

# Završna obrada armirano-betonskih montažnih elemenata

---

**Magdić, Maksim**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:063630>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-23**

*Repository / Repozitorij:*

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





SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET  
UNIVERSITY OF ZAGREB  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAĐEVINSKI FAKULTET

**ZAVRŠNI RAD**

**ZAVRŠNA OBRADA ARMIRANO-BETONSKIH MONTAŽNIH  
ELEMENTA**

Mentor: izv. prof. art. dr. sc. Silvio Bašić

Student: Maksim Magdić, 0082067588

Zagreb, 2023.



## TEMA ZAVRŠNOG ISPITA

Ime i prezime studenta: **Maksim Magdić**

JMBAG: **0082067588**

Završni ispit iz predmeta: **Visokogradnje**

Naslov teme  
završnog ispita:

HR	<b>Završna obrada armirano-betonskih montažnih elemenata</b>
ENG	<b>Finishing of reinforced concrete assembly elements</b>

Opis teme završnog ispita:

Rad se bavi istraživanjem mogućih oblikovnih karakteristika prefabriciranih armirano-betonskih elemenata izrađenih u gradnji. Beton, odnosno armirani beton široko je rasprostranjen materijal zbog svojih fizikalnih karakteristika, trajnosti ali i estetskih svojstava koja su se mijenjala i razvijala u proteklih cca 150 godina, stoga se u radu istražuje povijest primjene takvih elemenata, njihove tipološke karakteristike, te završna obrada naročito u odnosu na način i mjesto njihove ugradnje. Teoretske postavke istraživanja dodatno se prezentiraju kroz analizu nekolicine primjera izvedenih zgrada.

Datum: **14.04.2023.**

Komentor:

(Ime i prezime komentora)

Mentor: **izv.prof.art.dr.sc. Silvio Bašić**

(Ime i prezime mentora)

(Potpis mentora)

## SAŽETAK

**Naslov:** Završna obrada armirano-betonskih montažnih elemenata

Obujam građevinskih radova se povećava iz godine u godinu što je rezultiralo potražnjom za produktivnijom gradnjom. Širom upotrebom predgotovljenih betonskih i armirano-betonskih elemenata montažnih konstrukcija dolazi do industrijalizacije graditeljstva čime se naporni ručni procesi radnika na gradilištu prebacuju u tvornice sa adekvatnom mehanizacijom. Armirano-betonske konstrukcije imaju dugačku povijest s mnogim izmjenama koje su vidljive i na vanjskoj površini. Zastarjele i sive površine zamjenjuju se sa mnoštvo različitih obrada koristeći teksture, oblike, kombinirajući raznovrsne materijale i tehnike. Analiziranjem procesa hidratacije, stvrdnjavanja i formiranja betonske mase, te ispitivanjem kemijskih, fizičkih i mehaničkih svojstva obrade pod atmosferskim utjecajem kao i uz pomoć iskustva stečenog proizvodnjom utemeljuju se nove poboljšane obrade. Donoseći prihvatljivije elemente obzirom na otpornost, izgled, pa i njegova mjesta primjene.

**Ključne riječi:** armirani beton, armirano-betonska konstrukcija, montažna gradnja, završna obrada, agregat

## **SUMMERY**

**Title:** Finishing of reinforced concrete assembly elements

The volume of construction works increases from year to year, which has resulted in a demand for more productive construction. The widespread use of concrete and reinforced concrete elements of prefabricated constructions leads to the industrialization of construction, whereby the laborious manual processes of workers on the construction site are transferred to factories with adequate mechanization. Reinforced concrete constructions have a long history with many changes that are also visible on the outer surface. Outdated and gray surfaces are replaced with many different treatments using textures, shapes, combining various materials and techniques. By analyzing the process of hydration, hardening and formation of the concrete mass and by examining the chemical, physical and mechanical properties of surface under atmospheric influence, as well as with the help of experience gained in production, new improved processing is established. Bringing more acceptable elements in terms of resistance, the appearance and also its places of application.

**Keywords:** reinforced concrete, reinforced concrete construction, prefab construction, finishing,, aggregate

Sadržaj

<b>1.UVOD</b> .....	<b>5</b>
<b>2. OPĆENITO O ARMIRANOM BETONU</b> .....	<b>6</b>
2.1. Povijesni razvoj i upotreba armiranog betona.....	6
2.2. Prednosti armiranog betona .....	8
<b>3. OPĆENITO O MONTAŽNOJ GRADNJI</b> .....	<b>10</b>
3.1. Povijest montažnog sustava građenja.....	10
3.2. Analiza faza građenja .....	11
3.3. Prednosti i nedostaci .....	12
3.4. Podjela montažnog sustava .....	14
3.5. Podjela elemenata .....	15
<b>4. ZAVRŠNA OBRADA ARMIRANO-BETONSKIH MONTAŽNIH ELEMENTATA</b> .....	<b>17</b>
4.1. Uloga završne obrade .....	17
4.2. Utjecaj boje na završni izgled površine.....	19
4.3. Završna obrada izlaganjem agregata .....	21
4.4. Uporaba teksture oplata za završnu obradu .....	25
4.5. Montažni elementi obloženi glinenim proizvodom .....	27
4.6. Montažni elementi obloženi kamenom .....	28
4.7. Utjecaj okoliša na elemente nakon ugradnje .....	30
<b>5.Primjeri objekata i korištenih obrada</b> .....	<b>33</b>
5.1. Građevinski fakultet u Osijeku.....	33
5.2. Muzej prirode i znanosti Perot, Texas.....	34
5.3. Sportska dvorana Bale .....	35
<b>7. Zaključak</b> .....	<b>36</b>
<b>8. Literatura</b> .....	<b>37</b>

