2022) 5, pp. 419-431
- [9] <https://www.cepezed.nl/files/publications/building-demountable-eng.pdf>

## POPIS SLIKA

Slika 1. Shematski prikaz proizvodnje čelika

Izvor : [2]

Slika 2. Bessemerov konvertor

Izvor : [https://en.wikipedia.org/wiki/Bessemer\\_process](https://en.wikipedia.org/wiki/Bessemer_process)

Slika 3. Siemens-Martinova peć

Izvor : <https://www.britannica.com/technology/open-hearth-process>

Slika 4. Shematski prikaz faza proizvodnje čelika u kisikovom konvertoru

Izvor : [1]

Slika 5. Tipovi " I " profila

Izvor : [2]

Slika 6. Profili različitih poprečnih presjeka

Izvor : [2]

Slika 7. Šuplji profili

Izvor : [2]

Slika 8. Puni profili

Izvor : [2]

Slika 9. Složeni profili

Izvor : [2]

Slika 10. Hladno oblikovani profili

Izvor : [2]

Slika 11. Varovi u uvali

Izvor : Predavanja iz Metalnih konstrukcija 1

Slika 12. Sučeoni zavari

Izvor : Predavanja iz Metalnih konstrukcija 1

Slika 13. Aktivna zaštita od korozije

Izvor : Predavanja iz Metalnih konstrukcija 1

Slika 14. Vrste stabilizacije

Izvor : [6]

Slika 15. Armiranobetonska jezgra

Izvor : <http://westonk12engineering.org/structures/pages/frames.htm>

Slika 16. Prostorni sustav

Izvor : [7]

Slika 17. Prostorna čelična rešetka tipa "Mero"

Izvor : <https://www.zagreb-airport.hr/poslovni/press/galerija/npt-u-izgradnji/309>

Slika 18. Buckminster Fuller's Montreal Biosphere

Izvor : <https://www.azuremagazine.com/article/buckminster-fuller-montreal-biosphere/>

Slika 19. Kontenjeri kao prostorna jedinica stanovanja

Izvor : <https://theconstructor.org/building/pros-and-cons-of-shipping-container-homes/561894/>

Slika 20. Tlocrt prvog kata

Izvor : [8]

Slika 21. Tlocrt trećeg kata

Izvor : [8]

Slika 22. Detalji rubnog stupa (lijevo) i rubne grede (desno)

Izvor : [8]

Slika 23. Okvirni sustav kuće

Izvor : [8]

Slika 24. Montažna poslovna zgrada u Delftu

Izvor : [9]

Slika 25. Tlocrt prizemlja

Izvor : [9]

Slika 26. Sustav građevine

Izvor : [9]

Slika 27. Hala Bolčević

Izvor : vlastita galerija

Slika 28. Tlocrt prvog kata hale

Izvor : Radionička dokumentacija - arhiva revidenta

Slika 29. Rešetkasti nosač

Izvor : Radionička dokumentacija - arhiva revidenta

Slika 30. Detalji čvorova A i B

Izvor : Radionička dokumentacija revident

Slika 31. Spajanje stupa s temeljem

Izvor : Radionička dokumentacija - arhiva revidenta

Slika 32. Tlocrt krovšta sa horizontalnom uzdužnom i poprečnom stabilizacijom

Izvor : Radionička dokumentacija - arhiva revidenta

Slika 33. Vertikalni spreg

Izvor : Radionička dokumentacija - arhiva revidenta