

# Industrijski način građenja - predgotovljene betonske konstrukcije

---

**Mraović, Vitomir**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University North / Sveučilište Sjever**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:565087>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-23**

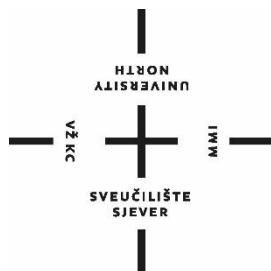


*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



**DIPLOMSKI RAD br.**

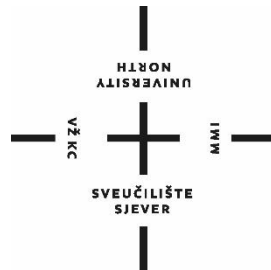
**INDUSTRIJSKI NAČIN GRAĐENJA –  
PREDGOTOVLJENE BETONSKE  
KONSTRUKCIJE**

Vitimir Mraović

Varaždin, studeni 2022.

**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**

**Studij graditeljstva**



**DIPLOMSKI RAD br.**

**INDUSTRIJSKI NAČIN GRAĐENJA –  
PREDGOTOVLJENE BETONSKE  
KONSTRUKCIJE**

Student:  
Vitomir Mraović, 3493/601

Mentor:  
mr.sc. Miroslav Bunić

Varaždin, studeni 2022.

## **ZAHVALA**

*Ovim putem želim se zahvaliti mentoru mr.sc. Miroslavu Buniću, na stručnoj i profesionalnoj suradnji pri izradi rada i smjernicama koje su u konačnici rezultirale znanstvenim doprinosom ovog rada našoj građevinskoj struci.*

*Također, zahvaljujem kolegama iz tvrtke Beton Lučko d.o.o. koji su mi ustupili podatke o tehnološkim procesima u vlastitom pogonu koji su implementirani u rad.*

*U konačnici, zahvaljujem svojoj obitelji na bezuvjetnoj podršci u mom neprestanom osobnom i profesionalnom usavršavanju.*

## **SAŽETAK**

Ovaj rad bavi se primjenom predgotovljenih betonskih konstrukcija u građevinarstvu kroz opisanu klasifikaciju montažnih sustava te faze proizvodnje konstrukcija od predgotovljenih betonskih elemenata.

Rad je koncipiran u četiri poglavlja. U uvodnom dijelu prikazane su osnovne postavke rada odnosno primjena predgotovljenih konstrukcija u izgradnji hala, stambenih građevina, mostova, nadvožnjaka i dr. Drugo poglavlje bavi se klasifikacijom montažnih sustava u pogledu konstrukcijskih sustava na koji se primjenjuju. Treće poglavlje definira proizvodnju predgotovljenih betonskih elemenata na primjeru iz aktivnog proizvodnog pogona jedne domaće tvrtke. Zaključno, dalje se osvrta na izrađeni rad i završno mišljenje autora.

**KLJUČNE RIJEČI: betonske konstrukcije, montažni sustavi, predgotovljeni elementi, kontrolirani uvjeti**

## **ABSTRACT**

This paper deals with precast concrete structures in construction through the described classification of prefabricated systems and the construction phase of prefabricated concrete elements.

The paper is designed in four chapters. The opening part sets out the basic working settings, namely the application of prefabricated buildings in the construction of halls, residential buildings, bridges, overpasses etc. The second chapter deals with the classification of prefabricated systems with regard to the design systems to which they apply. The third chapter defines the production of precast concrete elements from example of an active production facility of a domestic company. In conclusion, the work and final opinion of the author continue to be addressed.

**KEYWORDS: concrete structures, prefabricated systems, prefabricated elements, controlled conditions**

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	6
1.1. Općenito o predgotovljenim betonskim elementima.....	6
1.2. Prednosti i nedostaci montažne gradnje betonskih konstrukcija.....	8
1.3. Primjena predgotovljenih elemenata u niskogradnji.....	10
1.4. Primjena predgotovljenih elemenata u visokogradnji.....	12
1.4.1. Stupovi.....	14
1.4.2. Grede.....	15
1.4.3. Ploče.....	15
2. KLASIFIKACIJA MONTAŽNH SUSTAVA.....	19
2.1. Metodologija klasifikacije.....	19
2.2. Klasifikacija prema konstrukciji.....	20
2.2.1. Velikoplošni sustavi.....	20
2.2.2. Skeletni sustavi.....	26
2.2.3. Prostorni montažni sistemi (modularna gradnja).....	30
2.2.4. Mješoviti sustavi.....	32
3. PROIZVODNJA PREDGOTOVLJENIH BETONSKIH ELEMENATA.....	35
3.1. Priprema proizvodnje.....	35
3.2. Organizacija proizvodnje.....	41
3.3. Odlaganje novih elemenata.....	48
4. ZAKLJUČAK.....	53
5. POPIS LITERATURE.....	55
POPIS SLIKA.....	56

# 1. UVOD

## 1.1. Općenito o predgotovljenim betonskim elementima

Predgotovljene betonske konstrukcije razvile su se u građevinarstvu iz dvije osnovne potrebe – željom za bržom izgradnjom objekata te potrebom za poboljšanjem kvalitete betonskih elemenata.

Masovna stanogradnja u vrhuncu industrijalizacije prisilila je građevinare na širu uporabu montažne gradnje. Razvojem tehnologije armiranog betona, on postaje glavni građevinski materijal u postupcima montažnog građenja, posebice u razdoblju intenzivne industrijalizacije i masovne serijske proizvodnje gotovih građevinskih materijala.



**Slika 1: Predgotovljeni betonski elementi : greda T presjeka, piloti, pragovi, opločnici**

Prelazak na industrijske postupke građenja te povećanje produktivnosti s ciljem podizanja razine građevinarstva na veću produktivnost na kojima se nalaze ostale industrijske djelatnosti bili su nužnost kako bi građevinarstvo pratilo ostale razvojne aspekte društva i znanosti.

Osnovna prednost proizvodnje predgotovljenih elemenata je proizvodnja u kontroliranim tvorničkim uvjetima. Iako ugradnja betona in-situ<sup>1</sup> omogućuje veću slobodu u oblikovanju i minimizira trošak logistike u odnosu na predgotovljene elemente, neupitno je da vremenski uvjeti utječu na kvalitetu izvedenog betona.

Razvoj tehnologije betona omogućio je da se rizici na gradilištu smanje upotrebom primjerenih dodataka betonu, ali i dalje je za projektiranu kvalitetu betona potrebno na svakom pojedinom gradilištu i u svakoj aktivnosti koja podrazumijeva betoniranje predvidjeti vremensku organizaciju, adekvatnu radnu snagu kao i kvalitetnu pripremu za samo betoniranje elemenata.

S druge strane, proizvodnja betona u kontroliranim uvjetima daje mogućnost stalnog nadzora nad procesom čime se lakše ostvaruje razina projektirane kvalitete.

Zahtjevi za proizvedene predgotovljene betonske elemente u očvrslom stanju su<sup>2</sup>:

1. Geometrijska svojstva
2. Površinski izgled
3. Mehanička otpornost
4. Otpornost na požar
5. Akustička svojstva
6. Termička svojstva
7. Trajnost.

Opća obilježja montažnog načina građenja su<sup>3</sup>:

- *podjela rada* – na objektu ne radi veliki broj obrtnika već specijalisti koji montiraju elemente
- *serijska proizvodnja* – ponavljaju se projekti, detalji, elementi, konstrukcije, postupci oprema se koristi višestruko

---

<sup>1</sup> In situ (latinski: na položaju), na prvotnome položaju, na nepromijenjenome (iskonskome) mjestu, Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 26. 11. 2022. <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=27535>>.

<sup>2</sup> Meštrović, D.: Predgotovljene betonske konstrukcije, Rijeka 2017., <https://docplayer.gr/47986176-Predgotovljene-betonske-konstrukcije.html> , pristupljeno 15.09.2022.

<sup>3</sup> Meštrović, D.: Predgotovljene betonske konstrukcije, Rijeka 2017., <https://docplayer.gr/47986176-Predgotovljene-betonske-konstrukcije.html> , pristupljeno 15.09.2022.



- *mehaniziranost* – zamjena ljudskog rada strojevima – uvođenje automatizacije, robotike. Prenosjenje što više faza radova s gradilišta u stalne pogone i tvornice (centralizacija proizvodnje)
- *organizacija rada* – usklađenost i kooperacija odnosa svih sudionika
- *standardizacija* – strogo pridržavanje normi vodi boljoj kvaliteti
- *tipizacija* – proces postaje ekonomičan u postizanju serije iznad minimuma
- *modularna koordinacija pojedinih elemenata*.

Ovim radom žele se prikazati benefiti ovakvog tipa gradnje u odnosu na izgradnju metodom ugradnje betona na lokaciji. U radu je dan pregled literature koja obrađuje predmetnu temu te je na konkretnom primjeru rada tvrtke koja se bavi proizvodnom i prodajom pr.edotovljenih elemenata prikazana tehnologija proizvodnje te dopremai ugradnja proizvedenih elemenata na gradilište.

## **1.2. Prednosti i nedostaci montažne gradnje betonskih konstrukcija**

Odabir tehnologije građenja odabire se temeljem više faktora kao što su:

- Lokacijski uvjeti (specifičnosti lokacije gradnje, meterološke prilike)
- Ekonomska opravdanost
- Rokovi izgradnje
- Projektirani zahtjevi kvalitete.

Ukoliko se prouče gore navedeni faktori, montažno građenje, u odnosu na monolitnu gradnju, ima sljedeće prednosti<sup>4</sup>:

- proizvodnja se građevinskih elemenata može odvijati pod optimalnim uvjetima tehnike, tehnologije, klime i produktivnosti,
- u procesu se proizvodnje dostiže bolja razina kvalitete zbog industrijskog načina kontrole i proizvodnje te stalnog kadra, također se postiže bolje iskorištavanje materijala te se smanjuju gubitci i otpad,
- omogućen je neprekidan rad tokom cijele godine, neovisno o sezoni i vremenskim prilikama, radi se pod krovom i u prizemlju za razliku od rada na visini i na skelama, odnosno težak se fizički rad svodi na najmanju mjeru,

---

<sup>4</sup> Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.

- industrijska proizvodnja, bolja iskorištenost kapaciteta, serijski način proizvodnje, tipizacija, modularna koordinacija, automatika,
- velike uštede na skelama i oplatama,
- stalni kadar u području proizvodnje i montaže, s industrijskim mentalitetom koji je priučen uz rad, umjesto dugotrajnog obrazovanja, odnosno radnik brzo stječe kvalifikaciju i osobne dohotke, što je vrlo važno jer je danas sve manje svestranih i dugotrajno obrazovnih kadrova,
- manji utjecaj temperature na rad konstrukcije, a stezanje se završava prije montaže,
- montaža se elemenata obavlja putem pretežno suhog postupka, prilikom čega se u objekt unosi minimalna građevinska vlaga, zbog čega je odmah spremna za korištenje,
- brza gradnja, smanjena gradilišna režija, istodobno izvođenje grubih i završnih radova, i moguća demontažnost,
- u nekim slučajevima predstavlja jedini način građenja,
- jeftinija varijanta građenja u određenim okolnostima unutar društva.

Osim nabrojanih prednosti postoje i određeni nedostaci poput<sup>5</sup>:

- velikih investicijskih, odnosno početnih ulaganja, koja se postupno smanjuju pomoću određenog opsega proizvodnje odnosno minimalne serije,
- visoki troškovi transporta elementa do gradilišta, koji se mogu svesti na manju normalniju mjeru pomoću dobre organizacije prijevoza ili gradilišne proizvodnje elemenata,
- velikog broja spojnica odnosno fuga, koji predstavlja problem no u isto vrijeme se smanjuje 40% učinak temperaturnog rada konstrukcije koji utječe na postizanje većih razmaka dilatacijskih spojnica,
- opasnosti od uniformiranosti ukoliko se ne vodi računa i ne razlikuje tipizacija elemenata (poželjno), od tipizacije cijelih objekata (nije uvijek poželjno).

---

<sup>5</sup> Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.

### 1.3. Primjena predgotovljenih elemenata u niskogradnji

Predgotovljene betonske elemente pronalazimo kako u visokogradnji tako i u niskogradnji. Betonski elementi u niskogradnji se nalaze nerijetko kao tipizirani u vidu vodovodnih i kanalizacijskih okana, kanalizacijskih cijevi, parkovnih i cestovnih kanalisa, rigola, parkovnih i cestovnih rubnjaka, ukrasnih ploča za pješačke prilaze, parkirališta i sl.



Slika 2: Betonska kanalizacijska okna (izvor: <http://termo-beton.com/perfect-saht/>, pregledano 20.10.2022.)

Benefiti su za niskogradnju veliki što se tiče proizvodnje, dopremanja i ugradnje ovih elemenata jer značajno smanjuju vrijeme ugradnje, a s obzirom na to da je riječ o površinama koje su predviđene za agresivnu okolinu (smrzavanje i odmrzavanje, posipanje solju u zimskim mjesecima i dr.), omogućena je iznimno visoka kvaliteta betona za prihvatljivu cijenu. Također, unificirani elementi u cestogradnji te na parkovnim i pješačkim površinama i prilazima estetski su prihvatljiviji investitorima i krajnjim korisnicima objekata koji se grade i uređuju.

Osim korištenja u vodno komunalnoj branši i cestogradnji, prefabricirani su betonski elementi izrazito korišteni u gradnji mostova kao konstruktivni elementi.

Težnja za što bržom izgradnjom mostova dovela je do razvoja montažne gradnje, pa se tako i pločasti mostovi izvide montažno<sup>6</sup>. Prednosti su: visoka kvaliteta betona, ušteda na oplati i skeli, brza gradnja i slobodan gabarit ispod mosta za vrijeme gradnje. Ploče se sastoje od užih dijelova čitave duljine koji se međusobno spajaju tako da se između njih. Drugi način je da se elementi u poprečnom smjeru prednapregnu, a treći da predgotovljeni elementi posluže kao izgubljena oplata ostavi slobodan prostor širine 15-20 cm koji se kasnije zapunja betonom.



**Slika 3: Doprema prefabriciranog sandučastog nosača mosta na lokaciju ugradnje (izvor: <https://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/5445/820/betonski-segmentni-mostovi>, pregledano 20.10.2022.)**

Osim konstruktivnih dijelova, betonske ograde mostova izrađuju se također kao predgotovljeni (prefabricirani) elementi koji se slažu na prethodno pripremljena ležišta na vijencima mosta.

