

Armiranobetonski prefabricirani konstruktivni sustavi

Širić, Anđela

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:237:154341>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**

Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Anđela Širić

**ARMIRANOBETONSKI PREFABRICIRANI
KONSTRUKTIVNI SUSTAVI**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Anđela Širić

**ARMIRANOBETONSKI PREFABRICIRANI
KONSTRUKTIVNI SUSTAVI**

ZAVRŠNI RAD

izv.prof.dr.sc. Nikolina Vezilić Strmo

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Andela Širić

**REINFORCED CONCRETE PREFABRICATED
STRUCTURAL SYSTEMS**

FINAL EXAM

izv.prof.dr.sc. Nikolina Vezilić Strmo

Zagreb, 2024.

SAŽETAK

Prefabricirani armiranobetonski konstrukcijski sustavi značajno unapređuju učinkovitost i ekonomičnost u građevinarstvu. Ovaj rad analizira ključne aspekte tih sustava, uključujući njihov povijesni razvoj, osnovne karakteristike, prednosti i izazove.

Teorijsko-metodološka osnova uključuje pregled relevantne literature, analizu primjera iz prakse te usporedbu tehničkih i logističkih aspekata proizvodnje, transporta i montaže prefabriciranih elemenata. Rezultati istraživanja pokazuju da ovi sustavi poboljšavaju kvalitetu i dugovječnost objekata, dok izazovi kao što su visoki početni troškovi, dulje vrijeme projektiranja i zahtjevan transport također dolaze do izražaja.

Prefabricirani sustavi, koji se proizvode u tvornici i montiraju na gradilištu, omogućuju bržu izgradnju i bolju kontrolu kvalitete. Različiti tipovi, poput modularnih i panelnih sustava, nude fleksibilnost u dizajnu i gradnji. Primjene ovih sustava obuhvaćaju stanogradnju, industrijske i komercijalne objekte te infrastrukturne projekte.

Ključne riječi: prefabrikacija, armirani beton, armirano-betonska konstrukcija, montažna gradnja.

SUMMARY

Prefabricated reinforced concrete structural systems significantly enhance efficiency and cost-effectiveness in construction. This paper analyzes the key aspects of these systems, including their historical development, fundamental characteristics, advantages, and challenges.

The theoretical-methodological framework includes a review of relevant literature, an analysis of practical examples, and a comparison of technical and logistical aspects related to the production, transportation, and assembly of prefabricated elements. Research findings indicate that these systems improve the quality and longevity of structures, although challenges such as high initial costs, longer design times, and demanding transportation requirements are also prominent.

Prefabricated systems, which are produced in a factory and assembled on-site, enable faster construction and better quality control. Different types, such as modular and panel systems, offer flexibility in design and construction. Applications of these systems encompass residential, industrial, and commercial buildings, as well as infrastructure projects.

Key words: prefabrication, reinforced concrete, reinforced concrete construction, modular construction.

SADRŽAJ

SAŽETAK	i
SUMMARY	ii
SADRŽAJ	iii
1. UVOD	1
2. POVIJESNI RAZVOJ	2
3. VRSTE I KARAKTERISTIKE PREFABRICIRANIH AB ELEMENATA	5
3.1. Stupovi	5
3.2. Ploče.....	6
3.3. Zidovi.....	7
3.4. Fasadni paneli	8
3.5. Materijali za proizvodnju	10
3.5.1. Beton.....	10
3.5.2. Armatura.....	11
4. PROCES PROIZVODNJE, TRANSPORT I MONTAŽA	12
4.1. Projektiranje i proizvodnja elemenata	12
4.2. Betoniranje i armiranje	13
4.3. Stvrđnjavanje i očvršćavanje	13
4.4. Kontrola kvalitete i ispitivanje elemenata	14
4.5. Metode transporta prefabriciranih elemenata	15
4.6. Tehnike montaže na gradilištu	16
5. PREDNOSTI I NEDOSTACI MONTAŽNE GRADNJE	17
5.1. Prednosti.....	17
5.2. Nedostaci	17
6. PRIMJERI IZ PRAKSE	18
6.1. Tvornica kartonske ambalaže, Grude, Bosna i Hercegovina	18
6.2. Arena Zagreb.....	20
6.3. Mall of Split.....	22
7. ZAKLJUČAK	24
POPIS LITERATURE	25
POPIS SLIKA	27

1. UVOD

Armiranobetonski konstruktivni elementi ključne su komponente građevinske industrije. Kombiniranjem dvaju materijala, betona i čelika, moguće je iskoristiti njihove najbolje osobine te izgraditi robusne i dugotrajne konstrukcije otporne na razna opterećenja. Beton preuzima tlačna opterećenja, no zbog niske vlačne čvrstoće sklon je pucanju, zbog čega mu se dodaje čelična armatura koja će preuzeti vlačna naprezanja. Na ovaj način armiranobetonski konstruktivni sustavi značajni su za osiguranje stabilnosti građevina.

Razvojem građevinske industrije došlo je do potrebe za bržim, efikasnijim i preciznijim radom, a rješenje se ogleda u prefabriciranim armiranobetonskim konstruktivnim sustavima. Taj pojam podrazumijeva proizvodnju pojedinih elemenata konstrukcije izvan mjesta ugradnje te u specifičnim uvjetima proizvodnje. Na ovaj način omogućena je bolja preciznost i kvaliteta, uz značajno smanjenje troškova i utrošenog vremena. [1]

Razvoj i proizvodnja predgotovljenih konstruktivnih sustava u posljednjim desetljećima značajno raste, a razlog je mogućnost industrijalizacije, budući da je omogućena serijska proizvodnja elemenata koji se kasnije spajaju u jedinstvenu cjelinu. [2]

U ovom radu bit će obrađen nastanak i razvoj prefabriciranih armiranobetonskih konstruktivnih sustava, uz objašnjen način proizvodnje, svojstva te njihova podjela.