## **1. Uvod**

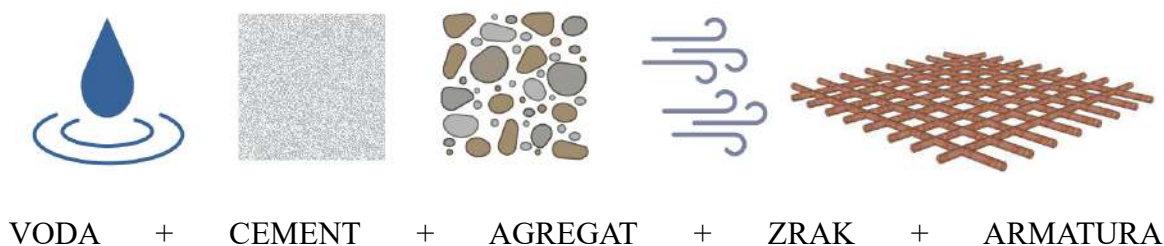
Tijekom posljednjih desetljeća svjedočimo značajnom porastu građevinske industrije čime je potaknuto zanimanje za bržom gradnjom stavljajući montažnu gradnju u središte razvoja.

Ovaj rad istražuje mogućnosti oblikovanja prefabriciranih armirano-betonskih elemenata potkrepljenim kroz analizu nekolicine primjera izvedenih zgrada. Kao podlogu u temu opisan je nastanak i razvoj armirano-betonskih montažnih elemenata iznoseći njihovu povijest, svojstva i podjelu.

## 2. Općenito o armiranom betonu

### 2.1. Povijesni razvoj i upotreba armiranog betona

Beton kakvog ga danas poznajemo je smjesa hidrauličkog veziva cementa, agregata, vode, zraka i aditiva koji omogućuju manipulaciju karakteristikama betona tijekom ugradnje te nakon njegovog stvrdnjavanja. Promatrajući udjele komponenata dolazimo do zaključka da se beton sastoji 70-80 % od agregata dobivenog iskopom pijesak i šljunka čineći ga tako u konačnici jeftinim proizvodom.



Slika 2.1. Prikaz osnovnih sastojaka armiranog betona

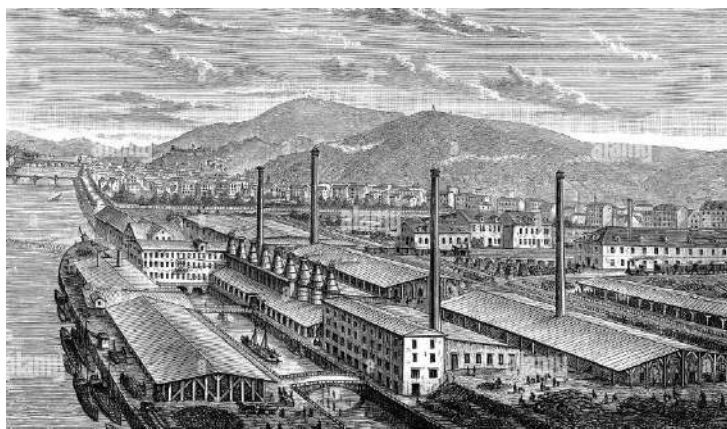
Teško je točno odgovoriti na pitanja gdje i kada se beton pojavio, poznato je samo da nije nastao kakvog ga danas poznajemo, već je, kao i većina građevinskih materijala, prošao dug put razvoja. Povijest betona isprepletena je s poviješću cementa i njemu sličnim vezivima. Najstarija veziva na temelju gline i zemlje su se koristila u antičkim vremenima za izgradnju najrazličitijih građevina, u rasponu od jednostavnih zemljanih kuća do ogromnih hramova. Cement, jedan od ključnih elemenata betona postoji već 12 milijuna godina. Stvoren je reakcijom spontanog izgaranja između vapnenca i škriljevca. Međutim, prvi procvat gradnjom betonom započeo je nekoliko stotina godina prije Krista na prostorima nekadašnjeg Rimskog Carstva. Za impresivna Rimska zdanja koja su zahtijevala veliku izdrživost, korišten je cement od reaktivnog vulkanskog materijala harena fossicia ili pozzuolan, no to nije bio beton kakvog ga danas poznajemo.