---

<sup>6</sup> Sveučilište u Splitu, Građevinsko arhitektonski fakultet, Katedra za betonske konstrukcije i mostove, Kolegij: Mostovi, Split, 2008. , Pregledano 22.11.2022.  
<http://gradst.unist.hr/Portals/9/docs/katedre/Betonske%20konstrukcije/SSG%20Mostovi/Skripta%20Mostovi.pdf>



**Slika 4: Ugradnja prefabriciranog sandučastog nosača mosta na lokaciju ugradnje (izvor: <https://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/5445/820/betonski-segmentni-mostovi>, pregledano 20.10.2022.)**

#### **1.4. Primjena predgotovljenih elemenata u visokogradnji**

Danas se predgotovljeni betonski elementi koriste u svim dijelovima visokogradnje, kao konstruktivni i nekonstruktivni elementi, za dijelove zgrada ili cjelokupne konstrukcijske sustave.

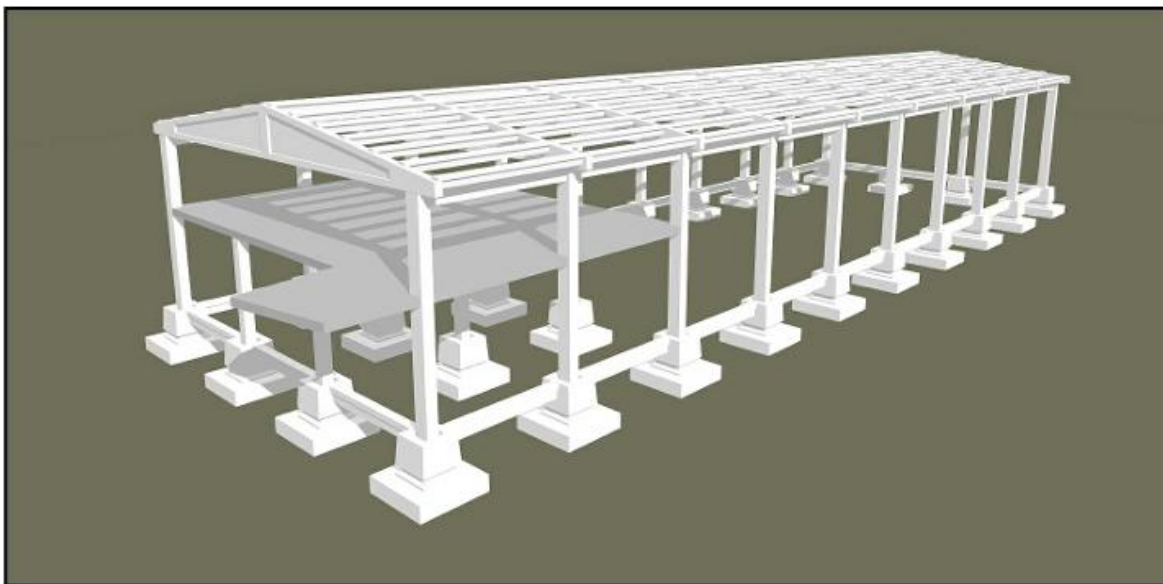
Konstruktivno, koriste se za sljedeće elemente u zgradarstvu:

- a) Stupove
- b) Grede
- c) Ploče (pune i šuplje – kao stropne ploče ili kao zidovi).

Nekonstruktivno, koriste se kao razni tipovi obloga, stepeništa, ograda i sl.

Bitan korak u primjeni montažnih konstrukcija je faza projektiranja. Projektiranje montažnih konstrukcija zahtijeva detaljnu razradu ne samo konstrukcije u konačnoj fazi, već i rješavanje detalja spojeva na lokaciji, tehnologiju transporta i montaže te

dokaz zadovoljavanja mehaničke otpornosti i stabilnosti u svim fazama izgradnje kao temeljnog zahtjeva za građevinu.



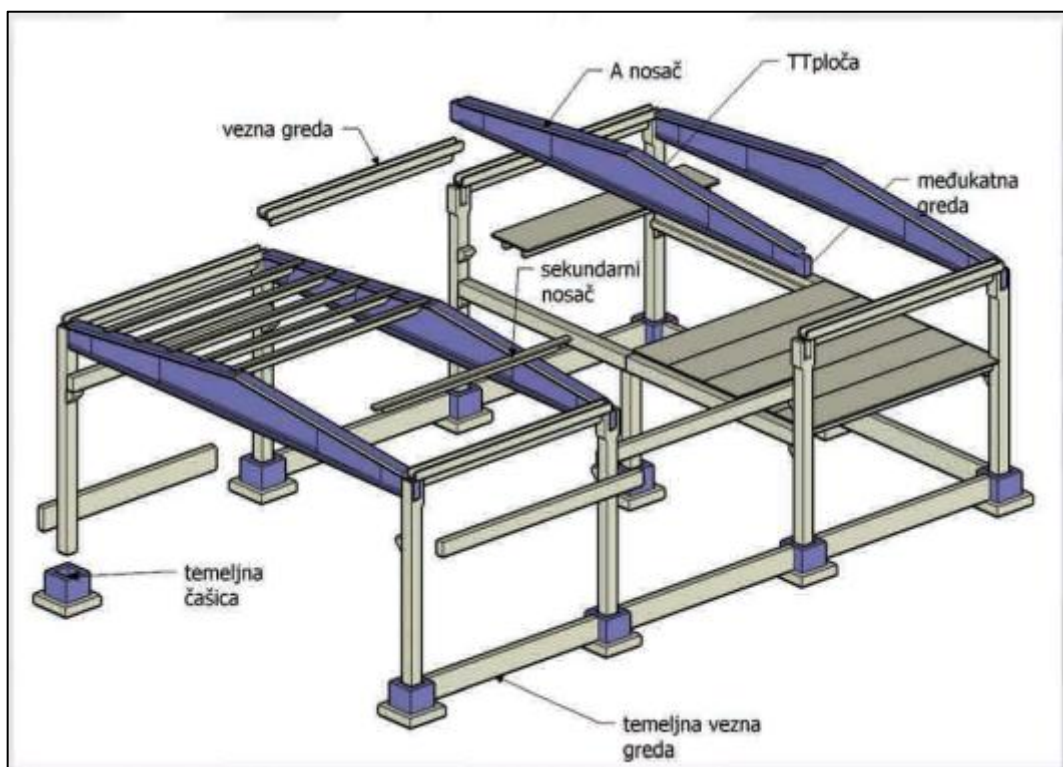
Slika 5: Betonska hala od predgotovljenih elemenata-3D vizualizacija (izvor: <https://www.stanoinvest.hr/project/armirano-betonske-montazne-konstrukcije-hala-trnovec-bartolovecki/> , pregledano 20.10.2022.)

Montažne armirano betonske elemente promatramo u nekoliko odvojenih statičkih cjelina<sup>7</sup>:

- 1) Proizvodnja - zahtjevi ranih čvrstoća kod ab elemenata prilikom toplinske obrade, adhezijske sile i dinamički utjecaj za odvajanje od kalupa poluočvrstog elementa postupkom podizanja, prevrtanja, pomicanja i dr., problemi oko prednapinjanja, uvjeti transportiranja i odlaganja, olakšavanje elemenata i smanjenje statičke rezerve;
- 2) Transport - zahtjevi odlaganja, slaganja u vozila, transportni putevi, kritični položaj elementa prilikom podizanja, gibanje elementa kao klatna prilikom podizanja te moguće sudaranje, problemi dugih i vitkih elemenata (naročito izvijanje)
- 3) stanje prije konačnog spajanja - opasnost od prevrtanja postavljenog, ali nespojenog elementa (npr. vjetar), opterećenja u prelaznoj fazi (ojačanja, podupore)

<sup>7</sup> Meštrović, D.: Predgotovljene betonske konstrukcije, Rijeka 2017., <https://docplayer.gr/47986176-Predgotovljene-betonske-konstrukcije.html> , pristupljeno 15.09.2022.

- 4) nosivost spojnih i drugih ugrađenih elemenata - dimenzioniranje kuka i ostalih elemenata za dizanje i manipulaciju te spajanje, novi materijali i tehnologije vode k smanjenju težine cementa, bržem skidanju oplata, lakšem transportu i montaži, većoj trajnosti, smanjenom održavanju
- 5) detaljna razrada svakog pojedinog elementa i spoja
- 6) ukрупnjavanja prije montaže gotovih elemenata u veće cjeline, više završnih radova obavljati u pogonu za proizvodnju
- 7) smanjenje broja tipova elemenata, detalja i spojeva uz istodobno povećanje asortimana
- 8) adaptacija proizvodnje na male narudžbe.



**Slika 6: Montažna betonska hala – montažni elementi**

#### 1.4.1. Stupovi

Predgotovljeni armiranobetonski stupovi najčešće su pravokutnog ili kružnog poprečnog presjeka, na koje nasjedaju krovni nosači, vjenčane grede, grede kranskih staza ili katne grede. Stupovi su glavni nosioci vertikalnog opterećenja. Izvode se s istakama različitih oblika i dimenzija - min. 30 cm duljine. Visine stupova ovise o visini objekta, vrsti objekta, načinu proizvodnje, transportu, montaži i otalim zahtjevima projektnog rješenja. Minimalna dimenzija poprečnog

presjeka montažnog stupa je 300x300 mm (zbog spoja s gredom). Maksimalna dimenzija poprečnog presjeka montažnog stupa je 600x1200 mm.

#### 1.4.2. Grede

Montažne armirano betonske grede pravokutnog poprečnog presjeka su široke minimalno 30 cm. Omjer širine i visine kreće se od 1:1 do 1:3. Najčešće imaju proširenje s lijeve i desne strane na donjem dijelu presjeka kako bi mogle prihvatiti ploče. Grede za velike raspone imaju promijenjivi poprečni presjek. Razlikuju se poprečne podne ili stropne grede i glavni nosači (grede) koji se koriste kod mostova i drugih teško opterećenih objekata. Omjer visine i raspona grede je u puno slučajeva u omjeru od 1:10 do 1:20.



**Slika 7: Montažna Ab greda T poprečnog presjeka (izvor: osobna arhiva)**

#### 1.4.3. Ploče

Ploče kao konstruktivni i nekonstruktivni elementi proizvode se u dva osnovna tipa: kao pune i kao šuplje ploče. Pune ploče radi problema ike transporta i velike težine

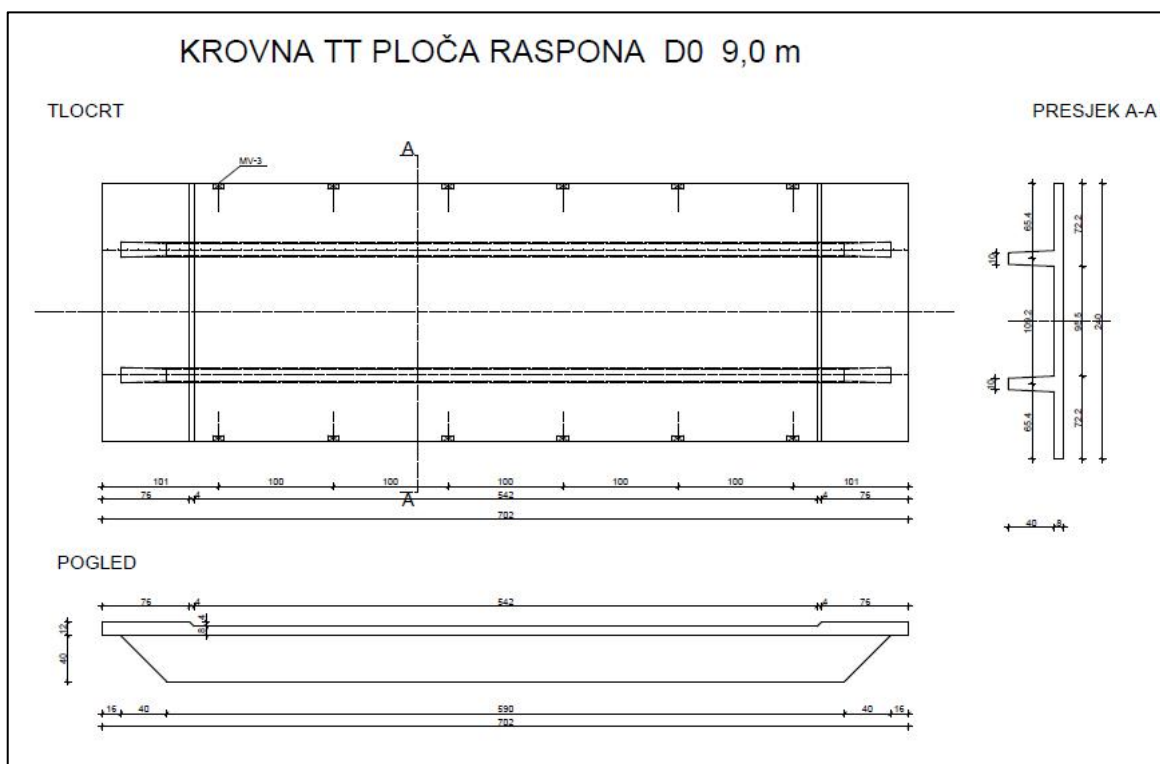


u montažnoj se formi rade manjih dimenzija, pretežno za fasadne obloge i kao pregradni zidovi.



**Slika 8: Montažne armirano betonske ploče punog poprečnog presjeka (izvor: osobna arhiva)**

Međukatne stropne ili krovne ploče često se izvide i kao TT ploče – armirano betonski elementi sa tlačnom pločom, prema statičkom proračunu ili tipskom kalupu proizvođača raspona najčešće do 15 m. Rade se kao klasično armirane ili prednapregnute.



**Slika 9: Plan oplata krovne TT ploče (izvor: <https://www.betonlucko.hr/files/sistemi-gradjenja/montazni-sistemi/montazni-sistemi-gradjenja.pdf>)**

Šuplje ploče češće su u uproabi kao konstruktivni elementi koji opterećenje preko greda prenose na stupove. Dvije su vrste šupljih ploča: armirana šuplja ploča i prednapregnuta šuplja ploča<sup>8</sup> sa osnovnom razlikom u nosivosti prema definiranom rasponu. Armirana šuplja ploča ima ograničen raspon do 9 m, dok prednapregnuta šuplja ploča podnosi i raspon do 20 m, ali uz mala pokretna opterećenja. Prednosti šupljih ploča<sup>9</sup>:

- Prilagodljivost načinu gradnje
- Mala vlastita težina
- Premošćivanje velikih raspona
- Izbjegavanje podupiranja

<sup>8</sup> Kolmačić, M.: Predgotovljene betonske konstrukcije, Sveučilište Sjever, Varaždin 2018.