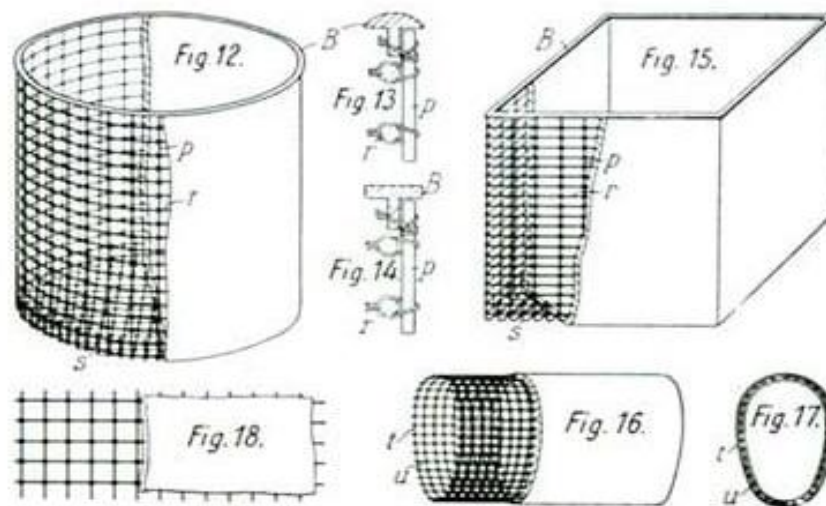
2. POVIJESNI RAZVOJ

Beton je materijal koji se koristi u građevinarstvu, smjesa cementa, agregata, vode, zraka i aditiva koji omogućuju manipulaciju njegovih karakteristika. Počeci betona sežu sve do drevnih civilizacija, a neke od tih građevina opstale su do danas, primjerice egipatske piramide. Usavršili su ga Rimljani korištenjem vulkanskog pepela i vapna, omogućivši izgradnju veličanstvenih građevina poput Koloseuma i Panteona. Nakon pada Rimskog Carstva, svi izumi i znanja o betonu padaju u zaborav sve do 18. stoljeća. Joseph Aspdin 1824. godine izumio je portlandski cement, što je označilo početak razvoja suvremenog betona.



Slika 1.: Rimski hram Panteon (Izvor [16])

Armirani beton izumljen je 1849. godine kada je pariški vrtlar Joseph Monier izradio vrtne posude od betona, ojačane željeznom mrežom. Ubrzo nakon toga, upotreba ovog materijala postaje sve šira; koristi se u izgradnji mostova i industrijskih objekata, primjerice projektima Gustava Eiffela. Tehnološki napredak početkom 20. stoljeća omogućio je širu upotrebu armiranog betona u visokim zgradama, kao što je Empire State Building te velikim infrastrukturnim projektima poput Hooverove brane. Zahvaljujući svojoj izvanrednoj čvrstoći, trajnosti i otpornosti na vatru, armirani beton danas je ključni građevinski materijal, te omogućuje arhitektima i inženjerima projektiranje izuzetno preciznih i složenih građevina, od stambenih i poslovnih zgrada do velikih infrastrukturnih projekata poput mostova, tunela, brana i stadiona. [3]



Slika 2.: Crteži za patentnu prijavu J. Moniera (Izvor [11])

Građenje predgotovljenim elementima ima bogatu povijest. Bilo je poznato već u egipatskoj arhitekturi, gdje su kameni elementi oblikovani u kamenolomima te ugrađivani na predviđenu lokaciju. Osim toga, primjenjivali su ga i Rimljani za izgradnju svojih tunela i akvadukata koristeći kalupe za beton. Međutim, do razvoja moderne prefabrikacije kakvu danas poznajemo, dolazi tek u počecima 20. stoljeća. Ispočetka se radilo o konstrukcijama od metala i čelika, koji su 1900-ih godina postali dostupni. Njihova primjena omogućila je gradnju konstrukcija većih dimenzija koje su se dostavljale na gradilište, a zbog unaprijed određenih specifikacija i kraćeg vremena proizvodnje bile su znatno povoljnije. Tijekom 20. stoljeća uvedeni su beton i plastika, a montažna gradnja postala je osnovni dio građevinarstva. Izrađivale su se cijele montažne kuće, prednapregnuti betonski stupovi, montažni armiranobetonski nosači za most te prve montažne stambene zgrade. Ova rješenja značajno su pridonijela rješavanju stambene krize uzrokovane industrijskom revolucijom te migracijom stanovništva u gradove. [2] Za vrijeme Jugoslavije, u drugoj polovici 20. stoljeća, postojala su 22 sustava prefabricirane gradnje. Suradnja znanstvenih instituta te građevinskih tvrtki i tvornica omogućila je širenje gradova, a primjer su Novi Zagreb, Split III, Novi Beograd te mnogi drugi. [4]



Slika 3.: Sustav JU-61 (Izvor [4])

Moderni načini prefabrikacije u građevinskoj industriji su ,zbog razvoja tehnologije i dostupnosti materijala, dosegli visoke razine. Danas postoji nekoliko različitih tehnika montažne gradnje koje su postale svakodnevica u građevinskoj industriji. Najučestaliji primjer je izrada modularnih komponenti. Obično se sastoje od osnovne jedinice ili nekoliko njih te se povezuju u cjeline kao što su zidovi, podovi, stupovi i slično. Osim modularnih komponenti značajne su vanjska montaža te automatizirana izgradnja. Vanjska montaža podrazumijeva izradu komponenti i instalacija izvan gradilišta, uz veću preciznost i smanjenu mogućnost pogreške. S druge strane, automatizirana izgradnja radi se uz pomoć robota i automatiziranih strojeva, obuhvaća instaliranje komponenti te druge procese, primjerice zavarivanje i bojanje.