Slika 2.2. Ostatci rimskog betona



Mnoge rimske strukture su opstale do danas zbog svoje čvrstoće i otpornosti na vanjski utjecaj, no s padom Rimskog Carstva 476. godine većina se tehnika izrade betona gubi. Sve do 15. stoljeća otkrićem rimskih rukopisa koje opisuju tehnike izrade betona ponovno je potaknuta zainteresiranost za njegovu upotrebu. Otkrićem Johna Smeatona u 18. stoljeću dolazi do velikog iskoraka u proizvodnji cementa, te do raširenije upotrebe betona diljem zemlje. On je naime stvorio mješavinu od vapnenca te gline koju je kasnije Joseph Aspdin korigirao zagrijavanjem smjese na vrlo visoku temperaturu, a zatim hlađenjem i mljevenjem stvorio cement nazvan Portland. Istodobno, industrijska revolucija potaknula je rastuću potražnju za čvrstim i učinkovitim građevinskim materijalima za podršku brzom urbanizaciji i industrijalizaciji.

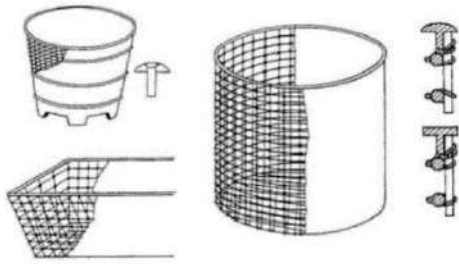


Slika 2.3. Tvornica portland cementa, 19. stoljeće

U tom razdoblju javlja se potreba za izgradnjom velikog broja industrijskih pogona, mostova, i drugih objekata, što je poslužilo kao poticaj za pojavu novih građevinskih materijala za izradu vatrootpornim, jeftinim i pouzdanim građevinskih konstrukcija. S obzirom da su kamene konstrukcije bile teške i zahtjevne za izradu, dok metalne konstrukcije nisu bile otporne na vatru i koroziju, dolazi do pojave armiranog betona koji je uspješno povezo prednosti betona i čelika. Pionirima armiranog betona se smatraju Lmabot koji je izradio čamac od žičane mreže obloženog mortom te Monier koji je za izradu tegli za cvijeće koristio beton ojačan žicom te tako predstavio ideju željezne armature. Paralelno su s njima korištenje armiranog betona u građevini razvili: G. A. Wayss, Francois Hennebique i Ernest L. Ransome.

Njihove revolucionarne inovacije ne samo da su povećale strukturnu stabilnost betona, već su otvorile i beskrajne mogućnosti za gradnju. Većine objekata koji su izgrađeni bili su industrijski, dok je godine 1902. August Perret dizajnirao i izgradio stambeni objekt u Parizu. Zgrada nije imala nosive zidove već je za stupove, grede i podne ploče korišten beton ojačan armaturom. Njegov dizajn je utjecao na projektiranje armirano-betonskih zgrada u godinama koje su

uslijedile te početkom 20. stoljeća svjedočimo popularnosti armiranog betona u krugovima arhitekata i inženjera prihvaćajući njegovog potencijal za stvaranje građevina jedinstvenih oblika i veličina.



Slika 2.4. Prikaz betonskih tegli ojačanim žicom, Joseph Monier

## 2.2. Prednosti armiranog betona

Danas je armirani beton jedan od najraširenijih građevinskih materijala te je sama tehnologija izrade napredovala od svog nastanka i sada se sastojci precizno određuju i miješaju tako da se dobiju željena svojstva. Iako posjeduje znatnu vlastitu težinu, djelomičnu poroznost, malu vlačnu čvrstoću, otežane radove pri niskim / visokim temperaturama i otežanu naknadnu adaptaciju, armirani beton se koristi u izradi raznih građevina kao što su zgrade, brane, mostovi, tuneli, kupole, tornjevi, zbog sljedećih značajnih karakteristika:

- a) Čvrstoća – glavna karakteristika betona. Ovisi o mehaničkim svojstvima betona kako što su: kvaliteta betona, granometrijskom sastavu agregata, vodocementnom faktoru, korištenju dodataka te načinu pripreme, ugradnje i u konačnici o njezi betona.

Razred čvrstoće betona predstavlja vrijednost karakteristične tlačne čvrstoće te se određuje prema tlačnoj čvrstoći betonskog valjka promjera 15 cm i visine 30 cm ili kocke čiji bridovi iznose 15 cm, na temperaturi od 20° i pri starosti betona od 28 dana (u slučaju prenapinjanja može biti potrebno procijeniti tlačnu čvrstoću betona prije i nakon 28 dana). Za razliku od tlačne, vlačna je čvrstoća samog betona mnogostruko manja te se nadoknađuje primjenom čelične armature čije ponašanje određuju sljedeća svojstva: granica popuštanja, vlačna čvrstoća, duktilnost, savitljivost, odgovarajuće prijanjanje sa betonom, čvrstoća na zamor, zavarljivost.

- b) Vatrootpornost – smatra se jednom od najvažnijih svojstava materijala koje štite živote, okolinu i imovinu. Beton je jedan od najboljih materijala koji se koristi kako bi se dobila vatrootpornost i što bolji odgovor same konstrukcije u slučaju njegovog nastanka. Ne ispušta otrovne pare kada ga zahvati požar i ima malo stopu porasta temperature po presjeku, te se može koristiti kao prepreka širenju požara između prostorija u građevini.

Navedene vatrootporne karakteristike su uglavnom posljedice samog sastava betona, cementa i agregata. Upotreba betona osigurava jednostavnu, ekonomičnu i pouzdanu vatrootpornost konstrukcije.