<sup>9</sup> Kolmačić, M.: Predgotovljene betonske konstrukcije, Sveučilište Sjever, Varaždin 2018.

- Izbjegavanje oplata
- Redukcija gradilišnih radova
- Upotreba stropa kao radne platforme
- Brza izvedba konstrukcije
- Fleksibilnost u oblikovanju
- Konstruktivna efikasnost
- Solidna toplinska i zvučna svojstva
- Dobra požarna otpornost
- Gotov podgled
- Djelovanje stropne dijafragme
- Osigurana visoka kontrola kvalitete
- Ekonomičnost.



Slika 10:Šuplje prednapregnute stropne ploče - montaža (izvor: <https://hr.puntomariner.com/hollow-floor-slabs-gost-dimensions/> , pregledano 20.10.2022.)

## 2. KLASIFIKACIJA MONTAŽNH SUSTAVA

### 2.1. Metodologija klasifikacije

Montažni sistemi se mogu podijeliti prema<sup>10</sup>:

- konstrukciji,
- upotrijebljenom materijalu,
- težini montažnih elemenata,
- postotku montažnosti,
- mjestu proizvodnje,
- namjeni objekta,
- otvorenosti sistema.

Prema upotrebljenim materijalima montažni sustavi mogu biti:

- od teških betona
- od lakih betona
- od opekarskih proizvoda
- od drveta
- od metala
- od umjetnih materijala
- od mješovitih materijala

Prema težini elementi montažnog sustava mogu biti:

- laki (<3t)
- srednje teški (3 -10t)
- teški (>10t).

Prema postotku montažnosti sustavi mogu biti:

- polumontažni - sustavi kod kojih se manje od 50% izvodi od gotovih tj. predgotovljenih građevinskih elemenata (montira), a ostalo se izvodi tradicionalnim metodama na gradilištu.

---

<sup>10</sup> Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.

- montažni - sustavi kod kojih se montažnost izražava postotkom 50-90%. To su uobičajeni montažni sustavi kod kojih se manji dio izvodi na gradilištu.
- totalna montaža - kada se više od 90% objekta izvodi od gotovih građevinskih elemenata, a tek se neznatan dio mora izvoditi na gradilištu.

## 2.2. Klasifikacija prema konstrukciji

S obzirom na konstrukciju razlikujemo:

- 1) velikoplošne sustave,
- 2) skeletne sustave,
- 3) prostorne sustave,
- 4) mješovite sustave.

### 2.2.1. Velikoplošni sustavi

Velikoplošni sustavi konstruirani su od pločastih montažnih elemenata. Najčešće su elementi visine kata i veličine prostorije ali mogu biti i trakasti, što je najčešće kod lakih sustava ili kod stijena i pokrova industrijskih hala. Za velikoplošne elemente je karakteristično da su većinom nosivi i da ujedno pregrađuju prostor. Najveći broj montažnih sustava u svijetu su velikoplošni jer imaju visok stupanj produktivnosti i montažnosti. Mana im je što nisu fleksibilni u rješavanju osnove i vrlo često daju uniformirana rješenja vanjskog izgleda objekta.



Slika 11: Primjer velikoplošnog sustava – polumontažni sistem „Beton Lučko“ (izvor: <https://www.betonlucko.hr/polumontazni-sistemi-gradjenja.html>, pregledano 20.10.2022.)

U razdoblju druge polovice 20. stoljeća u građevinskoj su industriji ondašnje Jugoslavije postojala čak 22 različita sustava prefabricirane gradnje, a s varijantama i više od 30. Prefabricirani sustavi razvijani su kako na institutima tako i u velikim industrijskim sustavima i tvornicama. Iz današnje perspektive moguće je primijetiti tijesnu suradnju znanstvenih instituta i sveučilišta s građevinskim tvrtkama i tvornicama. Međusobno razumijevanje svih dionika u stambenoj izgradnji rezultiralo je realizacijom čitavih novih gradova, kao što su Novi Zagreb, Split III, Novi Beograd, Grbavica u Sarajevu, Liman I, II, III u Novom Sadu itd.

Među najpoznatijim sustavima prefabricirane gradnje iz poslijeratnoga doba izdvajaju se „IMS”, „Jugomont”, „Mont MG1”, „M-2”, „Zidop”, „PMB” (‘panel-blok-montaža’), kao i sustavi razvijani u velikim građevinskim poduzećima „Gradis”, „Primorje”, „Rad-Balancy”, „Komgrap”, zatim oni koji su uvodili dva različita raspona kod panelnih sustava - „Neimar”, „Trudbenik”, te onih koji su uveli samo jedan raspon: „Montastan”, „Integral”, „JU-59”, „JU-60”, „JU-61”; „KSB”, sustav „Standard”, sustav „Tempo”, „MMS”, „TLGE”, „Zagorje”; otvoreni panelni sustav PPZ „Jinpros” itd.

S obzirom na činjenicu da je posljednja gospodarska kriza u nacionalnim okvirima zatvorila vrata mnogim velikim tvrtkama koje su u vlastitim pogonima razvile i komercijalizirale neke od navedenih sustava isti će u natsavku teksta samo biti kratko objašnjeni jer su prepoznatljiviji u arhitekturi okoline.

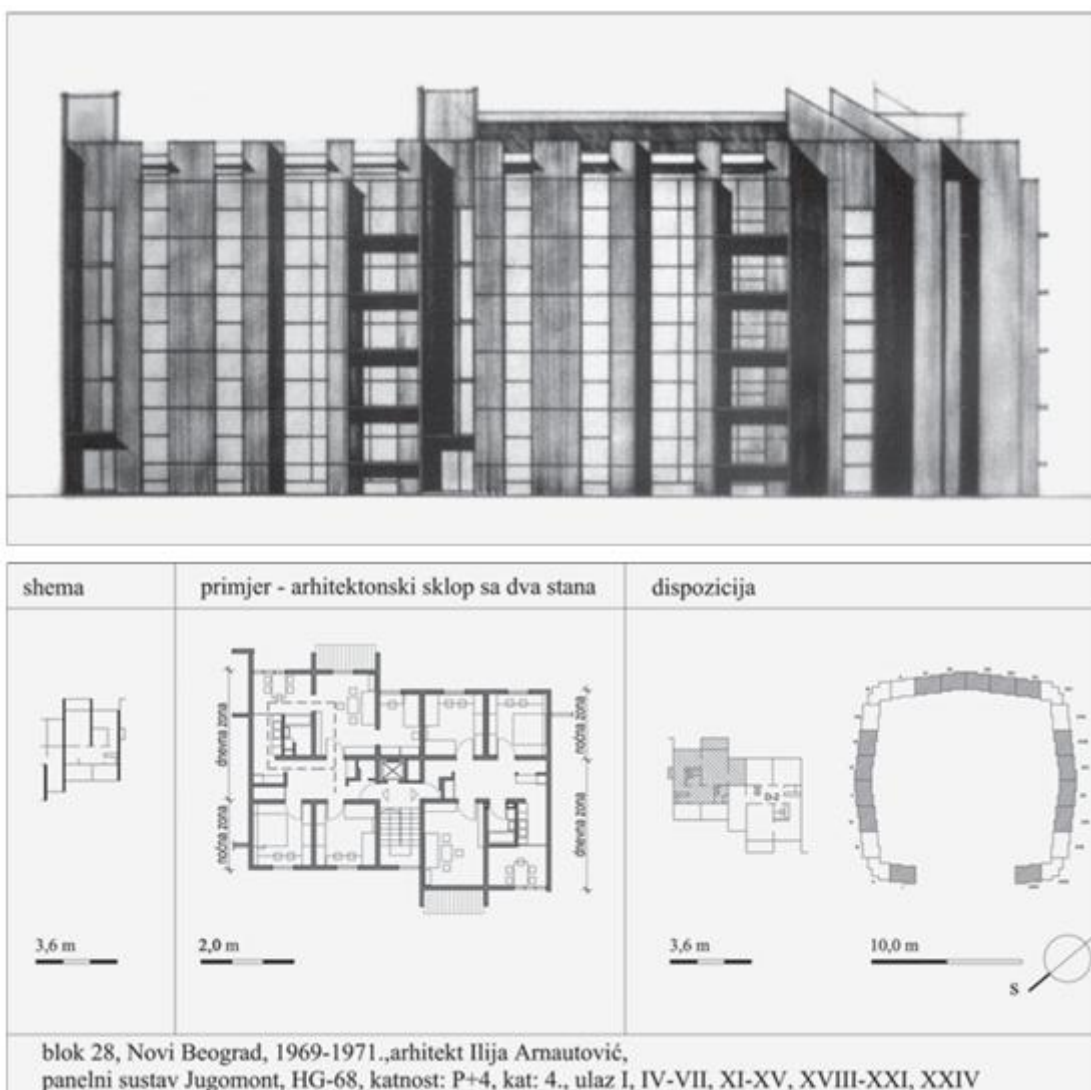
Sistem Camus je unaprijedio proizvodnju, koja je prije njega bila zanatska, pojedinačna i neproduktivna, tako što je uveo prve prave industrijske postupke prilikom proizvodnje elemenata. Logika Camusa je bila, s obzirom da je prije radio u automobilskoj industriji, da ako se automobili koji se sastoje više od 3 000 dijelova mogu proizvoditi, onda se mogu i stanovi koji se sastoje od okvirno 500 dijelova. Industrijska se proizvodnja odvijala na način da su se elementi proizvodili u stacionarnoj tvornici, a zatim su ih montirali na gradilištu. Velikoplošni elementi su bili veličine prostorije, a spojevi su se betonirali na licu mjesta prilikom montaže elemenata, čime su dobili vertikalne i horizontalne stupove odnosno serklaže koji su elemente povezivali u jednu cjelinu. Velikoplošni se elementi finalno obrađuju u tvornici, a montažno se rade i podesti, stepenice, balkoni itd. Stupanj montažnosti ovisi o investiciji, odnosno njenoj seriji i visini koja se ulaže u izgradnju tvornice za

produkciju elemenata. Pretežno se orijentiraju na rad u stacionarnim tvornicama, no proizvodnja se može odvijati i na gradilištu jer su kalupi demontažni. Fasadni su elementi načinjeni od više slojeva, nakon fasade dolazi sloj betona (krupnozrnasti ili pucolanski) debljine od pet centimetara. Za toplinsku izolaciju se nanosi sloj od tri centimetara polistirena, a nakon toga armirani beton debljine od 10 do 12 cm, te unutarnji sloj žbuke od cementnog mosta. Unutarnji nosivi i pregradni zidovi se izrađuju od armiranog betona debljine od 7 do 18 cm. Planiranju svih faza se posvećuje glavna pažnja zbog toga što je to glavna karakteristika industrijalizacije. Putem planiranja se postiže kontinuirana proizvodnja, transport i montaža, te sve pripremne radnje, doprema materijala, radna snaga itd., te se naročito pomno planira otprema gotovih proizvoda u skladištu s odvijanjem montaže, zbog čega se montaža obavlja bez međuskladištavanja na gradilištu.

Sistem Coignet je vrlo sličan sistemu Camus, no razlikuju se po tehnologiji proizvodnje i montaže te kompoziciji elemenata. Kalupe za proizvodnju karakterizira težina i složenost, zbog čega se mogu smatrati strojevima te im je ugrađena pneumatika za pokretanje i registri za zagrijavanje parom. Naročito su složeni kalupi za fasadne zidove, iz kojih se dobivaju vrlo precizni elementi s minimalnim tolerancama za montažu. Kod ovog je sistema žrtvovana fleksibilnost primjene i otvorenost montažnog sistema, no približili su se ideji serijske proizvodnje dijelova stanova. Zbog preciznosti se proizvodnje elementi mogu montirati i nisu potrebni nikakvi naknadni radovi, osim finalnog bojanja. Konstrukcija se ovog sistema sastoji od dva niza paralelnih zatvorenih ćelija, a jedan se stan sastoji od dvije do tri takve ćelije. Ove ćelije su sastavljene od nosivih velikoplošnih zidnih elemenata na kojima je montirana stropna ploča. Monolitnost se postiže betoniranjem na objektu spojeva koji čine vertikalne i horizontalne serklaže. Kada je riječ o elementima, ima malo različitih elemenata, što znatno pojednostavljuje proizvodnju i montažu, ali daje slične odnosno uniformirane objekte ukoliko se na to ne obrati pažnja. Postoji samo jedan tip stropnog elementa veličine 3,30 x 3,76 m i tri tipa vertikalnih fasadnih elemenata veličine 3,30 x 2,70 koji se razlikuju samo po veličini otvora. Dimenzije unutrašnjosti nosivih i pregradnih zidova su isto svedene na najmanji mogući broj tipova. Unutarnji nosivi zid je debljine od 20 cm, te je izrađen od teškog betona s

manjim konzolama zbog oslanjanja stropne ploče. Stropni element je debljine od 19 cm, a sastoji se od dvije ploče koje su međusobno povezane rebrima između kojih su šuplji blokovi od betona. Stubište je izrađeno od armiranog betona, također montažno i finalno obrađeno.

Sistem Jugomont-Industrogradnja je sistem razvijen u Hrvatskoj, te su godine 1953. na Zagrebačkom velesajmu izložili prototipove montažnih elemenata i pokusnog objekta montažnih elemenata. Ovaj sistem predstavlja pravi velikoplošni montažni sistem s elementima težine od jedne do sedam tona.



**Slika 12: Panelni sustav Jugomont (izvor: Mecanov, D.: Sustav prefabricirane gradnje Jugomont iz Zagreba, Sveučilište u Zgrebu, Arhitektonski fakultet, PROSTOR 1[49] 23[2015] 174-185)**

Sistem Larsen-Nielsen se sastoji od velikoplošnih elemenata na bazi betona koji su u tvornici potpuno finalizirani, s ugrađenim instalacijama i stolarskim



elementima. Svi zidovi su nosivi, osim pregradnih. Iako je sličan ranije navedenim sistemima, ovaj sistem posjeduje nove detalje u konstrukciji spojeva, te u samoj proizvodnji. Ovaj sistem pažnju najviše posvećuje proizvodnji, proizvodnja elemenata se odvija u tvornicama pod optimalnim uvjetima klime, strojne opremljenosti i stalnog kadra. Pažljivo se izrađuju kalupi, te se pazi na njihovu fleksibilnost.