Daljnjim razvojem tehnologije prefabricirani način gradnje će zasigurno imati ključnu ulogu u budućnosti, omogućujući bržu i otporniju izgradnju te otvaranjem novih mogućnosti za inovativne i održive građevine. [2]

3. VRSTE I KARAKTERISTIKE PREFABRICIRANIH AB ELEMENATA

Gotovo svi prefabricirani armiranobetonski elementi okarakterizirani su osnovnim odlikama montažnog građenja, a to su:

- Podjela rada – u radove nije uključen velik broj obrtnika, već specijalisti za montažu elemenata
- Serijska proizvodnja – višestruka uporaba opreme za proizvodnju te ponavljanje projekata, elemenata i konstrukcija
- Mehaniziranost proizvodnje – strojevi i robotika zamjenjuju ljudski rad uz premještanje proizvodnje s gradilišta u pogone
- Organizacija rada – sinkronizacija i suradnja svih sudionika u proizvodnji
- Standardizacija i tipizacija – serijskom proizvodnjom postiže se ekonomičnost uz povećanje kvalitete uzrokovano pridržavanjem normi

Neki od osnovnih elemenata prefabriciranih armiranobetonskih konstrukcija su stupovi, ploče, grede, zidovi, paneli i stubišta te će dio njih biti obrađen u nastavku ovog poglavlja. [5]

3.1. Stupovi

Montažni konstrukcijski stupovi vertikalne su strukture namijenjene preuzimanju vertikalnih opterećenja te podupiranju drugih elemenata poput krovnih nosača, vjenčanih greda, greda kranskih staza ili katnih greda. Raznih su dimenzija i visina, koje ovise o vrsti projekta, načinu proizvodnje, transporta i montaže te zahtjevima inženjera. Izvode se kružnog ili pravokutnog poprečnog presjeka s istakama do 30 cm. Zbog spoja s gredom minimalne dimenzije presjeka moraju biti 30 x 30 cm, a najviše 60x120 cm. [5]

Gotovi stupovi temeljno su konstrukcijsko rješenje za moderne građevine jer kombiniraju prednosti armiranog betona i prefabrikacije, kao što su brža montaža, veća preciznost i kraća proizvodnja. Svoju primjenu pronalaze u stambenoj i komercijalnoj gradnji, javnim infrastrukturama te kao pomoć u gradnji. Sposobnost prenošenja velikih opterećenja, dinamičkih naprezanja i nepovoljnih vremenskih uvjeta te mogućnost prilagodbe dimenzija čine montažne stupove prigodnim strukturama za razne projekte. [6]



Slika 4.: Montaža prefabriciranog betonskog konstrukcijskog stupa (Izvor [17])

3.2. Ploče

Osnovni oblik montažnih armiranobetonskih ploča su pune ploče. Ovisno o zahtjevima projekta, mogu biti prednapregnute ili konvencionalno armirane. Ključne prednosti punih ploča su:

- Energetska učinkovitost
- Odjeljivanje požara
- Prilagodljiva višestruka upotreba
- Otpornost na vremenske uvjete
- Zbog velike gustoće prikladne za bučna područja

Zbog navedenih prednosti i mogućnosti prilagodbe, pune prefabricirane armiranobetonske ploče primjenjuju se za izgradnju poslovnih i stambenih zgrada, stadiona, bolnica te mnogih drugih vrsta objekata. [7]

Sljedeća struktura prefabriciranih armiranobetonskih ploča su šuplje ploče. Izrađene su sa šupljinama duž cijelog elementa, kojima se, uz zadržavanje čvrstoće, smanjuje težina elementa i osigurava prostor za instalacijske kablove. Zbog male težine, najčešće se koriste za izradu podova i krovova.

Neke od prednosti šupljih predgotovljenih armiranobetonskih ploča su:

- Redukcija gradilišnih radova i brža izvedba
- Mala vlastita težina
- Premošćivanje velikih raspona
- Ugradnja bez podupiranja i oplata
- Dobra toplinska i zvučna svojstva
- Djelovanje stropne dijafragme i gotov podgled
- Visoka kontrola kvalitete [5]



Slika 5.: Šuplje prefabricirane armiranobetonske ploče (Izvor [18])

3.3. Zidovi

Prefabricirani armiranobetonski zidovi prema namjeni se dijele na podupore koje prenose vertikalna opterećenja te pregrade čija je zadaća vertikalno odjeljivanje prostora. Visina nosivih zidova najčešće je visine etaže, tj. od 2,50 do 2,80 metara, debljine su između 9 i 30 centimetara, a duljine od 2,4 do 12 metara. Za razliku od njih, pregradne zidne ploče znatno su tanje, najčešće od 6 do 7 centimetara te mogu biti dimenzija prostorije. [5]

Osnovna zadaća nosivih predgotovljenih zidnih ploča je preuzimanje vertikalnog opterećenja od stropne i zidne konstrukcije iznad njih, a mogu se ponašati i kao grede prenoseći vertikalno opterećenje u stupove. Najčešće se izvode kao prednapregnuti elementi, kako bi se osigurala otpornost na vlačna naprezanja koja se pojavljuju prilikom transporta i montaže.