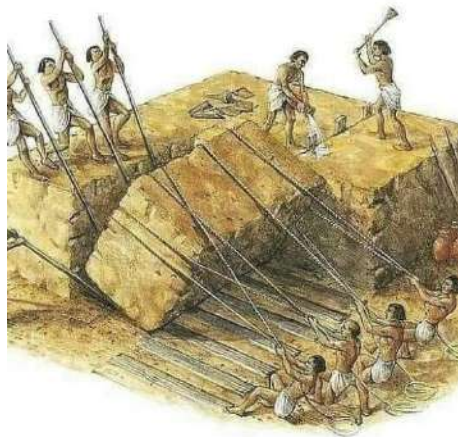
- c) Trajnost – pravilno projektiran i kvalitetno izveden beton pruža dobru otpornost na vanjske uvjete i pod uvjetom postojanja zaštitnog sloja koji štiti armaturu donosi male troškove održavanja
- d) Mogućnost izrade raznih oblika - mogućnosti oblikovanja betona su gotovo neograničene, osim u pogledu optimalizacije geometrije elementa obzirom na pretpostavljeno opterećenje. Može se uliti i oblikovati u oblik koji varira od jednostavnih ploča, greda i stupova pa sve do složenijih kupola i ljuski koristeći oplatu čineći ga poželjnim u krugovima arhitekata i dizajnera.
- e) Dostupnost sastojaka – općenito su sastojci za beton kao što su pijesak, šljunka i voda lokalno dostupni resursi. Voda koja pokreće kemijsku reakciju vezivanja između cementa i agregata nabavlja se iz lokalnih slatkovodnih izvora, dok se agregat dobiva drobljenjem stijena ili iskopom riječnog šljunka. Armatura, ključna komponenta za armirani beton, proizvode regionalni proizvođači čelika te je njegova distribucija jednostavnija u usporedbi sa transportom čeličnih profila. Osim toga, varijacije betona omogućuju njegovu prilagodbu u odnosu na dostupnost i kvalitetu pojedinih sastojaka.

### 3. Općenito o montažnoj gradnji

#### 3.1. Povijest montažnog sustava građenja

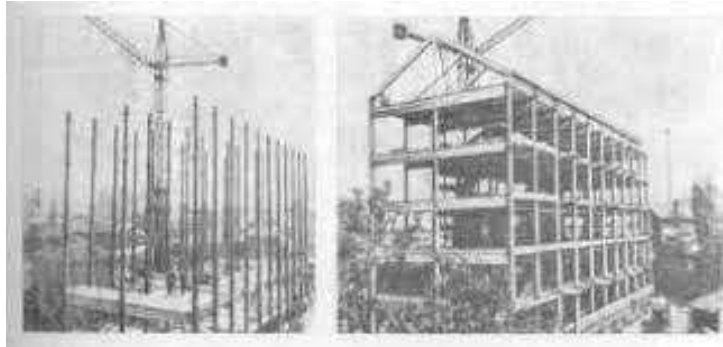
Montažno građenje za razliku od konvencionalnog građenja predstavlja metodu gdje se prethodno proizvedeni elementi postavljaju i spajaju na gradilištu. Elementi se mogu isporučiti potpuno u dijelovima ili djelomično sastavljeni.

Proizvodnja komponenti izvan gradilišta ima bogatu povijest. U egipatskoj arhitekturi građevni elementi su pripremani na nalazištima resursa ( klesanje kamenih blokova u kamenolomima ) prevoženi na željenu lokaciju i zatim ugrađivani. U srednjem su se vijeku zbog manjka vještih radnika i resursa sklapale montažne drvene zgrade za smještaj vojnika i uprave u kolonijama.



Slika 3.1. Izrada blokova u kamenolomu

Prvi se veliki poticaj razvoja montažnog sustava pojavio tijekom industrijske revolucije. Pojavom mehanizacije počinje brža masovna proizvodnja predgotovljenih sada većih elemenata i složenijeg dizajna sa znatno kraćim rokovima izvedbe i transporta. U 20. stoljeću dolazi do porasta primjene montažne gradnje zbog njene učinkovitosti te su se razvili: montažne nosive konstrukcije, velikoplošni betonski krovni elementi, prednapregnuti betonski stupovi, montažni armiranobetonski nosači za most, prve montažne stambene zgrade. Ulaskom u 21. stoljeće i razvojem tehnologije cijeli se moduli objekata proizvode u kontroliranim uvjetima, zajedno sa završnom obradom i instalacijskim priključcima ispunjavajući rastuće zahtjeve za učinkovitim i isplativim građevinskim rješenjima.



Slika 3.2. Gradnja montažnim sustavom

Nakon Prvog svjetskog rata u Hrvatskoj se pojavljuju radionice u kojima su se proizvodili betonski elementi ( stupovi, kanalizacijske cijevi, stropne grede, rubnjaci ) i elementi od prednapregnutog armiranog betona. Završetkom Drugog svjetskog rata razvijaju se montažni sustavi za gradnju stambenih zgrada, a već 1953. počinju sa njihovom proizvodnjom koju je vršio Jugomont.