**Slika 13: Sistem Larsen-Nielsen na primjeru novozagrebačkih nebodera (izvor: <https://www.jutarnji.hr/domidizajn/interijeri/otporni-na-potres-zagrebacke-visekatnice-i-neboderi-tresu-se-i-plesu-ali-u-nedjelju-su-gotovo-neosteceni-10146751>)**

Sistem Adriamont predstavlja tipičan velikoplošni sistem koji je nalik sistemu Larsen-Nielsen s otvorenim spojnicama. Tehnologija se proizvodnje temelji na sistemu proizvodnje gotovih građevinskih elemenata u horizontalnim kalupima s hidrauličkim preokretanjem.

Sistem Vranica je nastao kupnjom opreme u inozemstvu i smatran je velikoplošnim montažnim sistemom s elementima težine do 9 tona, što ga čini teškim sistemom. Montažni su elementi veličine prostorije, stoga se spojevi u kutovima nisu vidljivi. Unutarnji pregradni zidovi su debljine od pet do sedam centimetara, betonski, armirani mrežastom armaturom.

Montažni sistem Rad predstavlja licenciju francuskog sistema Balency, prema kojem se proizvode stanovi u Francuskoj, Engleskoj, Italiji, SAD, Poljskoj itd. Sistem predstavlja tipični suvremeni sistem velikoplošne montaže, koji je prihvatio sve najbolje što je do danas primijenjeno kada je u pitanju rješavanje detalja, tehnologije i konstrukcije. Konstrukciju čini sistem nosivih zidova od armiranog betona koji spajanjem formira vrlo jake serklaže koji monolitizira objekt. Višeslojni se fasadni elementi proizvode u horizontalnim kalupima koji predstavljaju male strojeve s ugrađenim hidrauličkim malim cilindrima za preokretanje elemenata te ugrađenim pokretnim poklopcima za zagrijavanje zbog ubrzavanja stvrdnjavanja betona.

Sistem Trudbenik je također tipičan velikoplošni montažni sistem čija se osobitost prepoznaje kod prednaprežanja vertikalnih kablova koji su provučeni kroz elemente zidova u za to pripremljene kanale. Fasadni elementi su troslojni elementi, nosivi zidovi su debljine do 14 cm i stropovi su također pune ploče od armiranog betona veličine prostorije i debljine od 14 cm.

Sistem Karpoš je poklonjen od strane tadašnjeg SSSR-a Skopju nakon potresa godine 1963., ovaj sistem uspješno izvodi stambene i ostale objekte. Isto tako je tipičan velikoplošni montažni sistem s poprečnim nosivim zidovima. Unutarnji su zidovi i stropovi načinjeni od teškog betona, fasadni su zidovi troslojni, od teškog betona i sloja toplinske izolacije.

Sistem Hidrogradnja je prvo radio prema sistemu Jugomont, a zatim je postepeno razvijala vlastiti sistem. Ovaj sistem često koristi prani beton za finalnu fasadnu obradu, koji se sastavlja u veći komad lomljenog mramora bijele boje. Fasadni slojevi su troslojni, unutarnji i stropovi puni beton, te su svi zidovi nosivi.

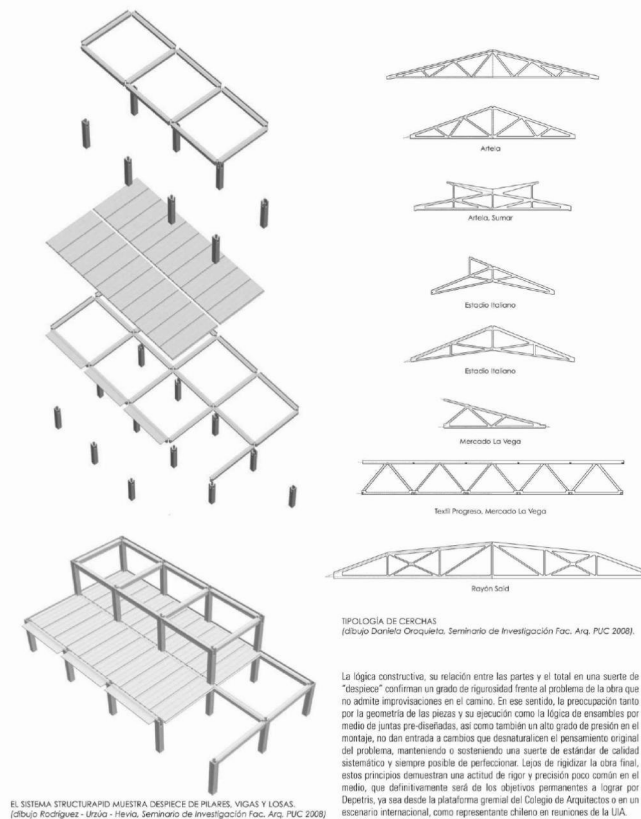
Sistem Fiorio je sistem koji je prvi počeo koristiti opekarske proizvode u svrhu izrade velikoplošnih montažnih elemenata. Razvoj montažnog građenja i velika primjena betona nisu mogli zaobići opekare, stoga su oni počeli razmišljati o primjeni svojih proizvoda i montažnom građenju. Opeka kao građevinski materijal posjeduje dobra svojstva, nosivi je element i kao materijal je blizak i jednostavan za primjenu. No kako bi se dobio element jednak onom od betona, opekarski elementi se moraju sastavljati. Sistem Barets je sistem koji u montaži također koristi opekarske blokove za izradu velikoplošnih elemenata. Sistem Costamagna

je također sistem koji koristi opekarste blokove za izradu velikoplošnih elemenata. Sistem pokušava biti što otvoreniji te da se njime mogu izvoditi tri različite vrste stanova, jer se pregradni zidovi mogu postavljati na bilo kojem položaju unutar rastera.

Ciglarski montažni sistem je konačni montažni sistem višeplošnih elemenata, koji zadovoljava standard uvjeta za izradu betonskih prefabrikata velikih ploha na bazi šupljih blokova od opeke određenog oblika. Ovdje je riječ o izradi betonskih prefabrikata gdje je opeka samo ispuna, ne preuzima statička opterećenja.

### 2.2.2. Skeletni sustavi

Skeletni montažni sistemi su konstruirani od stupova i ploča, odnosno od okvira, greda i ploča, kako je i prikazano na slici niže.



Arq.37

**Slika 14: Sistem STRUCTUR RAPID (izvor: [https://vebuka.com/print/100701210404-acd5fd3940574436b4e496be94869936/Magazine\\_AOA\\_8](https://vebuka.com/print/100701210404-acd5fd3940574436b4e496be94869936/Magazine_AOA_8))**

Kada je riječ o ovome sistemu, njegov sistem karakterizira odvojena funkcija nosive konstrukcije koju preuzima skelet, dok funkciju pregrađivanja prostora preuzimaju lagane pregradne stijene. Na prethodno navedeni način dolazi do mogućnosti fleksibilnog rješavanja osnove koju je moguće prilagoditi korisniku u procesu projektiranja i izvođenja te kasnije kada se promijene uvjeti, prostor se lako adaptira i namjena se može prilagođavati željama korisnika. Sve te radnje su neovisne o nosivoj konstrukciji. No, skelet predstavlja samo dio grubih radova, stoga je uobičajeno ovaj sistem kombinirati sa velikoplošnim sistemima za fasadne elemente i zidove<sup>11</sup>.

U usporedbi sa velikoplošnim sistemom, ovaj sistem je manje zastupljen u svijetu. Prednost ovog sistema je odvojen sistem nošenja od pregrađivanja prostora, putem čega se dobiva otvoreni sistem s vrlo fleksibilnim mogućnostima rješavanja tlocrtnog prostora. Prethodno navedeno rezultira laku prilagodbu željama korisnika objekta zbog svoje adaptibilnosti te naknadnog mijenjanja razmještaja zidova, jer nisu nosivi. Osnovno rješenje sistema predstavljaju nosivi stupovi i stropne ploče, zbog čega se mogu izvoditi različite fasade koje su posuđene iz drugih montažnih sistema, najčešće od troslojnih velikoplošnih elemenata. Unutarnji zidovi su izvedeni od nekih lakih materijala, što pruža mogućnost postavljanja zida na svakom mjestu stropne konstrukcije sa vrlo slabim zvučnim izolatorima<sup>12</sup>.

Klasifikacija skeletnih sistema je prikazana u nastavku:

- Sistem IMS
- Sistem LIFT SLAB
- Sistem STRUCTURAPID
- Sistem GO-CON.

Sistem IMS je u svijetu postigao više uspjeha u usporedbi s ostalim domaćim montažnim sistemima te je njegov glavni autor inženjer Žeželj koji je dugogodišnji rukovoditelj Instituta za ispitivanje materijala (IMS) Srbije u Beogradu. Po ovom se sistemu gradilo u Hrvatskoj, Beogradu, Novom Sadu, Skopju, Banja Luci, Sarajevu, dok je licencija prodana u Mađarskoj, Kini, Cubi, Angolu itd. Prilikom čega je u Mađarskoj sagrađena zgrada koja se sastoji od 28 katova s maksimalnim

---

<sup>11</sup> Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.

<sup>12</sup> Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.

rasterima od 7,20 m, dok je na Cubi izgrađeno tri komada tvornice koje se bave građom objekata, posebno stambenih. Svi koriste samo skelet (osnovnu strukturu), dok se ostali radovi i konstruktivni dijelovi izvode u mnogo varijanti koje ovise o lokalnim prilikama. Sistem IMS se sastoji od osnovne jedinice kvadratnog ili pravokutnog oblika s rasterom 3,60 – 7,20 m, čiju jedinicu čine četiri stupa i pločom među njima. Spoj stropne ploče koja je kazetirana i stupa se ostvaruje ponoću prednaprezanja u dva smjera, što ujedno predstavlja originalno i najčešće korišteno rješenje. Važan element u nosivoj konstrukciji zgrade predstavljaju betonski zidovi za ukrućivanje, koji uglavnom preuzimaju horizontalne sile koje ne mogu preuzeti stupovi koji su vitki i elastični. Ovi zidovi za ukrućivanje se postavljaju u dva međusobno okomita smjera između para stupova po cijeloj visini objekta, prilikom čega se osnovni okvir skeleta oslobađa velikih momenata savijanja, koje povoljno utječe na vezu s pregradnim zidovima. Shodno tome, osnovni elementi sistema jesu [2]:

- stupovi,
- stropne ploče,
- rubni nosači,
- zidovi za ukrućivanje,
- stubišni nosači i stepenice,
- pregradni zidovi,
- fasadni elementi.

Velika se pažnja posvećuje međusobnom spajanju montažnih elemenata.

Sistem LIFT SLAB je sistem koji se također može svrstati u skeletne sisteme, no u potkategoriju posebnih vrsta jer se bitno razlikuje od ostalih. Ovaj sistem se sastoji od montažnih stupova te se na specifičan način montiraju ploče stropa. Stupovi se mogu izraditi od čelika ili armiranog betona, te se oni prvi montiraju na svoje određeno mjesto. Nakon toga se na izbetoniranu ploču prizemlja postavlja armatura i betonira se prva stropna ploča, cijela za jedan kat. Nakon toga se ploča premazuje sredstvom za odvajanje oplata, postavlja se armatura i betonira se ploča sljedećeg kata, i tako se jedna na drugoj izvode ploče katova. Nakon otvrdnjavanja se stropne ploče dižu pomoću specijalne hidraulične dizalice koja je montirana na svakom stupu.



Slika 15: Sistem LIFT SLAB (izvor: <https://theconstructor.org/concrete/lift-slab-construction/6824/>)

Sistem STRUCTURAPID je talijanski skeletni montažni sistem, na izvedene temelje se najprije montiraju stupovi u cijeloj visini objekta, na koje se montiraju grede a na njih idu stropne ploče. Sistem karakterizira brzina građenja, koje je uvjetovano tipizacijom raspona, elemenata, dimenzija i ponavljanja, tj. serijskom proizvodnjom svih dijelova objekta. Takav je sistem građenja dobar za izgradnju upravnih zgrada i ostalih objekata javne namjene, a primjenjiv je i prilikom izgradnje stambenih objekata. Kao i kod svih skeletnih objekata, prvo se putem montaže dobiva osnovni dio, a zatim je potrebno izvesti fasade, pregrade i ostalo, koje se rješava jednim od montažnih sistema.

Sistem GO-CON je nastao pomoću dugotrajnog rada grupe vrhunskih stručnjaka Engleske, koji su prije toga proputovali cijeli svijet i proučili sve druge montažne sisteme kako bi nakon toga stvorili svoj vlastiti sistem, koji bi trebao biti bolji od svih drugih sistema. Druga osobitost se temelji na tehnologiji proizvodnje elemenata za zatvaranje fasade. Elementi se proizvode putem jednog postupka koji predstavlja kombinaciju prešanja, vakuumiranja i vibriranja. Zbog čega se elementi proizvode u samo jednom kalupu i odmah se vade te pažljivo

transportiraju. U istom kalupu se izrađuju betonski elementi ili elementi od umjetne materije. Sistem je tipičan skeletni sa stupovima od čeličnih profila ili od armiranog betona. Skeletnim sustavima mogu se smatrati i sustavi montažnih betonskih hala.



**Slika 16: Montažna betonska nosiva konstrukcija industrijske hale (izvor: <http://betoncomerce.hr/portfolio-view/montazne-hale/>)**

### 2.2.3. Prostorni montažni sistemi (modularna gradnja)

Prostorni montažni sistemi se sastoje od prostornih ćelija koje slaganjem u cjelinu daju objektu konačan oblik. U današnje vrijeme postaju ponovno izrazito popularni u vidu takozvane modularne gradnje.

Moduli se proizvode u tvornici u kontroliranim uvjetima čime je osigurana kvaliteta gradnje uz certificirani sustav kontrole tvorničke proizvodnje betona. Slaganjem modula na željeni način omogućava se sloboda oblikovanja, uz brzu izgradnju i osiguranu kvalitetu i energetska učinkovitost. Gradnja od pregotovljenih armirano-betonskih elemenata je otprilike 70% brža od klasične zidane gradnje, čime se smanjuje problem nedostatka građevinskih radnika, a samim time i troškovi. Ovakva gradnja ne ovisi o vremenskim uvjetima.

Osim gradnje obiteljskih kuća, sustav predgotovljenih nosivih panela također je optimalno rješenje za gradnju energetski učinkovitih objekata javne namjene, poput škola, vrtića i drugih objekata.