Bitne karakteristike predgotovljenih armiranobetonskih zidova, zbog kojih se danas sve češće koriste su:

- Lagan transport i jednostavna ugradnja
- Trajni i otporni na vremenske uvjete
- Zahtijevaju minimalno održavanje
- Sigurnost od požara
- Toplinska otpornost
- Akustika
- Ekonomičnost [2]



Slika 6.: Nosivi predgotovljeni betonski zidovi (Izvor [18])

3.4. Fasadni paneli

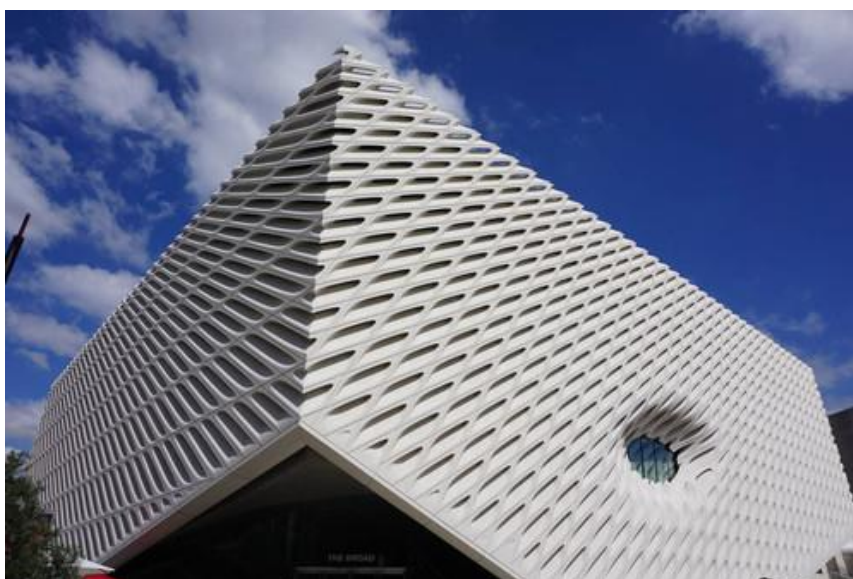
Prefabricirane armiranobetonske fasadne obloge dijele se na konstruktivno nosive i nenosive. Zahtijevaju malo održavanja te ih je moguće izraditi s unaprijed ostavljenim prostorima za prozore i vrata, što skraćuje vrijeme proizvodnje.

Nosive fasadne obloge sastoje se od konstrukcijske ploče i vanjske nestrukturane ploče, između kojih se postavlja izolacijski sloj. Najčešći oblik takvih sustava su predgotovljeni betonski sendvič paneli; sustavi od dvije betonske ploče s umetnutim izolacijskim slojem, međusobno fiksirane mehaničkim spojnica. Karakterizira ih visoka toplinska otpornost i otpornost na požar, a najčešće se primjenjuju kod niskih i srednje visokih stambenih zgrada. [8]



Slika 7.: Ugradnja sendvič panela (Izvor [18])

Nenosive prefabricirane fasadne obloge od betona nemaju strukturnu funkciju, no daju arhitektonsku završnicu zgrade te je štite od vremenskih uvjeta. Dva najčešća tipa ovih obloga su Thin-Shell i GFRC. Thin-Shell (zidna ploča s tankom ljuskom) je obloga koja se sastoji od tanke vanjske strane betona i pomoćnog sustava koji je povezuje sa strukturom zgrade. GFRC (Glass Fiber-Reinforced Concrete) je također sustav tankih ljuski. U vanjski dio betona dodaju se staklena vlakna otporna na alkalije, a ovaj oblik dobiva se prskanjem vlakana u kalupe. Na taj način povećava se savojna, udarna i vlačna čvrstoća obloge. [9]



Slika 8.: GFRC sustav (Izvor [19])

3.5. Materijali za proizvodnju

3.5.1. Beton

Beton, kao jedan od najčešće korištenih materijala u građevinarstvu, smjesa je cementa, agregata, vode te aditiva kojima je omogućena prilagodba njegovih svojstava uvjetima u kojima će se konstrukcija nalaziti.

Pri samom početku proračuna armiranobetonskih konstrukcija odabire se razred čvrstoće betona, a u njih se svrstava obzirom na utvrđenu vrijednost karakteristične tlačne čvrstoće betonskog valjka $f_{ck,cube}$ (promjera 15 cm i visine 30 cm) ili kocke f_{ck} (brida 15 cm). Navedene vrijednosti određene su pri starosti betona od 28 dana te se prema njima beton može razvrstati u 9 razreda, s graničnom vrijednosti C90/105. Tlačna čvrstoća betona ovisi o vrsti i količini cementa, temperaturi okoliša, uvjetima njege i sušenja betona te dimenzijama konstrukcijskih elemenata. U odnosu na tlačnu, vlačna čvrstoća betona višestruko je manja, te se iz tog razloga betonu dodaje armatura.

Osnovne mehaničke karakteristike betona ovise o:

- Vrsti i količini cementa
- Granulometrijskom sastavu agregata
- Vodocementnom faktoru
- Temperaturi i vlazi okoliša
- Uvjetima njege i sušenja betona
- Dimenzijama konstrukcijskih elemenata. [10]

Pored čvrstoće kao glavne karakteristike betona, mogu se još spomenuti i:

- Vatrootpornost – beton ne ispušta otrovne pare kada ga zahvati požar, ima malu stopu porasta temperature po presjeku te može služiti kao prepreka širenju požara između prostorija
- Trajnost – uz pravilno projektiranje, kvalitetnu proizvodnju i odgovarajući zaštitni sloj relativno dugo ispunja svoju funkciju uz niske troškove održavanja
- Mogućnost kreiranja različitih oblika
- Dostupnost sastojaka [11]

3.5.2. Armatura

Za armiranje betonskih konstrukcija koristi se čelik za armiranje, a dijeli se na šipke i namote, zavarene mreže te rešetkaste nosače. Žice i šipke razlikuju se po nazivnim promjerima, dok se mreže razlikuju prema nosivosti (nosive u jednom smjeru – R-mreže; nosive u dva smjera – Q-mreže).