Daljnjim razvijanjem tehnologije montažni elementi će zasigurno oblikovati budući svijet pružajući niz mogućnosti za proizvodnju bržih i otpornijih struktura.



Slika 3.3. Sistem JU 61, Jugomont

### **3.2. Analiza faza građenja**

Montažna gradnja uključuje procese dizajniranja, planiranja, izgradnje, transporta i u konačnici povezivanje prefabriciranih elemenata. Svaka od faza doprinosi učinkovitosti same proizvodnje i osigurava potrebne kriterije kvalitete samih komponenata.

Tipični procesi u montažnoj gradnji su:

1. Projektiranje – faza koja uključuje prikupljanje informacija o tehničkim specifikacijama, uvjetima okoline, zahtjeva obzirom na buduće opterećenje koji su potrebni za dizajniranje montažnog elementa, odabir prikladnog materijala za njegovu uspješnu izvedbu te u konačnici provođenje analiza. Razvojem računala projektiranje je olakšano softverima za izradu preciznih 3D modela elemenata.
2. Sastavljanje kalupa – na temelju dimenzija dobivenih u prethodnoj fazi izrađuje se oplata koja oblikuje beton, može biti drvena, čelična, aluminijska. Dobrom pripremom oplata osiguravamo da oblik prefabriciranog elemenata bude u skladu sa projektnom dokumentacijom
3. Ugradnja armature – rezanjem i pozicioniranjem armaturnih šipki ili mreža u prefabricirani element
4. Betoniranje – stanje prethodno postavljene oplata sa armaturom se još jednom provjerava te se započinje sa miješanjem betona pazeći na potrebnu kvalitetu i kvantitetu cementa, agregata, vode i aditiva. Pripremljeni beton se kontrolirano izljuje u kalup nakon kojeg slijedi vibriranje kako bi se uklonile šupljine ispunjene zrakom. Oplata sa betonom se ostavlja u kontroliranom okruženju do stvrdnjavanja radi postizanja željene kvalitete.
5. Transport – nakon uklanjanja kalupa montažni se element transportira na gradilište, adekvatno prijevozno sredstvo i rukovanje ključni su za siguran prijevoz i sprječavanje oštećenja
6. Spajanje montažnih elemenata i kontrola – prateći nacрте i uz koordinaciju kvalificiranih radnih snaga elementi se postavljaju na svoja mjesta. Nakon montaže provodi se provjera kvalitete spojeva elemenata kako bi se potvrdila zadovoljivost statičkih, izolacijskih ( zaštita od atmosferskih uvjeta ) i estetskih zahtjeva.

### **3.3. Prednosti i nedostaci**

Glavni razlog prijelaza na montažnu gradnju je u postizanju veće produktivnosti. Osim toga, prednosti ovog tipa građenja su :

- a) S obzirom da se elementi proizvode u tvornicama te ne ovise o radovima na samom gradilištu omogućuje se paralelni proces gradnje, kao rezultat toga montažna gradnja je znatno brža od tradicionalne izvedbe dovodeći do skraćenih rokova

- b) Proizvodnja prefabriciranih elemenata se odvija u okruženju kontroliranih uvjeta što omogućuje postizanje bolje kvalitete proizvoda te bolju iskorištenost materijala
- c) Postiže se neprekidna proizvodnja neovisno o vremenskim uvjetima
- d) Skele i oplata više nisu potrebne na gradilištu omogućujući smanjenje troškova na gradilištu
- e) Potreba za brojem kvalificiranih radnika na gradilištu je smanjena
- f) Dobrom organizacijom i izborom idealnog montažnog sustava postiže se jeftinija izgradnja
- g) Opseg radova na gradilištu je smanjen, građevinski radnici se izlažu manjim rizicima, a povoljno utječe i na samu okolinu budući da se većina bučnih i neurednih građevinskih radova obavlja u postrojenjima

Međutim, montažna gradnja ima i nekoliko nedostataka:

- a) Za izgradnju tvornice montažnih elemenata potrebna su velika ulaganja koja su isplativa tek ukoliko je serijska proizvodnja velika
- b) Prijevoz elemenata iz postrojenja do lokacije gradilišta predstavlja veliki izazov. Povećani su transportni troškovi s obzirom da postoji potreba za specijaliziranim transportom i pažljivim rukovanjem, također je potrebna mehanizacija za postavljanje elemenata na predviđanja mjesta. Mogućnost smanjenja troškova leži u dobroj organizaciji.
- c) Ograničenja u izradi elemenata, određeni složeni dizajni mogu zahtijevati izradu na licu mjesta.
- d) Poteškoće u proizvodnji predstavlja veliki broj spojeva koji moraju biti adekvatno izvedeni, tijekom spajanja može doći do problema s brtvljenjem, poravnavanjem i kompatibilnosti samih elemenata

Bez obzira na izazove koji se odnose na početna ulaganja, prilagodljivost i transport, spomenute prednosti čine ovaj način gradnje poželjnim posebice u industrijski razvijenijim zemlja koje imaju manji broj kvalificiranih radnika ili u područjima s ekstremnijom klimom te primjenom montažne gradnje mogu bolje iskoristiti kraće građevinske sezone .