**Slika 17: Primjer prefabricirane modularne gradnje u Portugalu (izvor: <https://archive.curbed.com/2020/5/7/21249827/prefab-concrete-building-samuel-goncalves-summary-architects>)**

Prednost ovakvih objekata je visoki stupanj energetske učinkovitosti, dok bi kao najveći nedostatak mogli navesti problem transporta modula i montažu. Z montažu ovakvih objekata potrebno je osigurati adekvatne dizalice i radnu snagu kako bi se postigla nužna točnost na spojevima modula.



**Slika 18: Montaža modularnog betonskog objekta (izvor: <https://www.tengcang66.com/>)**



#### 2.2.4. Mješoviti sustavi

Mješoviti montažni sistemi predstavljaju kombinacije svih prethodno navedenih sistema, zbog čega postoje skeleti koji nose module, velikoplošni sistemi koji se mjestimično kombiniraju sa skeletom te prostorni sistemi zbog kojih su ćelije skeletne ili skeletni sistemi koji zatvaraju fasadne stijene putem velikoplošnih elemenata.



Slika 19: Primjer mješovitog sustava (izvor: <https://www.compacthabit.com/advantages/>)

Potreba za većom produktivnošću, potpunom industrijalizacijom te sve savršenijom tehnologijom koja se bolje ostvaruje u tvornicama za razliku od gradilišta je rezultirala prostornim montažnim sistemima.

Građenje putem modula predstavlja vrhunac produktivnosti, povećanje ekonomičnosti, primjene industrijske prefabrikacije uz primjene serija i planiranja svih operacija nezavisno od vremenskih nepogoda. Razvoj ovih sistema je uvjetovan razvojem sredstava za transport i montažu jer se radi o vrlo teškim elementima. Prvo se započelo sa manjim prostornim jedinicama poput<sup>13</sup>:

- telefonskih ćelija,
- gotovih garaža,
- kioska,
- sanitarnih kabina (montažnih kupaonica) i sl.

<sup>13</sup> Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.

Kasnije se orijentiralo na cijele stambene jedinice odnosno ćelije od kojih su sastavljene stambene i ostale jedinice objekata.

Konstruktor sistema Elcon-Variel, Stucky, F. razlikuje tri vrste različitih trodimenzionalnih građevinskih elemenata [2]:

- box sistemi – zatvorene ćelije koje imaju omeđen cijeli prostor stijenama te ispunjavaju i statičke funkcije, dok se u stijenama nalaze otvori za vrata i prozore;
- prstenaste ćelije – posjeduju dvije nasuprot ležeće otvorene strane koje dopuštaju konstruiranje većih unutarnjih prostora sastavljanjem od manjih proizvodnih jedinica;
- prostorni elementi – imaju mogućnost spajanja u svim pravcima, imaju stupove te se unutarnji prostor može slobodno formirati u svim horizontalnim pravcima pomoću spajanja mnogobrojnih elemenata, čak i u vertikalnom smjeru putem slaganja jedinice jedne iznad druge.

Prostorni montažni sistemi moraju zadovoljavati slijedeće kriterije:

- visoki stupanj montažnosti (između 85-95%),
- proizvodnja na tekućoj traci, kao i automobili,
- najkraće vrijeme građenja,
- kontinuitet i nezavisnost o klimi,
- dobra i jednolična kvaliteta proizvoda,
- dobro organiziran transport,
- besprijekorna provedba montaže i ostalih radova na objektu,
- utjecaj velikih investicijskih ulaganja se umanjuje pomoću velikih serija i višegodišnjim osnivanjem tržišta, investicijska ulaganja obuhvaćaju tvornicu i njenu opremu, opremu za montažu, pripreme i cjelokupnu organizaciju, ulaganje u razvoj i projekte te licencije,
- čvrste i povoljne cijene koje proizlaze iz kratkih rokova građenja, industrijske proizvodnje i minimalnih gradilišnih troškova,
- minimalna tolerancija i odstupanja od mjera zbog teškog prilagođavanja velikih građevinskih jedinica,
- usklađenost težine ćelija s mogućnošću transporta i montaže,

- fleksibilnost sistema koji pruža mogućnost različitih varijanti tlocrtna rješenja i primjene za razne objekte poput stambenih, školskih, vrtića, upravnih zgrada itd.

Sistem Vegrad je nastao nakon višegodišnjeg rada grupe mladih stručnjaka u Titovom Velenju, nakon proučavanja brojnih stranih iskustava. Iako su prvi objekti izrađeni u eksperimentalnoj fazi, pokazali prednost prostornih sistema i u našim uvjetima. Sistem pripada u grupu prostornih sistema te se sastoji od dva čelna okvira i jedne stropne ploče te dodatne rešetke za strop koja omogućuje krutost te zamjenjuje strop. Okviri su uvijek jednaki te se izrađuju u dvije varijante [2]:

- stambena izgradnja visine od 3,2 m,
- lokalna izgradnja 3,7 m.

Stropna je ploča uvijek istog presjeka, no po dužini se radi u više modularnih dužina:

- 7,2 m,
- 8,4 m
- 9,6 m,
- 10,8 m.

Iz ovih se elemenata koji se proizvode u velikim serijama, izvode ćelije pomoću prednaprezanja u jednu cjelinu koja je sastavni dio grubog kostura ćelije. U tvornici se obavlja finalizacija, te se tako dovršena jedinica omotava u ceradu radi osiguranja zaštite te se tako dovršeni prostorni elementi sastavljaju u beskonačan broj kombinacija.

Pomoću ovog sistema se izvode objekti za stanovanje, školovanje, odgoj i obrazovanje i slično. Transport gotovih prostornih elemenata se obavlja pomoću normalnog prijevoznog sredstva jer njihova veličina ne prelazi dozvoljene gabarite. Montaža se provodi putem mobilne dizalice nosivosti od 60 pa sve do 130 tona, a težina najtežeg elementa iznosi do 20 tona. Montaža se izvodi pomoću suhog spajanja odnosno zavarivanja, a poslije montaže ostaju još fini radovi koji traju od dva pa sve do tridesetak dana, ovisno o postotku finalizacije u tvornici i ostalim okolnostima.

### 3. PROIZVODNJA PREDGOTOVLJENIH BETONSKIH ELEMENATA

#### 3.1. Priprema proizvodnje

Beton predstavlja složen materijal čiji se kostur sastoji od cementnog kamena koji je ispunjen agregatom te koji ima nehomogenu strukturu. Njegova gustoća ovisi o čvrstoći betona, propusnosti za vodu i plinove, vodljivosti zvuka, vatrootpornosti i slično. Razred betona je C30/37 koji predstavlja čvrstoću betona koja je ispitana na valjku od 15/30 cm nakon 28 dana te čvrstoću kocke dimenzije od 15 cm nakon 28 dana. Minimalni razredi tlačne čvrstoće jesu<sup>14</sup>:

- armirani beton C25/30,
- prednapeti beton C30/37.

Minimalni razred tlačne čvrstoće betona predgotovljenog betonskog elementa u trenutku prednapinjanja ne smije iznositi manje od 25 MPa. Granična deformacija betona iznosi<sup>15</sup>:

- 3,5 ‰ za savijanje sa uzdužnom silom,
- 2 ‰ za elemente koji su pod centričkim pritiskom (navedene veličine vrijede za betone do C50/60).

Montažno građenje odnosno izvođenje objekata pomoću primjene gotovih građevinskih elemenata je uzrokovalo razvoj, širenje i usavršavanje pogona i tvornica u kojima se odvija proizvodnja ovih elemenata. Razvoj ovih tvornica i pogona se odvijao od tvornica koje su bile manje, neorganizirane, zanatske te su imale vrlo široku proizvodnju u malim serijama, pa sve do suvremenih tvornica sa odlično opremljenim i automatiziranim tehnologijama. Danas postoje i jedne i druge tvornice koje posjeduju kombiniranu i visokorazvijenu te zanatsku tehnologiju. Podjela ovih proizvodnih jedinica je prikazana u nastavku<sup>16</sup>:

- sadržaj proizvodnje,
- veličina,
- materijali koje prerađuje,

---

<sup>14</sup> Meštrović, D.: Predgotovljene betonske konstrukcije, Rijeka 2017., <https://docplayer.gr/47986176-Predgotovljene-betonske-konstrukcije.html> , pristupljeno 15.09.2022.

<sup>15</sup> Meštrović, D.: Predgotovljene betonske konstrukcije, Rijeka 2017., <https://docplayer.gr/47986176-Predgotovljene-betonske-konstrukcije.html> , pristupljeno 15.09.2022.

<sup>16</sup> Meštrović, D.: Predgotovljene betonske konstrukcije, Rijeka 2017., <https://docplayer.gr/47986176-Predgotovljene-betonske-konstrukcije.html> , pristupljeno 15.09.2022.

- mjesto proizvodnje,
- težina i veličina elemenata koji se proizvode,
- tehnološki postupci,
- stupanj opremljenosti,
- odnos na tržištu.

Beton predstavlja osnovni građevinski materijal za izradu gotovih građevinskih elemenata i to sa svim svojim vrstama<sup>17</sup>:

- teški beton,
- armirani beton,
- prednapeti beton,
- laki beton.

Predgotovljeni betonski elementi predstavljaju elemente od betona i armature koji je proizveden u stalnim tvornicama tj. pogona ili poligonalnoj proizvodnji na pogonu odnosno gradilištu. U usporedbi s proizvodnjom na gradilištu, stacionarna proizvodnja ima bolju organizaciju, bolje prateće službe, stalan kadar, uhodanu proizvodnju, bolju opremljenost ali i manu koja se temelji na opterećenju troškovima koje nastaje prijevozom do samog gradilišta. S druge strane, proizvodnja na gradilištu, odnosno poligonalna proizvodnja nema tolike transportne troškove, no vrlo teško organizira solidnu proizvodnju te vrlo često dolazi do improvizacije organizacije glavne i prateće proizvodnje jer se za svako novo gradilište postavlja nova organizacija, zbog čega je kadar nestalan a sredstva rada su slabija od onih koje se nalaze u stalnim profesionalnim jedinicama. Iz prethodno navedenog se može zaključiti kako se kod stalnih proizvodnih jedinica može ustanoviti bolja kvaliteta uz veću produktivnost te solidnija i kontrolirana proizvodnja. Ukoliko je dobra organizacija, trošak transporta ne predstavlja veliki problem, transport može biti ekonomičan i do 1 000 km, iako je smatrano kako ekonomičan radijus transporta iznosi oko 200 km<sup>18</sup>.

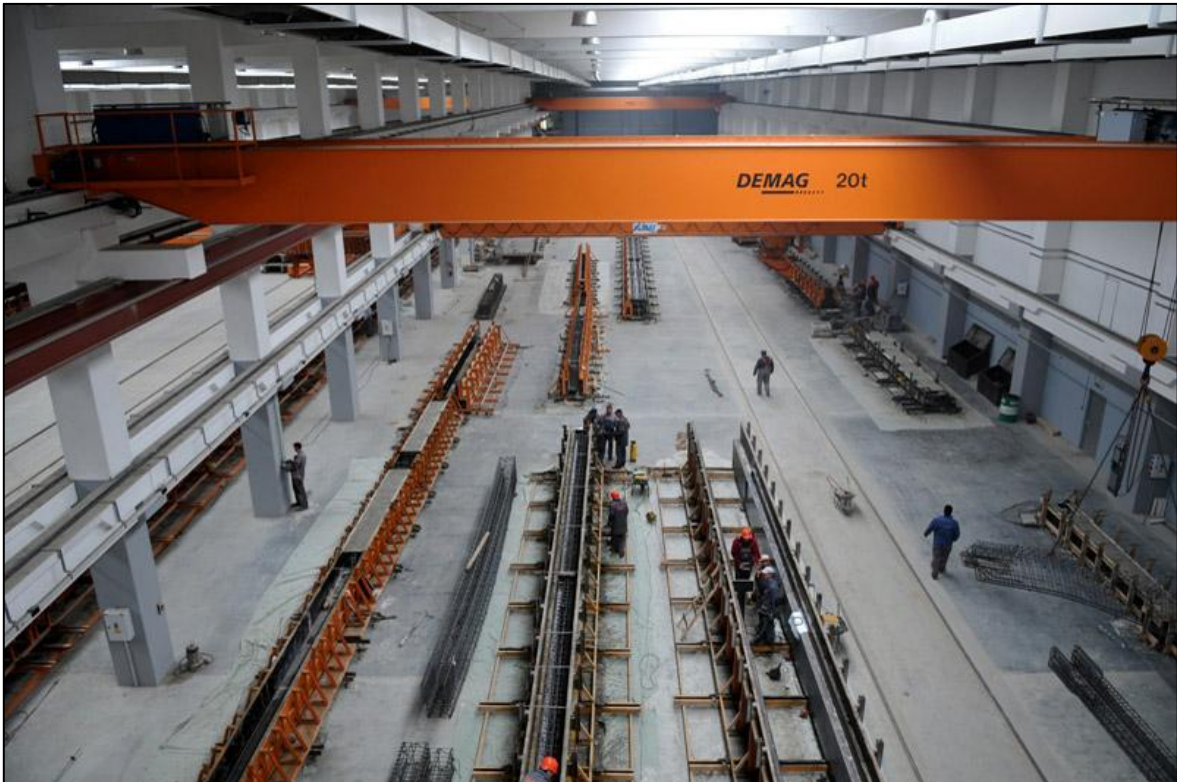
Geometrijske odlike i masa elemenata imaju utjecaj na izbor proizvodnih postupaka te oblikovanje tehnološkog toka, klasifikacija po masi ovisi o nosivosti dizalica u proizvodnji koji su prikazani u nastavku:

<sup>17</sup> Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.

<sup>18</sup> Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.

- laki elementi - do 3 tone,
- srednje teški elementi – od 5 do 7 tona,
- teški elementi – više od 7 tona.

Nosivost dizalica je u stalnom porastu, stoga prethodno navedene vrijednosti mogu varirati.