Sukladno normi nHRN 10 080-1 armaturni čelik razvrstava se u tri kategorije prema duktilnosti:

- B500A; $\varepsilon_{uk} \geq 25\%$
- B500B; $\varepsilon_{uk} \geq 50\%$
- B450C; $\varepsilon_{uk} \geq 75\%$,

pri čemu je B oznaka za betonski čelik, 500/450 karakteristična granica popuštanja u MPa i A/B/C oznake duktilnosti (A – obična duktilnost; B – velika duktilnost; C – vrlo velika duktilnost). Duktilnost čelične armature definirana je omjerom vlačne čvrstoće i naprezanja pri popuštanju i izduljenjem pri najvećoj sili, odnosno karakterističnom relativnom deformacijom pri najvećoj sili ε_{uk} .

S obzirom na način izrade razlikuje se:

- Vruće valjani čelik
- Hladno oblikovani čelik

Vruće valjani čelik ima izraženu granicu popuštanja, dok je hladno oblikovani nema te ima smanjenu duktilnost. Armiranje betona radi se kako bi se betonskom tijelu povećala vlačna čvrstoća. Stoga se armatura postavlja u onaj dio betonskog presjeka koji će biti vlačno napregnut. Kako bi beton i armatura djelovali kao jedno tijelo, armaturu je potrebno usidriti, odnosno spriječiti proklizavanje i osigurati prijanjanje armature uz beton, što se ostvaruje dovoljnom duljinom sidrenja. [10]

4. PROCES PROIZVODNJE, TRANSPORT I MONTAŽA

4.1. Projektiranje i proizvodnja elemenata

Projektiranje prefabriciranih konstrukcija, za razliku od monolitnih, zahtijeva provođenje velikog broja pregradnji te ima drukčiji redoslijed radova. Osim toga, potrebno je poznavati sustav montaže te obratiti posebnu pažnju na izvođenje spojeva i detalja. Tijekom faze projektiranja definiraju se karakteristike i specifikacije prefabriciranih elemenata. Njihov odabir i raspored ključan je za statičku funkcionalnost građevine.

Konstruktivni elementi mogu se promatrati u nekoliko odvojenih statičkih cjelina:

- Proizvodnja
- Transport
- Stanje prije konačnog spajanja
- Nosivost spojnih i ostalih ugrađenih elemenata
- Pojedinačna razrada svakog elementa i spoja
- Grupiranje elemenata u veće cjeline
- Sinkronizacija sudionika u gradnji.

Nakon projektiranja slijedi stvarna proizvodnja u tvornici. U taj proces spada analiza, ispitivanje i provjera kako bi se po završetku dobio certificirani proizvod s pripadajućom tehničkom dokumentacijom. Tijekom proizvodnje prefabriciranih elemenata ključno je postizanje i održavanje zahtijevane kvalitete betona. Tvornička kontrola provodi razne mjere i ispitivanja opreme, materijala te betona u svim fazama kako bi propisani zahtjevi bili zadovoljeni. [5]



Slika 9.: Kalup za predgotovljeni AB nosač (Izvor [20])

4.2. Betoniranje i armiranje

Nakon projektiranja, beton se ulijeva u prethodno izrađene kalupe, koji daju elementu željeni oblik, s potrebnom armaturom. Za vrijeme ovog procesa bitno je kontrolirano ulijevanje betona kako bi se osigurala njegova ravnomjerna raspodjela, budući da ona ima značajan utjecaj na čvrstoću i trajnost konačnog elementa. [12]

4.3. Stvrđavanje i očvršćavanje

Sljedeća faza proizvodnje prefabriciranog armiranobetonskog elementa konstrukcije je stvrđavanje. Ovisno o uvjetima okoline te vrsti betona koja je korištena, ovaj postupak može trajati i nekoliko dana. Za to vrijeme, važno je konstantno održavati potrebnu vlažnost betona te ga zaštititi od nepovoljnih utjecaja okoline. Na taj način osigurava se pravilno sazrijevanje cementa te dobiva maksimalna čvrstoća strukture. [12]



Slika 10.: Stvrđavanje ošupljenih betonskih ploča (Izvor [18])

4.4. Kontrola kvalitete i ispitivanje elemenata

Sustav kontrole kvalitete provodi proizvođač u skladu s normom EN ISO 9001 (međunarodni standard za Sustave upravljanja kvalitetom).

Kontrola kvalitete uključuje sljedeće radnje:

- Dokazivanje sukladnosti proizvoda u određenim fazama proizvodnje
- Uočavanje i bilježenje svih nesukladnosti
- Prikladno postupanje s nepravilnim proizvodima
- Uklanjanje uzroka pogrešaka i popravci (moguće pogreške u projektu, materijalu ili tijekom proizvodnje)

Proizvođač je dužan utemeljiti, evidentirati, kontrolirati i implementirati sustav tvorničke kontrole kako bi proizvedena struktura odgovarala navedenoj normi te drugim specificiranim zahtjevima.