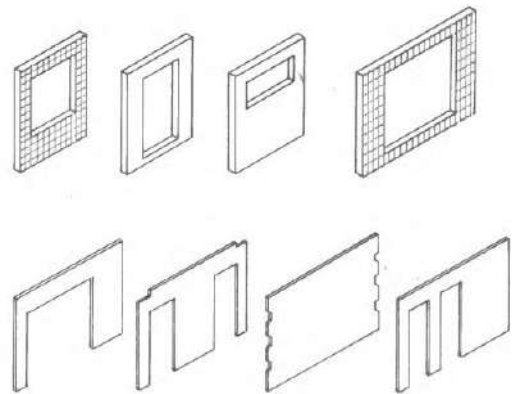
### 3.4. Podjela montažnih sustava

Montažnu gradnju možemo podijeliti obzirom na: konstrukcijski sustav, materijal korišten za izgradnju elemenata, vrsti građevine, postotku montažnih elemenata obzirom na ukupni projekt, mjestu proizvodnje i prema prilagodljivosti sustava.

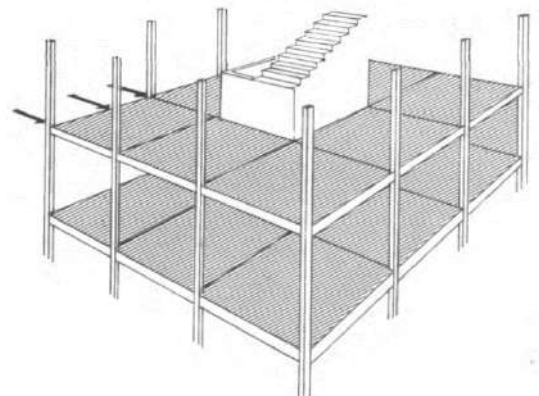
Konstrukcijski sustav montažne gradnje rastavljamo na velikoplošne, skeletne, prostorne i mješovite.

Osobine pojedinih konstrukcijskih sustava:

- a) Velikoplošni sustav : elementi su istodobno nosivi i pregradni, visina odgovara visini samog kata, a širina je jednaka širini prostorije, karakterizira ju velika produktivnost gradnje, dok se mane očituju slabom fleksibilnosti u rješavanju prostora i jednoličnim vanjskim izgledom
- Slika 3.4. Elementi velikoplošnog montažnog sustava

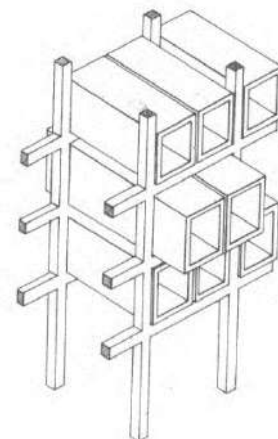


- b) Skeletni sustav : uloga elemenata je odvojena na nosivi dio i pregradni izrađen lakšim materijalom čime se osigurava veća fleksibilnost u gradnji i oblikovanju prostora, osnovu sustava predstavljaju stupovi, grede i ploče
- Slika 3.5. Skeletni montažni sustav



- c) Prostorni sustav: gradnja ovim principom je izrazito brzo s obzirom da se primjenjuju montažne ćelije te do 95 % sustava čine montažni elementi, jedini nedostatak je u potrebi za teškom mehanizacijom u okviru transporta i ugradnje.

Slika 3.6. Prostorni montažni sustav



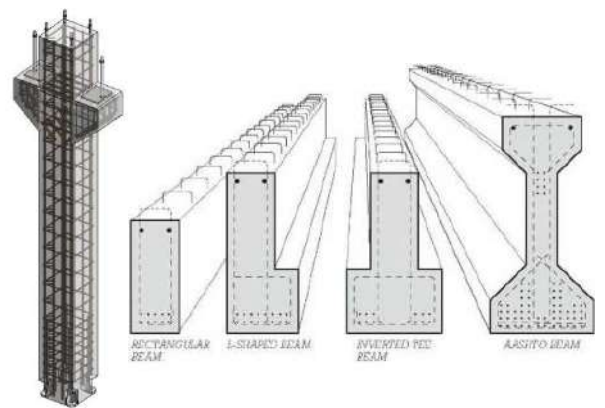


- d) Mješoviti sustav: povezuje prethodno navedene konstrukcijske sustave kombinirajući prednosti, česta je kombinacija velikoplošnog sa skeletnim sustavom i prostornim sa skeletnim

### 3.5. Podjela elemenata

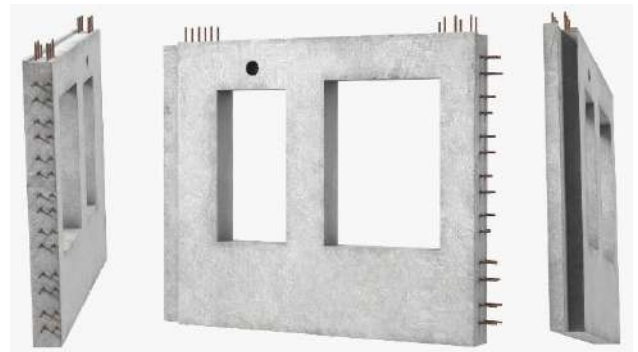
Armirano – betonski elementi pogodni za industrijske, poljoprivredne i stambene zgrade u prefabriciranoj montažnoj gradnji:

- a) Stupovi i grede: komponente nosivog sustava korišteni za prijenos opterećenja na temelje, spajanje stupa i temelja se odvija pomoću armaturnih šipki koje izlaze iz elemenata ili prethodno oblikovanim rupama u samom temelju, za povezivanje sa gredama stup je opremljen osloncima



Slika 3.7. Montažni stupovi i grede

- b) Zidni elementi : vertikalne strukture sa višestruko manjom dimenzijom širine u odnosu na duljinu i visinu, prema ulozi dijelimo ih na nosive i ne nosive, mogu biti proizvedeni u raznim oblicima, veličinama, teksturama, također kako bi se osigurala toplinska učinkovitost objekata mogu sadržavati izolaciju.