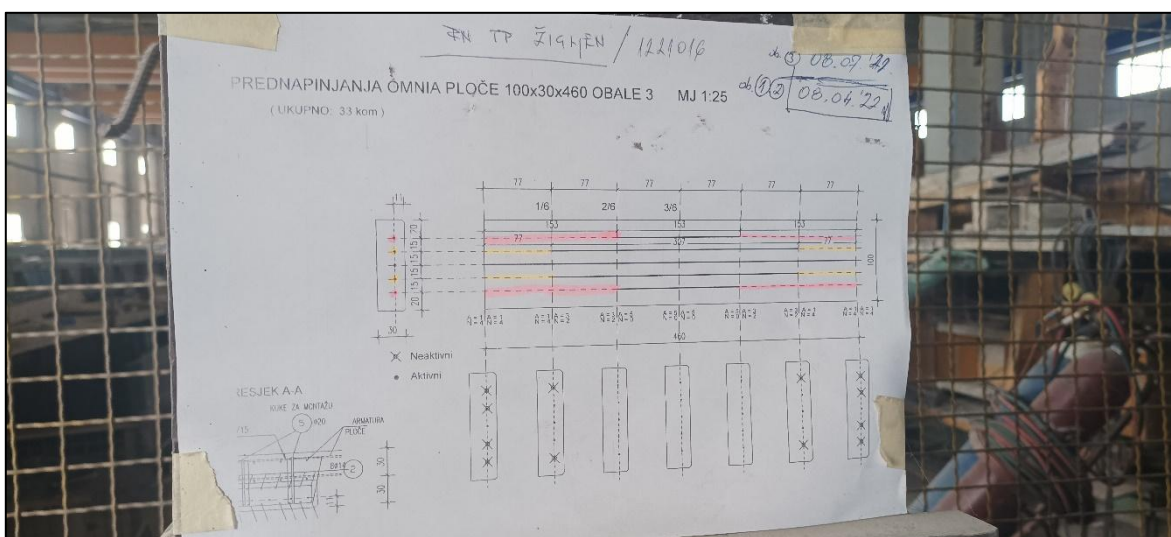
Slika 20: Unutrašnjost proizvodnog pogona tvrtke Zagorje tehno beton d.o.o. (izvor: <https://gpzagorje.hr/proizvodnja-i-prodaja/ab-montazni-elementi/>)

S ciljem izbora odgovarajućeg tehnološkog postupka, potrebno je izvršiti odgovarajuću tehnološku analizu proizvodne jedinice, tako da se tehnološki raščlane sva svojstva gotovih građevinskih elemenata a zatim analizira svaki posebno. Tehnološku analizu izvršava projektant elementa i cijeli objekt te projektant tehnologije i proizvođač. Konstrukcija mora biti izvedena u granicama mogućnosti te mora biti prilagođena jednostavnoj proizvodnji, lakšem postizanju kvalitete te analizom ekonomskih pokazatelja koji omogućuju niže troškove proizvodnje<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.

Priprema proizvodnje se sastoji od analiziranja svih čimbenika na koje je potrebno obratiti pozornost prije same organizacije proizvodnje poput<sup>20</sup>:

- tržišta i njegovog plasmana,
- izbora asortimana i kapaciteta, odnosno opsega i lepeze proizvodnje,
- analize lokacije,
- proučavanja srodnih i konkurentnih kapaciteta,
- analize sirovina i izvorišta građevinskog materijala, odnosno sirovina za proizvodnju,
- plana radne snage,
- analize prometa,
- utvrđivanja energetske, vodoopskrbne i odvodne situacije,
- prethodne analize ekonomičnosti,
- financijske konstrukcije,
- izbora tehnologije, opreme i objekta za glavnu proizvodnju te pomoćne jedinice.



**Slika 21: Izvedbeni nacrti kao priprema za proizvodni proces (izvor: osobna arhiva)**

S ciljem pripreme proizvodnje, mora biti angažiran cijeli tim stručnjaka u kojem će svaki iz svog područja morati proučiti i pružiti mjerodavnu ocjenu o cijeloj proizvodnji. Proučavanje prilika na tržištu predstavlja temelj za daljnju analizu koja obuhvaća izbor asortimana i kapaciteta, određivanje ekonomičnog radijusa transporta te ekonomičnost buduće proizvodnje i plasmana gotovih proizvoda.

<sup>20</sup> Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.

Nakon toga se utvrđuje zadatak i program proizvodnje, precizira se lepeza te ukupni godišnji opseg same proizvodnje. Zatim se određuje proizvodna grupa te područje proizvodnje (mješovito građenje, otvoreni ili zatvoreni montažni sistem građenja, industrijske hale, mostove i ostale gotove građevinske elemente)<sup>21</sup>.

Potrebno je također odrediti veličinu i sistem proizvodnog prostora, odnosno koji će se dio proizvodnje obavljati na otvorenom a koji na zatvorenom ili će biti kombinirano. U ovom koraku već mora biti poznat sistem tehnologije, odnosno da li će proizvodnja biti pojedinačna ili sistem staza po kojima se kreću strojevi za dovršavanje ili proizvodne trake koje se kreću.



**Slika 22: Oplata grede Beton Lučko d.o.o. (izvor: osobna arhiva)**

Nakon čega je potrebno izabrati sistem ugrađivanja betona između vibriranja s električnim, pneumatskim ili ostalim vibratorima, te izbor vrste i osobine vibratora poput frekvencije i amplitude, prešanje betona, vakuumiranje, centrifugiranje ili kombinirane metode. Isto tako, potrebno je donijeti odluku o sistemu uklanjanja grešaka te o tome na koji način će se obrađivati betonske površine<sup>22</sup>:

- vidljivi beton,
- pranje,
- pjeskarenje,
- bojenje i premazi i dr.,

Također je potrebno izabrati sistem za ubrzavanje sistema betona

<sup>21</sup> Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.

<sup>22</sup> Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.



- prirodno-kemijska sredstva,
- viskotlačna ili niskotlačna para,
- grijanje toplim kalupima, infra-grijalicama, elektropostupcima i sl.



Slika 23: Unutašnjost pogona Beton Lučko d.o.o. (izvor: osobna arhiva)

Kada je riječ o prometu, on se može podijeliti na unutarnji i vanjski. Unutarnji promet podrazumijeva kranke dizalice (portalne, mosne, poluportalne, kontejnerske, atokranove itd.) i njihov izbor te određivanje njihove ekonomične nosivosti i radijuse djelovanja te njihov broj. Također je potrebno odrediti transportna sredstva unutrašnjeg prometa poput viličara, dampera, monorelija, kara, plata, kolica, traktora, pumpi, itd. te vozila za promet gotovih proizvoda. Zatim je potrebno izabrati najpovoljniji vanjski transport gotovih proizvoda od proizvodne jedinice do gradilišta.



Slika 24: Prijevoz betonskih elemenata do mjesta ugradnje (izvor: <https://m-pmp.hr/transport-i-mehanizacija/>)



**Slika 25: Unutašnjost pogona Beton Lučko d.o.o. (izvor: osobna arhiva)**

Potrebno je unutar proizvodne jedinice donijeti načelnu odluku o rješavanju unutarnje komunikacije poput internih telefona, razglasa i slično. Te osim osnovne tehnologije i opreme je potrebno odrediti i dimenzionirati sve pomoćne jedinice. Nakon čega slijedi određivanje pomoćne servisne službe te pomoćne jedinice za pranje i granuliranje granulata, spravljanje betona, pomoćne jedinice za obradu armature i izradu armaturskih sklopova, izradu kalupa itd. Isto tako, potrebno je izraditi plan radne snage na temelju radnih mjesta i stručnosti kako bi se u kasnijem projektnom postupku omogućilo izvršavanje dimenzioniranje svih socijalnih i sanitarnih uređaja<sup>23</sup>.

### **3.2. Organizacija proizvodnje**

Tvornička kontrola proizvodnje uključuje sve mjere koje su potrebne za postizanje i održavanje kvalitete betona tako da on bude u skladu s propisanim zahtjevima. Ta kontrola obuhvaća sve provjere i ispitivanja, provjeru rezultata ispitivanja opreme, osnovnih materijala, svježeg i očvrnulog betona. U procesu izvođenja betonskih radova postoji pet ključnih elemenata o kojima ovisi izlaz, a to su: planiranje izvođenja, ljudski resursi, upravljanje procesom, sredstva rada i upravljanje<sup>24</sup>.

Osnovni elementi tvorničke proizvodnje predgotovljenih betonskih elemenata:

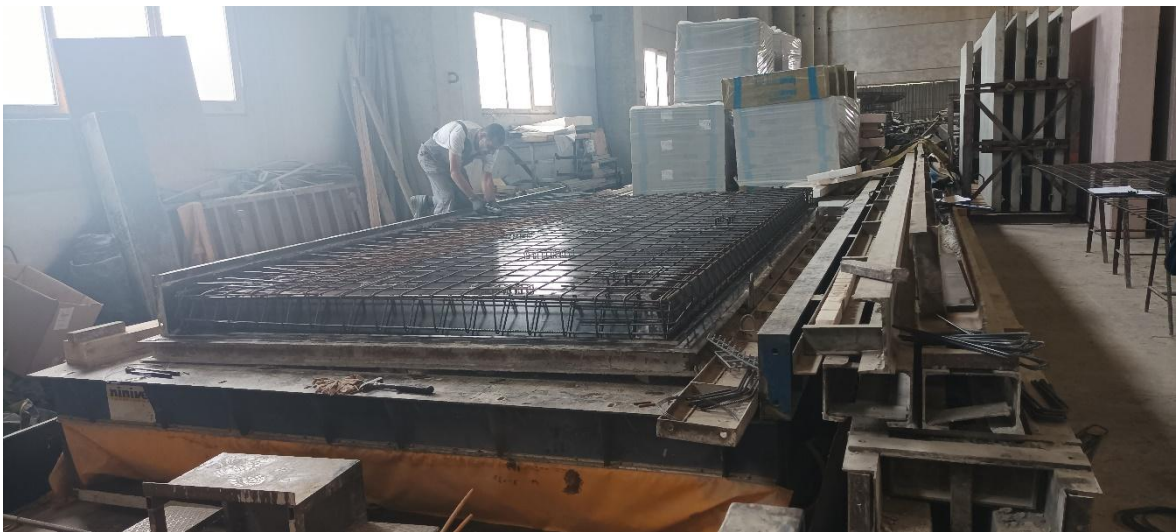
<sup>23</sup> Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.

<sup>24</sup> Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.

- 1) betonara
- 2) viseći transporter betona
- 3) mosni kranovi
- 4) sustav za rasprostiranje betona
- 5) staza za adheziono prednaprezanje
- 6) linije klasično armiranih elemenata
- 7) električna kolica za interni prijevoz elemenata.



Slika 26: Osnovni elementi tvorničke proizvodnje – Beton Lučko d.o.o. (izvor: osobna arhiva)



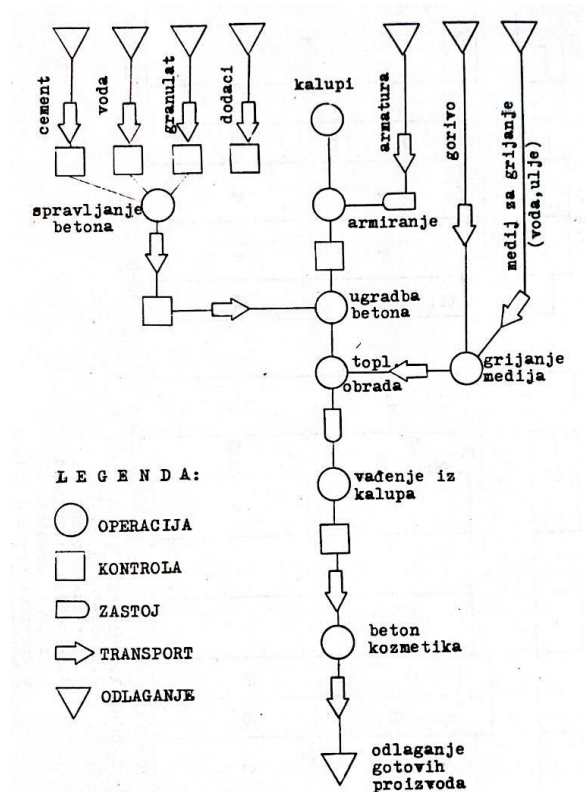
Slika 27: Linija proizvodnje pločastih elemenata u Beton Lučko d.o.o. (izvor: osobna arhiva)

Prilikom projektiranja je potrebno obratiti pozornost na izvršavanje tipizacije objekata i konstruktivnih dijelova, čiji je prijedlog prikazan na slici 11, oblik, rješenje i obrada ovise o velikom broju faktora, inveciji projekata, tehnološkom procesu, konfiguraciji terena itd.

Tehnološki proces proizvodnje se može podijeliti na:

- spravljanje betona,
- izrada betonskih elemenata,
- odlaganje gotovih proizvoda.

Prethodno navedene tri faze su prostorno podijeljene, ali stalno u međusobnoj vezi. Izrada betonskih elemenata čini glavni dio proizvodnog proizvoda. Na slici 12 je prikazana shema proizvodnje u logičnom tehnološkom slijedu u nepokretnim kalupima s međunarodnim oznakama za tehnološke aktivnosti.



**Slika 28:Karta tehnološkog procesa (izvor: Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.)**

Proizvodnja elemenata za montažno građenje zgrada predstavlja bolje organizirane tvornice koje proizvode zidne fasade, unutarnje nosive i pregradne

elemente te stropove i ostale dijelove zgrada, posebice stambenih te ostalih objekata visokogradnje poput škola, bolnica, hotela, upravnih zgrada itd. Ovakav način proizvodnje podrazumijeva poligonalnu i stacionarnu proizvodnju, koji način će biti korišten ovisi o tome proizvode li se elementi za velikoplošne, skeletne ili prostorne montažne sisteme. Najveći broj tvornica danas se temelji na proizvodnji elemenata za velikoplošne montažne sisteme, čija proizvodnja pretežno proizvodi unutarnje i pregradne stijene, koje je ujedno i najekonomičnija i najbrža proizvodnja u baterijskim kalupima. Ovi se kalupi mogu tri do četiri puta puniti i prazniti u roku 24 sata, tako da jedan baterijski kalup ima izrazito veliki učinak. Jedno punjenje rezultira desetak velikih zidnih elemenata. Budući da je kalup okomit, stijene kalupa omogućuju vrlo glatke površine stijena, stoga takvi elementi ne zahtijevaju žbukanje. Baterije u sebi imaju ugrađene grijače, vibratore i hidrauličke uređaje zbog čega djeluju kao stroj<sup>25</sup>.

Višeslojni elementi se proizvode u horizontalnim kalupima, te postoje dva osnovna načina proizvodnje<sup>26</sup>:

- tehnološke linije s nepokretnim kalupima,
- tehnološke linije s pokretnim kalupima.