Nadzor i ispitivanje elemenata vrše se na opremi, materijalima, proizvodnom postupku te konačno na samom proizvodu. Najčešće primjenjivane metode su: vizualni pregled, mjerenja i proračuni. Primjerice, prilikom kontroliranja armature provjerava se sukladnost dimenzija, geometrijskih karakteristika, značajki površine i trajnosti. [12]

Zahtjevi koje predgotovljeni betonski element u očvrslom stanju mora ispuniti su:

- Geometrijske karakteristike
- Površinski izgled
- Mehanička otpornost
- Trajnost
- Otpornost na požar
- Termička svojstva
- Akustička svojstva. [5]

Pod geometrijsku kontrolu gotovog proizvoda spadaju:

- Vizualna provjera izgleda svih površina
- Mjerenje geometrije minimalno 2 elementa u seriji
- Mjerenje progiba i nadvišenja svakog elementa

Svi rezultati nadzora moraju biti zabilježeni i dostupni te moraju biti odgovarati svim traženim kriterijima. [12]

4.5. Metode transporta prefabriciranih elemenata

Već tijekom izrade projekta konstrukcije od prefabriciranih armiranobetonskih elemenata važno je imati rješenje transporta konstruktivnih elemenata na gradilište. U obzir je potrebno uzeti sve uvjete, uključujući smještaj objekta, prilazne puteve, dimenzije i težinu prefabriciranih elemenata, dinamiku građenja te način izvođenja radova.

Ukoliko je proizvodni pogon udaljen od gradilišta, potrebno je odabrati prikladno prijevozno sredstvo. Također je nužno zadovoljiti uvjete nosivosti i statičkog opterećenja te gabaritna ograničenja vozila. Osim toga, tijekom samog transporta, javljaju se određena dinamička opterećenja elementa koja se moraju uzeti u obzir pri proračunu, vozilo treba biti simetrično opterećeno, a element zaštićen od oštećenja i štetnih vanjskih utjecaja. Najčešća transportna vozila su kamioni i kamioni s prikolicama, vozila s niskim postoljem, vučna vozila s prikolicom i drugi. Njihov odabir ovisi i o načinu transporta koji može biti transport s odlaganjem na gradilištu ili transport bez odlaganja s montažom izravno iz transportnog vozila.

Kod vremenskog planiranja transporta, u obzir se uzimaju tri faze transporta:

- Utovar
- Prijevoz
- Istovar

Dolaskom na gradilište, mora biti osiguran deponij na koji će se navedeni elementi skladištiti. Ukoliko je organizacija gradilišta takva da se prijenos elementa vrši izravno iz prijevoznog sredstva, ono mora biti unutar operative zone dizalice. [13]



Slika 11.: Montaža elementa izravno s transportnog sredstva (Izvor [21])

4.6. Tehnike montaže na gradilištu

Pri montaži prefabriciranih konstruktivnih elemenata, važno je osigurati pravilno zahvaćanje i podizanje pojedinog elementa. Potrebno je obratiti pažnju na njihov kritični položaj tijekom podizanja kako bi se spriječile moguće deformacije i oštećenja. Osim toga, tijekom cijelog procesa, zahvaćanja, prijenosa i spuštanja, elementi su podložni mnogim dinamičkim utjecajima, uključujući sudare s drugim strukturama, vibracije uzrokovane radom dizalice te učinke kočenja. Gibanje elementa poput klatna može uzrokovati sudaranje elemenata, a kod dugih i vitkih elemenata javljaju se problemi izvijanja, što ugrožava njihovu stabilnost i sigurnost pri rukovanju i ugradnji.

Nadalje, ključno je analizirati statičke sustave elemenata tijekom i po završetku montaže kako bi se osigurala statička ravnoteža. Također je potrebno pravilno dimenzionirati ugrađena sredstva kao što su kuke i sustavi za obuhvaćanje te raspored mjesta zahvaćanja. [5]



Slika 12. : Montaža uz pomoć autodizalice (Izvor [21])

5. PREDNOSTI I NEDOSTACI MONTAŽNE GRADNJE

5.1. Prednosti

Građenje prefabriciranim konstrukcijskim elementima sve više zamjenjuje klasične načine građenja, a razlog tome je niz prednosti kao što su:

- Kraće vrijeme izvođenja
- Manji troškovi proizvodnje
- Svladavanje velikih raspona
- Preciznija kontrola proizvodnje
- Poboljšana kvaliteta konačnog proizvoda
- Neovisnost gradnje o vremenskim uvjetima
- Olakšano estetsko oblikovanje građevine

Izradom prefabriciranih armiranobetonskih elemenata u tvornici skraćeno je vrijeme građenja, uz poboljšanu kontrolu korištenjem preciznih mjernih uređaja te povećanu kvalitetu gotovog proizvoda. Pravilnom izradom dobiva se bolja iskoristivost materijala, te lakše planiranje vremena izrade, budući da vremenski uvjeti ne utječu na sam proces proizvodnje, što investitoru omogućuje ranije puštanje objekta u eksploataciju. Puna prednost montažne gradnje ostvaruje se serijskom proizvodnjom velikog broja istovrsnih elemenata. [5]

5.2. Nedostaci

Kao nedostatke montažne gradnje možemo navesti:

- Dulje vrijeme projektiranja
- Zahtjevnija tehnička i tehnološka priprema
- Veliki troškovi transporta i montaže
- Velik broj spojeva (smanjena monolitnost građevine)
- Zahtijevana velika geometrijska točnost elemenata i spojeva
- Moguća oštećenja elemenata (prilikom proizvodnje, transporta ili montaže) [5]

6. PRIMJERI IZ PRAKSE

6.1. Tvornica kartonske ambalaže, Grude, Bosna i Hercegovina

Objekt tlocrtno zauzima oko 15 000 m² površine te je jedan od većih projekata na tim prostorima. Proizvodnju i montažu elemenata potpisuje tvrtka „Širbegović Inženjering“ koja je jedna od dominantnijih u pogledu predfabrikacije u cijeloj Bosni i Hercegovini.



Slika 13.: Tvornica u fazi montaže (Izvor [22])

Konstrukcija obuhvaća stupove s kratkim konzolama, na koje su oslonjene primarne i sekundarne grede koje nose ošupljene armiranobetonske prednapete ploče.