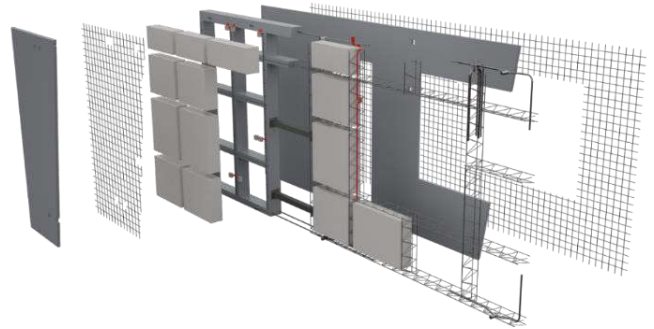
Slika 3.8. Montažni zidni elementi

- c) Ploče: horizontalni elementi sa izraženom duljinom i širinom, neke od primjena su izgradnja podova, krovova, balkona, mostova, dizajniraju se u različitim dimenzijama kako bi zadovoljili zahtjeve obzirom na opterećenja i raspon



Slika 3.9. Montažne ploče

- d) Fasadni elementi ( sendvič paneli ) :  
 inovativni elementi sastavljeni od  
 armiranog betona i izolacije, svoju  
 popularnost je stekao izvanrednim  
 toplinskim svojstvima, izolacijski sloj  
 sprječava pojavu toplinskih mostova  
 onemogućavajući prijenos topline  
 između unutarnjeg i vanjskog dijela  
 zgrade



Slika 3.10. Dijelovi sendvič panela

## 4. Završna obrada armirano-betonskih montažnih elemenata

### 4.1. Uloga završne obrade

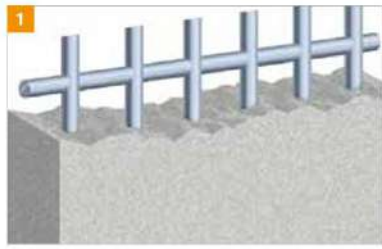
Beton je postao ključni građevinski materijal, unatoč njegovoj trajnosti, učinkovitosti i oblikovnoj sposobnosti, često dolazi do oštećenja. Pravilno izvedena završna obrada neophodan je faktor kako bi se osigurala otpornost na vremenske uvjete i spriječio glavni uzrok oštećenja armiranog betona, korozija armaturnog čelika.

U prošlosti smatralo se da je beton otporan na sve vrste štetnih utjecaja, međutim danas je poznato da utjecaj određenih spojeva može oštetiti armirani beton. Elementi dolaze u doticaj s mnogim agresivnim tvarima tijekom svog uporabnog vijeka, tvari koje mogu značajno utjecati ne samo na trajnost već i na stabilnosti. Svojim prisustvom postepeno degradiraju beton prouzročavajući promjene u boji, pukotine, abraziju i sl. Uzroke oštećenja betona možemo podijeliti na kemijske ( alkalno-agregatne reakcije, sulfati, soli, biološke aktivnosti, bakterije ), fizikalne ( ciklusi smrzavanja i odmrzavanja, erozije, oštećenja ) i mehaničke ( abrazije, udar, pomak konstrukcije, eksplozije ).

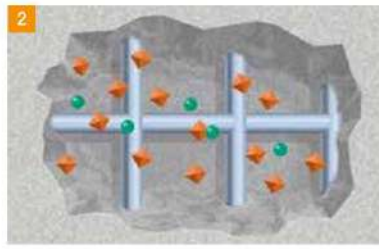


Slika 4.1. Oštećenja betona

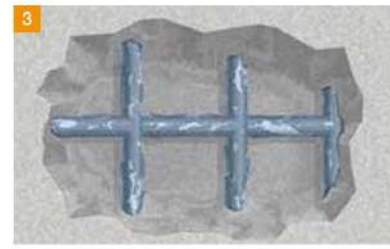
Za razliku od betona na armaturu utječu tvari iz mješavine samog betona, reagirajući sa visokom pH vrijednosti betona na površini armature se stvara sloj željeznog oksida te i iz okoliša prisustvom klorida, soli i ostalih zagađivača. Kloridi su jedni od najagresivnijih tvari koje utječu na armirano-betonske konstrukcije, mogu se pronaći u samom betonu zbog korištenja agregata izvađenog iz mora, morske ili otpadne vode. S obzirom na morski okoliš, direktnim vlaženjem konstrukcije ili vjetrom nošenim kapljicama morske vode. Te djelovanjem soli koja se rabi u zimskim mjesecima za posipavanje cesta.