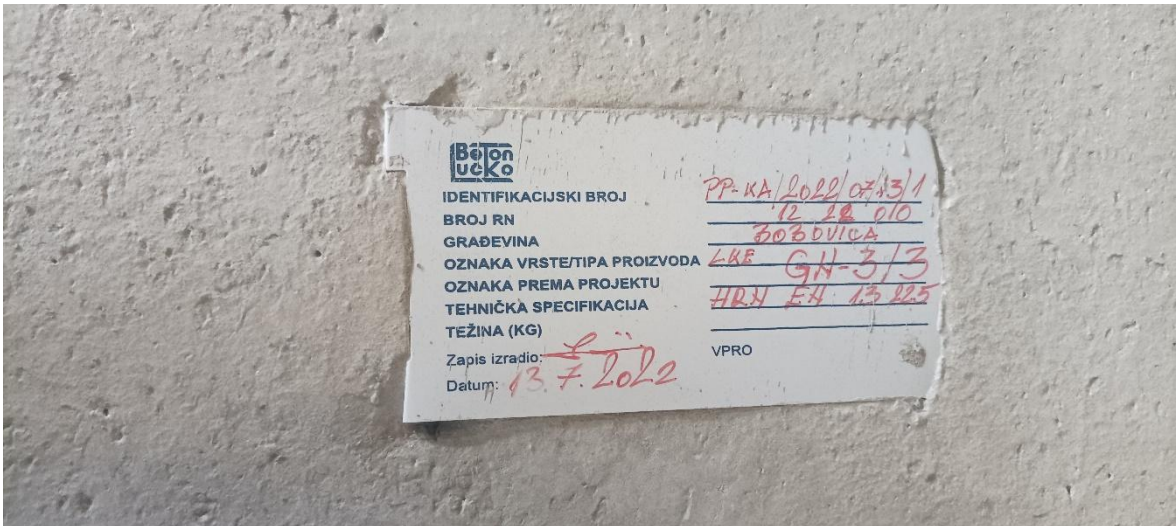
Tehnološke linije s nepokretnim kalupima se sastoje od niza kalupa koji su čvrsto fiksirani na jednom mjestu te postavljeni u pravcu s radnim prostorom oko njih. Sredstva za proizvodnju, materijali i radnici za izradu se kreću od kalupa do kalupa te obavljaju sve operacije:

- čišćenje i priprema kalupa,
- postavljanje armature,
- postavljanje u kalup svakog sloja posebno,
- ugradba betona,
- vađenje iz kalupa,
- otprema na gradilište.

---

<sup>25</sup> Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.

<sup>26</sup> Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.



Slika 29: Tehnološke linije s nepokretnim kalupom (izvor: osobna arhiva)

Ovaj način proizvodnje karakterizira vađenje polučvrstog elementa iz kalupa, odnosno pokretanje iz horizontalnog položaja u vertikalni, koji se rješava

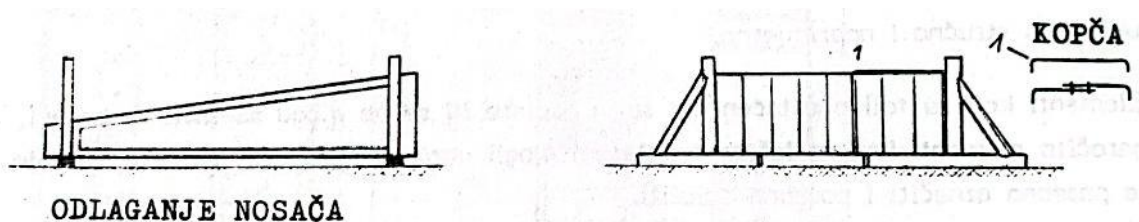
primjenom kalupa koji se podiže u kosi položaj na oko 85° prema horizontali. Ovaj položaj omogućuje prihvat elementa pomoću dizalice bez nastanka oštećenja. Kako bi se kalup što prije oslobodio i kako bi se sa što manje kalupa napravila veća proizvodnja, elementi se iz kalupa vade onda kada postignu 50% svoje čvrstoće od tražene, ali svakako iznad 10 Nm/mm<sup>2</sup>. Ovdje je moguća podjela rada u kojem jedna ekipa samo izvršava vađenje iz kalupa te odvozi na odlagalište dok druga ekipa čisti kalup i maže ga sredstvom za premaz oplata, treća ekipa je zadužena za montiranje armature a četvrta za elemente koji se ugrađuju u element te peta ekipa obavlja završnu obradu poput polaganja kulira, morta u boji i slično. Nakon toga, sljedeća ekipa je zadužena za spuštanje limene kape, odnosno haube te s toplinom ubrzava proces stvrdnjavanja betona. Nakon toga, cijeli proces je potrebno ponoviti. Beton se dovozi pomoću raznih vozila poput mosne, portalne ili poluportalne dizalice, viličara, dampera ili spec. vozila, te se grije spiralama koje su smještene na donjoj strani kalupa ili na kapi koja je okretna, dok se višeslojni elementi griju s gornje i donje strane. Završna obrada se provodi finišerom koji na sebi posjeduje spremnik za beton te se kreće tračnicama po dužini proizvodne linije iznad ploha elemenata. Gotovi proizvodi se odvoze putem kranskih dizalica, vagoneta ili plato-kolica, velikih viličara ili autodizalica.

Drugi način proizvodnje se odvija u pokretnim kalupima u kojem su kalupi smješteni na kotačima te se kružno kreću prema utvrđenom taktu po tračnicama, a ljudi s materijalima i alatima se ne kreću. Ovaj postupak je primjenjiv kod velike proizvodnje, dok se kod manje proizvodnje primjenjuje premještanje kalupa mosnom ili nekom drugom dizalicom do agregata, zbog čega se ova metoda naziva agregatnom metodom. Kod ove metode nema sinkronizacije koja se javlja kod prvog načina proizvodnje, već dužinu neprekinute trake određuje potreba za izvršenjem svih radnih operacija. Proces rada je moguće automatizirati, zahtijeva veća investicijska ulaganja i daje veću produktivnost. Ova se metoda najčešće primjenjuje u svim hrvatskim tvornicama jer zahtijeva manja ulaganja i ima fleksibilniju proizvodnju. Kod ove se metode materijali nose do kalupa, a proces ubrzavanja stvrdnjavanja se najčešće obavlja putem komora ili jama za obradu parom. Putem dizalice se donose četiri do šest kalupa sa svježe ugrađenim betonom u jamu ili komoru, te se nakon zatvaranja pušta para. Postoje najmanje dvije komore, od kojih se jedna puni dok je druga pod parom.



### 3.3. Odlaganje novih elemenata

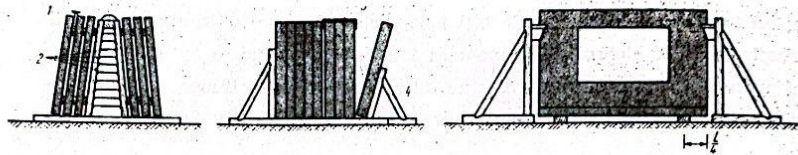
Posebnu pozornost je potrebno usmjeriti na organizaciju, dimenzioniranje, smještaj i promet za odlagalište gotovih proizvoda, jer će na njima sazrijevati gotovi elementi i obavljati se eventualni popravci od oštećenja te kontrolirati kvaliteta. Gotovi elementi se odlažu na prostor koji je za to namijenjen te koji ne smije biti previše udaljen od proizvodnog prostora. Odlagališta moraju biti 1,5 pa do 3,0 puta veća od svih proizvodnih prostora. Elementi se mogu odlagati u horizontalnom i vertikalnom položaju, onako kako će biti ugrađeni u objekt, osim stupova i sličnih elemenata koji nemaju mogućnost vertikalnog odlaganja. Elementi koji se horizontalno odlažu se slažu jedan na drugi u više, dok se između stavljaju drveni podmetači poput letvi i gređica jedan iznad drugoga, a na tlu se uvijek mora nalaziti podmetač. Slika 13 prikazuje odlaganje novih elemenata s oznaka koje označuju do koje visine je dozvoljeno odlaganje [2].



Slika 30: Odlaganje nosača (izvor: Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.)

Elementi koji se vertikalno odlažu se postavljaju u tzv. „šoške“ kod kojih postoji mogućnost paralelnog slaganja na maloj udaljenosti s mogućnošću vađenja svakog elementa bez oštećenja i pomicanja drugog. Odlaganje nosača je prikazano na slici 14.

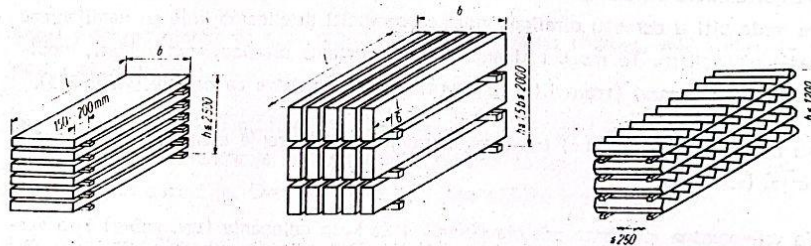
Kose i okomite soške za odlaganje velikoplošnih elemenata



Odlaganje nosača



Odlaganje pločastih, grednih i stubišnih elemenata



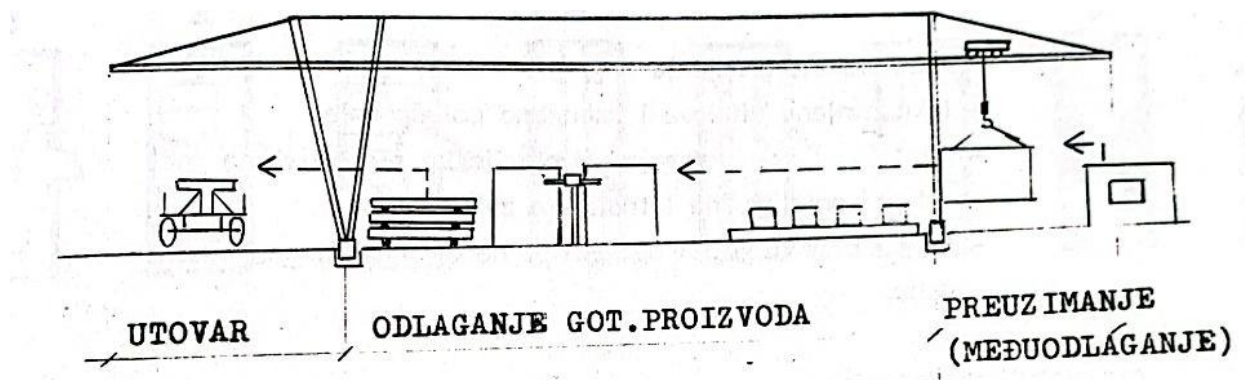
Slika 31: Odlaganje elemenata (izvor: Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.)

Obavezno je da odlagalište gotovih elemenata bude dobro organizirano te da se točno zna gdje i što treba odložiti, zbog čega je najbolje izraditi plan odlaganja. Ukoliko se radi o nekoj stalnoj ili serijskoj proizvodnji ili ako se povremeno radi za određena gradilišta, potrebno je odlagalište organizirati prema objektima.



Slika 32: Odlaganje gotovih grednih elemenata u pogonu Beton Lučko d.o.o. (izvor: osobna arhiva)

Na odlagalište je moguće postaviti velike table koje označuju što se nalazi na pojedinom prostoru, te mora biti dobro mehanizirano tako da se kod većih odlagališta primjenjuju portalne dizalice kako je prikazano na slici niže.



Slika 33: Presjek kroz odlagalište koje poslužuje portalna dizalica (izvor: Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.)

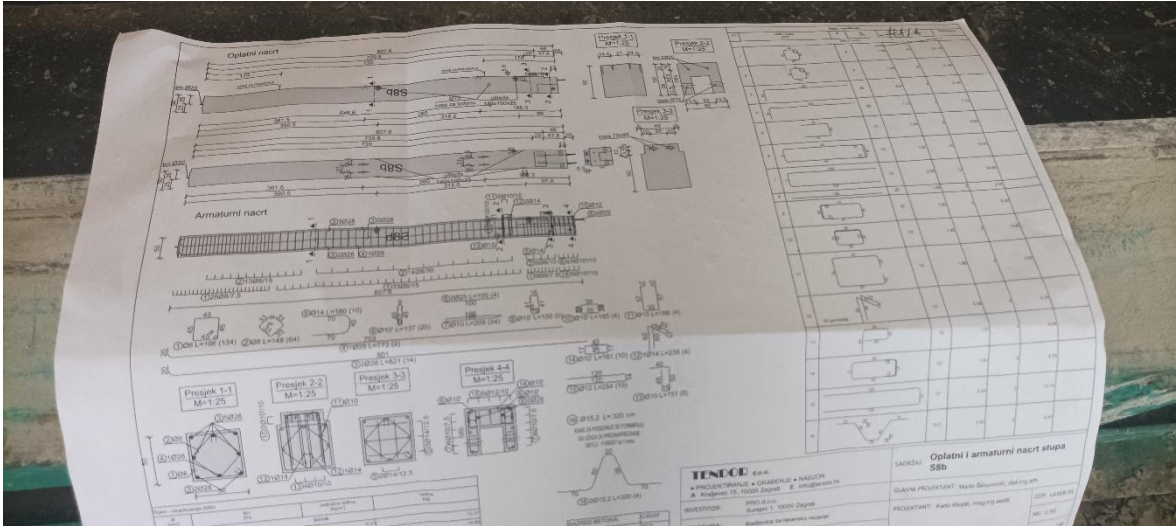


Slika 34: Odlaganje prefabriciranih stubišnih krakova (izvor: <https://floodprecast.co.uk/2020/01/benefits-of-using-precast-stairs-with-steel-frame-buildings/>)



Slika 35:Odlaganje gotovih pločastih elemenata u pogonu Beton Lučko d.o.o. (izvor: osobna arhiva)

Kod manjih se odlagališta i manipulacije manjih elemenata primjenjuju viličari, manje autodizalice te specijalizirana mehanizacija. Viličari su odlični za međutransporte, posebno oni s hidrauličnim hvataljkama, no zahtijevaju veliku površinu kako bi se mogli kretati po tlu. Portalni kranovi su najpraktičniji za rad na odlagalištu jer se onda gubi samo površina od 6 do 20%, a ukoliko se radi o teškim teretima malih dimenzija, tada su idealni pokretni kranovi koji se kreću na gumenim kotačima i zahtijevaju između 12-20% prometnih površina.



Slika 36: Tijek izrade i doprema predgotovljenog betonskog stupa na gradilište (izvor: osobna arhiva)

## 4. ZAKLJUČAK

Montažna gradnja povijesno je doživjela svoje uspone i padove u skladu sa trendovima gradnje. Razvojem tehnologije betona montažne su građevine od robusnih i oblikovno jednostavnih u drugoj polovici 20. stoljeća prešle u vitke i estetski interesantne konstrukcije.