Cijeli objekt zatvoren je fasadnim panelima, također montažne izvedbe, koji pružaju dodatnu izolaciju i zaštitu objekta od vanjskih utjecaja uz jednostavnu i brzu ugradnju. Pokrov tvornice izrađen je od trapeznog lima, značajnim po svojoj otpornosti na vremenske uvjete i dugotrajnosti. Na ovaj lim su montirani fotonaponski paneli, namijenjeni za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora, čime se smanjuje ukupna potrošnja energije te doprinosi zaštiti okoliša.



Slika 14.: Detaljan prikaz vezne grede (Izvor [17])

6.2. Arena Zagreb

Arena Zagreb višenamjenska je zatvorena dvorana s površinom od 90 340 m² te se nalazi u jugozapadnom dijelu Zagreba. Projekt je izradio arhitektonski ured UPI-2M te je dovršena 2008. godine.



Slika 15.: Dovršena konstrukcija Arena Zagreb (Izvor [14])

Osnovni oblik i strukturni element ove dvorane su prednapregnuti prefabricirani armiranobetonski zakrivljeni stupovi visine od 26,5 m do 38,8 m. Ukupno 86 stupova nosi glavnu fasadu te su međusobno povezani poluprozirnim polikarbonatnim omotačem. Oni također podržavaju tribine i nose viseću čeličnu krovnu konstrukciju čiji je raspon 104 m. Proizvedeni su na gradilištu uz upotrebu betona klase C50/60, u horizontalnom položaju unutar posebno oblikovanih oplata i djelomično prednapregnuti (30% sile) kako bi se omogućilo brže vađenje iz oplata. Nakon vađenja se postavljaju u "stojak" te potpuno prednaprežu te injektiraju. Kada su spremni za vertikalizaciju, stupovi se premještaju na prethodno izrađena sidra te se privremeno stabiliziraju dok ne završi proces monolitizacije. Monolitizacija s prostornim okvirom dvorane osigurava horizontalnu stabilnost stupova u visokim seizmičkim uvjetima.



Slika 16.: Montaža stupa (Izvor [14])

Na vrhu stupova smještena je točka za sidrenje kablova namijenjenih za nošenje krovne konstrukcije. Viseća čelična krovna konstrukcija izrađena je od čeličnih profila raspoređenih u glavnom i sekundarnom smjeru. Stabilnost i dinamika konstrukcije osigurani su pravilnom raspodjelom opterećenja i mogućnošću zamjene kablova. [14]



Slika 17.: Detalj sidrenja kablova na stupu (Izvor [14])

6.3. Mall of Split

Trgovački centar Mall of Split, s ukupnom površinom od 180.000 m², izgrađen je u razdoblju od 2011. do 2015. godine u Splitu. Kao najveći trgovački centar na hrvatskom priobalju, Mall of Split predstavlja značajan građevinski poduhvat, a projektiranje glavne i izvedbene konstrukcije povjereno je tvrtki Kap4.



Slika 18.: Objekt u fazi montaže (Izvor [15])

Konstrukcija objekta temelji se na prefabriciranoj montažnoj tehnologiji, koja uključuje ključne elemente poput stupova, greda, TT ploča i šupljih ploča. Ova tehnologija omogućava bržu i efikasniju gradnju, budući da se mnogi elementi proizvode u kontroliranim uvjetima tvornice, a zatim transportiraju na gradilište i montiraju. Prefabricirani stupovi i grede omogućuju stabilnost i otpornost zgrade, dok TT ploče (ploče s dva uzdužna rebra) pružaju dodatnu nosivost i služe za velike raspone unutar centra. Šuplje ploče, koje su laganije zbog unutarnjih šupljina, također doprinose smanjenju ukupne mase konstrukcije, a time i smanjenju opterećenja na temelje. Uz prefabricirane elemente, projekt je uključivao i monolitne jezgre, koje su izvedene na licu mjesta kako bi se osigurala dodatna otpornost na horizontalna opterećenja, poput potresa, što je ključno za seizmički aktivno područje Dalmacije. Monolitne jezgre pružaju krutost i stabilnost cijeloj konstrukciji, osobito u vertikalnim komunikacijama poput liftova i stubišta. Sveukupno, u konstrukciju je ugrađeno 3500 greda, 620 stupova te 5000 šupljih ploča.



Slika 19.: Detalj konzole na stupu (Izvor [15])

Posebnost ovog projekta je to što je objekt projektiran bez dilatacija, što znači da zgrada nema standardne konstrukcijske razmake koji obično omogućuju širenje i skupljanje materijala zbog temperaturnih promjena. Ovakvo rješenje zahtijeva iznimno precizno projektiranje i primjenu naprednih materijala koji su u stanju podnijeti ove izazove bez kompromitiranja stabilnosti zgrade. Tijekom izgradnje, projektiranje i izvedba objekta odvijali su se paralelno, čime je ostvarena veća efikasnost i ubrzan proces gradnje. [15]

7. ZAKLJUČAK

Prefabricirani armiranobetonski konstruktivni sustavi predstavljaju značajan iskorak u modernoj građevinskoj industriji te omogućuju bržu, učinkovitiju i ekološki prihvatljiviju gradnju. Povijest razvoja ovih sustava pokazuje kako su tehnološke inovacije i napredak u materijalima doprinijeli njihovom širokom prihvaćanju i primjeni.