Montažna gradnja sve više odgovara brzom stilu života i promjenama na tržištu cijena i materijala, a samim time i nekretnina. Neprirodna eskalacija cijena građevinskih sirovina, a time i proizvoda čini čitav sektor nestabilnim u životnom vijeku jednog građevinskog projekta, pa se prefabriciranjem elemenata u fazama niske tržišne cijene mogu ostvariti značajne uštede i svojevrsna sigurnost investicije.

Montažnim načinom se danas izvode sve vrste objekata - stambeni objekti, industrijske hale, sportske dvorane kao i mostovi i slični infrastrukturni objekti.



Slika 37: Soccer City stadion u Johhanesburgu izgrađen 1987. sastoji se od 2400 modula izrađenih od prefabriciranog betona ojačanog staklenim vlaknima (izvor: [https://books.google.hr/books?id=xbq\\_zqFZqQQC&printsec=frontcover&hl=hr&source=gbs\\_atb#v=onepage&q&f=false](https://books.google.hr/books?id=xbq_zqFZqQQC&printsec=frontcover&hl=hr&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false))

Shodno tome, montažno građenje predstavlja osnovni prirodni proces izvođenja objekata, jedino je danas montažno građenje dobilo novo značenje industrijske tehnologije.

Napredak tehnologije je uzrokovao i napredak u razvoju montažnog građenja, te se bez visokog razvoja prethodne proizvodnje građevinskih elemenata i montaže ne mogu izvesti mnogi građevinski objekti, odnosno ne bi bili izvedeni sa dozom uspjeha.

Potreba za većom produktivnošću, potpunom industrijalizacijom te sve savršenijom tehnologijom koja se bolje ostvaruje u tvornicama za razliku od gradilišta je rezultirala prostornim montažnim sistemima.

Proizvodnja elemenata za montažno građenje predstavlja bolje organizirane tvornice koje proizvode sve vrste kako konstruktivnih tako i nekonstruktivnih elemenata građevina.

U usporedbi s proizvodnjom na gradilištu, stacionarna proizvodnja ima bolju organizaciju, bolje prateće službe, stalan kadar, uhodanu proizvodnju, bolju opremljenost, ali i manu koja se temelji na opterećenju troškovima koje nastaje prijevozom do samog gradilišta.

S ciljem izbora odgovarajućeg tehnološkog postupka, potrebno je izvršiti odgovarajuću tehnološku analizu proizvodne jedinice, tako da se tehnološki raščlane sva svojstva gotovih građevinskih elemenata a zatim analizira svaki posebno.

S ciljem pripreme proizvodnje, mora biti angažiran cijeli tim stručnjaka u kojem će svaki iz svog područja morati proučiti i pružiti mjerodavnu ocjenu o cijeloj proizvodnji.

Posebnu pozornost je potrebno usmjeriti na organizaciju, dimenzioniranje, smještaj i promet za odlagalište gotovih proizvoda, jer će na njima sazrijevati gotovi elementi i obavljati se eventualni popravci od oštećenja te kontrolirati kvaliteta koja se smatra najvećim benefitom ovakvog tipa konstrukcija.

## 5. POPIS LITERATURE

1. Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.
2. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021.
3. Meštrović, D.: Predgotovljene betonske konstrukcije, Rijeka 2017.,
4. Sveučilište u Splitu, Građevinsko arhitektonski fakultet, Katedra za betonske konstrukcije i mostove, Kolegij: Mostovi, Split, 2008.
5. Kolmačić, M.: Predgotovljene betonske konstrukcije, Sveučilište Sjever, Varaždin 2018.
6. Mecanov, D.: Sustav prefabricirane gradnje Jugomont iz Zagreba, Sveučilište u Zgrebu, Arhitektonski fakultet, PROSTOR 1[49] 23[2015] 174-185
7. Patković, M.: Industrijsko građenje i strojevi za monta, završni rad, Sveučilište u Osijeku, 2017.
8. Knaack U., Chung-Klatte S., Hasselbach R.: Prefabricated Systems: Principles of Construction, [https://www.researchgate.net/publication/347532230\\_Prefabricated\\_Systems\\_Principles\\_of\\_Construction](https://www.researchgate.net/publication/347532230_Prefabricated_Systems_Principles_of_Construction)
9. <https://floodprecast.co.uk/2020/01/benefits-of-using-precast-stairs-with-steel-frame-buildings/>
10. <https://www.betonlucko.hr/files/sistemi-gradjenja/montazni-sistemi/montazni-sistemi-gradjenja.pdf>
11. [https://theconstructor.org/concrete/lift-slab-construction/6824/\)](https://theconstructor.org/concrete/lift-slab-construction/6824/)
12. <https://floodprecast.co.uk/2020/01/benefits-of-using-precast-stairs-with-steel-frame-buildings/>



## POPIS SLIKA

Slika 1:Predgotovljeni betonski elementi : greda T presjeka, piloti, pragovi, opločnici .....	6
Slika 2:Betonska kanalizacijska okna (izvor: <a href="http://termo-beton.com/perfect-saht/">http://termo-beton.com/perfect-saht/</a> , pregledano 20.10.2022.) .....	10
Slika 3:Doprema prefabriciranog sandučastog nosača mosta na lokaciju ugradnje (izvor: <a href="https://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/5445/820/betonski-segmentni-mostovi">https://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/5445/820/betonski-segmentni-mostovi</a> , pregledano 20.10.2022.) .....	11
Slika 4:Ugradnja prefabriciranog sandučastog nosača mosta na lokaciju ugradnje (izvor: <a href="https://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/5445/820/betonski-segmentni-mostovi">https://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/5445/820/betonski-segmentni-mostovi</a> , pregledano 20.10.2022.) .....	12
Slika 5:Betonska hala od predgotovljenih elemenata-3D vizualizacija (izvor: <a href="https://www.stanoinvest.hr/project/armirano-betonske-montazne-konstrukcije-hala-trnovec-bartolovecki/">https://www.stanoinvest.hr/project/armirano-betonske-montazne-konstrukcije-hala-trnovec-bartolovecki/</a> , pregledano 20.10.2022.) .....	13
Slika 6: Montažna betonska hala – montažni elementi .....	14
Slika 7:Montažna Ab greda T poprečnog presjeka (izvor: osobna arhiva) .....	15
Slika 8:Montažne armirano betonske ploče punog poprečnog presjeka (izvor: osobna arhiva) .....	16
Slika 9:Plan oplate krovne TT ploče (izvor: <a href="https://www.betonlucko.hr/files/sistemi-gradjenja/montazni-sistemi/montazni-sistemi-gradjenja.pdf">https://www.betonlucko.hr/files/sistemi-gradjenja/montazni-sistemi/montazni-sistemi-gradjenja.pdf</a> ) .....	17
Slika 10:Šuplje prednapregnute stropne ploče - montaža (izvor: <a href="https://hr.puntomarinero.com/hollow-floor-slabs-gost-dimensions/">https://hr.puntomarinero.com/hollow-floor-slabs-gost-dimensions/</a> , pregledano 20.10.2022.) .....	18
Slika 11:Primjer velikoplošnog sustava – polumontažni sistem „Beton Lučko“ (izvor: <a href="https://www.betonlucko.hr/polumontazni-sistemi-gradjenja.html">https://www.betonlucko.hr/polumontazni-sistemi-gradjenja.html</a> , pregledano 20.10.2022.) .....	20
Slika 12:Panelni sustav Jugomont (izvor: Mecanov, D.: Sustav prefabricirane gradnje Jugomont iz Zagreba, Sveučilište u Zgrebu, Arhitektonski fakultet, PROSTOR 1[49] 23[2015] 174-185) .....	23
Slika 13:Sistem Larsen-Nielsen na primjeru novozagrebačkih nebodera (izvor: <a href="https://www.jutarnji.hr/domidizajn/interijeri/otporni-na-potres-zagrebace-visekatnice-i-neboderi-tresu-se-i-plesu-ali-u-nedjelju-su-gotovo-neosteceni-10146751">https://www.jutarnji.hr/domidizajn/interijeri/otporni-na-potres-zagrebace-visekatnice-i-neboderi-tresu-se-i-plesu-ali-u-nedjelju-su-gotovo-neosteceni-10146751</a> ) .....	24
Slika 14:Sistem STRUCTUR RAPID (izvor: <a href="https://vebuka.com/print/100701210404-acd5fd3940574436b4e496be94869936/Magazine_AOA_8">https://vebuka.com/print/100701210404-acd5fd3940574436b4e496be94869936/Magazine_AOA_8</a> ) .....	26
Slika 15:Sistem LIFT SLAB (izvor: <a href="https://theconstructor.org/concrete/lift-slab-construction/6824/">https://theconstructor.org/concrete/lift-slab-construction/6824/</a> ) .....	29
Slika 16:Montažna betonska nosiva konstrukcija industrijske hale (izvor: <a href="http://betoncommerce.hr/portfolio-view/montazne-hale/">http://betoncommerce.hr/portfolio-view/montazne-hale/</a> ) .....	30
Slika 17:Primjer prefabricirane modularne gradnje u Portugalu (izvor: <a href="https://archive.curbed.com/2020/5/7/21249827/prefab-concrete-building-samuel-goncalves-summary-architects">https://archive.curbed.com/2020/5/7/21249827/prefab-concrete-building-samuel-goncalves-summary-architects</a> ) .....	31
Slika 18:Montaža modularnog betonskog objekta (izvor: <a href="https://www.tengcang66.com/">https://www.tengcang66.com/</a> ) .....	31
Slika 19:Primjer mješovitog sustava (izvor: <a href="https://www.compacthabit.com/advantages/">https://www.compacthabit.com/advantages/</a> ) .....	32
Slika 20:Unutrašnjost proizvodnog pogona tvrtke Zagorje tehnobeton d.o.o. (izvor: <a href="https://gpzagorje.hr/proizvodnja-i-prodaja/ab-montazni-elementi/">https://gpzagorje.hr/proizvodnja-i-prodaja/ab-montazni-elementi/</a> ) .....	37
Slika 21:Izvedbeni nacrti kao priprema za proizvodni proces (izvor: osobna arhiva) .....	38
Slika 22:Oplata grede Beton Lučko d.o.o. (izvor: osobna arhiva) .....	39
Slika 23:Unutašnjost pogona Beton Lučko d.o.o. (izvor: osobna arhiva) .....	40
Slika 24:Prijevoz betonskih elemenata do mjesta ugradnje (izvor: <a href="https://m-pmp.hr/transport-i-mehanizacija/">https://m-pmp.hr/transport-i-mehanizacija/</a> ) .....	40
Slika 25:Unutašnjost pogona Beton Lučko d.o.o. (izvor: osobna arhiva) .....	41

Slika 26:Osnovni elementi tvorničke proizvodnje – Beton Lučko d.o.o. (izvor: osobna arhiva) .....	42
Slika 27:Linija proizvodnje pločastih elemenata u Beton Lučko d.o.o. (izvor: osobna arhiva) .....	43
Slika 28:Karta tehnološkog procesa (izvor: Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.) .....	44
Slika 29:Tehnološke linije s nepokretnim kalupom (izvor: osobna arhiva) .....	46
Slika 30:Odlaganje nosača (izvor: Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.) .....	48
Slika 31:Odlaganje elemenata (izvor: Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.) .....	49
Slika 32:Odlaganje gotovih grednih elemenata u pogonu Beton Lučko d.o.o. (izvor: osobna arhiva) .....	49
Slika 33:Presjek kroz odlagalište koje poslužuje portalna dizalica (izvor: Rex, S.: Industrijski način građenja II. – Montažno građenje, GF Zagreb, Zagreb, 1983.) .....	50
Slika 34:Odlaganje prefabirciranih stubišnih krakova (izvor: <a href="https://floodprecast.co.uk/2020/01/benefits-of-using-precast-stairs-with-steel-frame-buildings/">https://floodprecast.co.uk/2020/01/benefits-of-using-precast-stairs-with-steel-frame-buildings/</a> ) .....	50
Slika 35:Odlaganje gotovih pločastih elemenata u pogonu Beton Lučko d.o.o. (izvor: osobna arhiva) .....	51
Slika 36:Tijek izrade i doprema predgotovljenog betonskog stupa na gradilište (izvor: osobna arhiva) .....	52
Slika 37:Soccer City stadion u Johhanesburgu izgrađen 1987. sastoji se od 2400 modula izrađenih od prefabriciranog betona ojačanog staklenim vlaknima (izvor: <a href="https://books.google.hr/books?id=xbg_zqFZqQQC&amp;printsec=frontcover&amp;hl=hr&amp;source=gb_s_atb#v=onepage&amp;q&amp;f=false">https://books.google.hr/books?id=xbg_zqFZqQQC&amp;printsec=frontcover&amp;hl=hr&amp;source=gb_s_atb#v=onepage&amp;q&amp;f=false</a> ) .....	53

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Vitomir Mraović

MATIČNI BROJ 3493/601

DATUM 20.10.2022.

KOLEGIJ Montažno građenje

NASLOV RADA Industrijski način građenja – predgotovljene betonske konstrukcije

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Industrial building method - precasted concrete structures

MENTOR Predrag Presečki, dipl.ing.građ.

ZVANJE predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. prof.dr.sc. Božo Soldo
2. Predrag Presečki, predavač
3. doc.dr.sc. Aleksej Aniskin
4. doc.dr.sc. Goran Puž
- 5.

VŽKC

MMI

## Zadatak završnog rada

BROJ 451/GR/2022

OPIS

U radu je potrebno obraditi primjenu predgotovljenih betonskih konstrukcija u širokoj lepezi građevina, klasifikaciju montažnih sustava kao i faze proizvodnje konstrukcija od predgotovljenih betonskih elemenata.

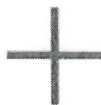
Sadržaj rada:

1. Uvod - primjena predgotovljenih konstrukcija u izgradnji hala, stambenih građevina, mostova, nadvožnjaka i dr.
  2. Klasifikacija montažnih sustava u pogledu konstrukcijskih sustava koji se primjenjuju  
- velikoplošni, skeletni i mješoviti sustavi.
  3. Proizvodnja predgotovljenih betonskih elemenata konstrukcija: - priprema proizvodnje,  
- organizacija proizvodnje, - odlaganje gotovih elemenata.
  4. Zaključak
- Literatura

ZADATAK URUČEN

POTPIS MENTORA

SVEUČILIŠTE  
SJEVER



## IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, VITOMIR MZAOVIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom \_\_\_\_\_ (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

\_\_\_\_\_  
(vlastoručni potpis)

Sukladno čl. 83. Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Sukladno čl. 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje znanstvena i umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.