Ključni materijali u navedenim konstrukcijama su beton i armatura. Beton, poznat po svojoj izdržljivosti i prilagodljivosti, u kombinaciji s armaturom, pruža potrebnu čvrstoću i fleksibilnost za prefabricirane elemente. Ovi elementi mogu se proizvoditi u tvornicama, što omogućuje bržu montažu i skraćuje vrijeme gradnje ili na samom gradilištu, ukoliko je transport skup i zahtjevan. Proces proizvodnje prefabriciranih elemenata uključuje detaljno projektiranje, betoniranje i armiranje u tvornici. Nakon toga, elementi se podvrgavaju stvrdnjavanju i očvršćavanju. Kontrola kvalitete osigurava da svi elementi zadovoljavaju tehničke specifikacije prije transporta na gradilište, čime se jamči njihova funkcionalnost i sigurnost pri montaži. Prednosti prefabricirane gradnje uključuju skraćeno vrijeme gradnje, smanjene troškove rada i materijala, te manji utjecaj na okoliš zbog smanjenja otpada. S druge strane, izazovi poput visokih troškova transporta i zahtjeva za precizno planiranje i montažu mogu biti značajni. Primjeri iz prakse pokazuju kako se ove metode uspješno koriste za stvaranje estetski privlačnih i funkcionalnih objekata.

Prefabricirani armiranobetonski sustavi značajno unapređuju građevinsku industriju, omogućujući bržu i učinkovitiju gradnju. Uz pažljivo planiranje i preciznu implementaciju, ovi sustavi nude inovativna rješenja za buduće građevinske projekte. S daljnjim razvojem tehnologije i materijala, očekuje se da će prefabricirani sustavi i dalje igrati ključnu ulogu u oblikovanju modernih građevinskih rješenja.

POPIS LITERATURE

- [1] Darko Meštrović, Danijel Simonetti: Seizmički proračun predgotovljenih betonskih konstrukcija, 2010.
- [2] <https://theconstructor.org/building/building-tips/redefining-prefabrication-modernizing-construction-with-modular-techniques/571503/> (pristup 6.9.2024.)
- [3] <https://www.thoughtco.com/history-of-concrete-and-cement-1991653> (pristup 6.9.2024.)
- [4] Dragana Mecnov: Sustav prefabricirane gradnje Jugomont iz Zagreba, 2015.
- [5] Darko Meštrović: Montažne armiranobetonske konstrukcije, 2016.
- [6] <https://biblus.accasoftware.com/en/precast-concrete-structural-columns-overview-and-applications/> (pristup 6.9.2024.)
- [7] <https://nitterhouseconcrete.com/applications-of-precast-concrete-slabs/> (pristup 6.9.2024.)
- [8] Richard O'Hegarty, Oliver Kinnane: Pregled prefabriciranih betonskih sendvič panela i njihovih inovacija; Construction and building materials, 2020.
- [9] João R. Correia, João Ferreira, Fernando A. Branco: Studija rehabilitacije sendvič GRC fasadnih panela; Građevinski materijali i materijali za izgradnju, 2006.
- [10] Zorislav Sorić, Tomislav Kišiček: Betonske konstrukcije 1, 2014.
- [11] Maksim Magdić: Završna obrada armirano-betonskih montažnih elemenata, 2023.
- [12] Odjel za promet Illinois, Ured za materijale: Priručnik za izradu prednapregnutih betonskih proizvoda, Springfield, Illinois, 2020.
- [13] <https://www.structuralguide.com/concrete-pouring/> (pristup 6.9.2024.)
- [14] Rose Etherington: Arena Zagreb by UPI-2M; Dezeen, 2009.
- [15] <https://www.kap4.hr/projekti/trgovacki-centar-mall-of-split.html> (pristup 6.9.2024.)
- [16] Grenef (Građevinarstvo i energetska efikasnost): Panteon u Rimu: kamen i beton u službi povijesti
- [17] Osobna fotografija, Anđela Širić, 2024.
- [18] <https://www.elematic.com/learn-precast/what-is-precast-concrete/precast-products/> (pristup 12.9.2024.)
- [19] <https://builderzine.com/index.php/2016/05/14/gfrc-glass-fibre-reinforced-concrete/> (pristup 12.9.2024.)

- [20] <https://www.bft-international.com/en/artikel/bft-Production-of-stairs-and-ventilation-shafts-in-Russia-1816950.html> (pristup 12.9.2024.)
- [21] Termobeton; AB konstrukcije – galerija
- [22] <https://www.grude-online.info/> (pristup 12.9.2024.)

POPIS SLIKA

Slika 1.: Rimski hram Panteon (Izvor [16]).....	2
Slika 2.: Crteži za patentnu prijavu J. Moniera (Izvor [11]).....	3
Slika 3.: Sustav JU-61 (Izvor [4]).....	4
Slika 4.: Montaža prefabriciranog betonskog konstrukcijskog stupa (Izvor [17]).....	6
Slika 5.: Šuplje prefabricirane armiranobetonske ploče (Izvor [18])	7
Slika 6.: Nosivi predgotovljeni betonski zidovi (Izvor [18]).....	8
Slika 7.: Ugradnja sendvič panela (Izvor [18])	9
Slika 8.: GFRC sustav (Izvor [19])	9
Slika 9.: Kalup za predgotovljeni AB nosač (Izvor [20]).....	12
Slika 10.: Stvrđnjavanje ošupljenih betonskih ploča (Izvor [18]).....	13
Slika 11.: Montaža elementa izravno s transportnog sredstva (Izvor [21]).....	15
Slika 12. : Montaža uz pomoć autodizalice (Izvor [21])	16
Slika 13.: Tvornica u fazi montaže (Izvor [22])	18
Slika 14.: Detaljan prikaz vezne grede (Izvor [17])	19
Slika 15.: Dovršena konstrukcija Arena Zagreb (Izvor [14]).....	20
Slika 16.: Montaža stupa (Izvor [14]).....	21
Slika 17.: Detalj sidrenja kablova na stupu (Izvor [14])	21
Slika 18.: Objekt u fazi montaže (Izvor [15]).....	22
Slika 19.: Detalj konzole na stupu (Izvor [15])	23