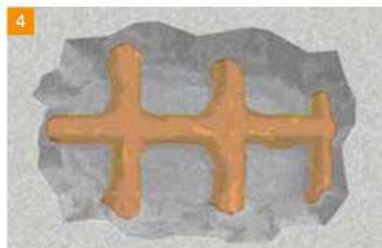
Armatura u alkalnoj sredini



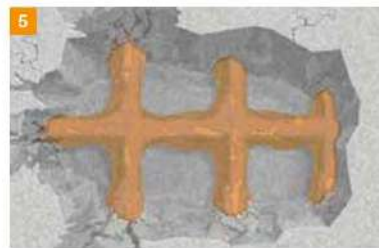
Prodiranje otopljenih soli u beton



Armaturni čelik podvrgnut utjecaju soli



Bubrenje armature pod utjecajem korozije



Pojava pukotina u betonu



Konačna faza oštećenja korozijom

Kako bi se izbjegla oštećenja ubrzo nakon ugradnje neophodno je izvesti završnu obradu proizvođači elementa sa zadovoljavajućom otpornošću na vremenske uvjete i starenje. Za razliku od klasično lijevanog betona mana armirano-betonskih montažnih elemenata se pojavljuje tijekom montaže, sidrima koje se koriste za pričvršćivanje elemenata na konstrukciju ili koroziju ugrađenog armaturnog čelika. Nepravilno spojena sidra mogu biti razlog pojave pukotina elemenata, pomaka ili drugih problema. Razloge loše otpornosti betona možemo pronaći u pogreškama tijekom projektiranja, nepravilnom izboru materijala, neadekvatnom izvođenju konstrukcije i neredovitim održavanju tijekom uporabe.

Osim utjecaja na svojstva gotovih elemenata i njihovo održavanje, završna obrada se koristi i u dekorativne svrhe. Od predgotovljenih elemenata mosta, hala pa sve do stambenih jedinica završna obrada igra ključnu ulogu u poboljšavanju vanjskog izgleda. Za završnu obradu moguće je koristiti premaze, betone različitih pigmentata, stvaranje tekstura uz pomoć oplata, pjeskarenje i brušenje, obrada kiselinom. Također se u predgotovljene sustave mogu ugraditi tradicionalni materijali kao što su opeka, kamen, pločice, kombinirajući estetske karakteristike materijala sa prednostima montažnog građenja armiranim betonom.



Slika 4.2. Varijacije završne obrade predgotovljenih armirano-betonskih elemenata

Kvalitetno izvedena betonska površina može značajno produžiti vijek trajanja armirano-betonske konstrukcije, ispravljajući površinske pukotine, smanjujući propusnost betona, povećavajući otpornost na kemikalije i habanje, ujedno omogućavajući izbjegavanje troškova povezanim s popravcima.

## 4.2 Utjecaj boje na završni izgled površine

Prilagodljivost montažne gradnje moguć je u pogledu boje i teksture predgotovljenih elemenata.

Glatka završna obrada zahtjeva visoku razinu kvalitete izrade betona i održavanja kalupa jer pokazuje prirodni izgled betona zajedno sa površinskim nepravilnostima. Varijacije u teksturi površine kalupa se odražavaju na beton kao i eventualne zračne šupljine i površinske pukotine. Glatka betonska površina ima težnju za neravnomjernom promjenom boje zbog utjecaja vremenskih prilika i čestica nošenih zrakom dok gruba površina omogućuje raspršivanje svjetla i ublažavanje neujednačenog izgleda

Pigmenti za bojanje betona se dijele obzirom na nastanak na prirodni i sintetski. Nijanse dobivamo različitom količinom pigmenta izraženog kao postotak obzirom na udio cementa. Uglavnom ne premašuju 10 % mase cementa u smjesi zbog točke zasićenja nakon koje više nema razlike u intenzitetu boje betona te zbog visokog udjela sitnih čestica unesenog pigmentom povećava se potreba za vodom u mješavini smanjujući čvrstoću betona. Na obradu bojom utječe temperatura, vlažnost i klimatski uvjeti. Agregat svojim širokim rasponom zemljanih i sivih tonova, ne smije sadržavati nečistoće, nakon trošenja na izgled betonskog elementa utječe i njegov oblik. Zaobljeni riječni agregat ostaje čist dok šljunak grube

teksture zadržava čestice. Beton s niskim vodocementnim omjerom donosi tamniju nijansu za razliku od betona s visokim omjerom napravljenog od istog cementa.



Slika 4.3. Nijanse pigmenta (lijevo), zid od plavog pigmentnog betona zaštićen premazom za vodootpornost (desno)

Faktori koji utječu na postojanost boje:

- vrsta i boja cementa
- kvaliteta i kvantiteta pigmenta
- vodocementni odnos u mješavini
- postupak doziranja i miješanja
- uvjeti okoline tijekom stvrdnjavanja
- uvjeti na mjestu ugradnje koje mogu dovesti do eflorescencije betona

Beton sa pigmentom može pružiti dugoročnu uštedu obzirom na održavanje objekta tretiranim površinskim premazom. Međutim, neki projekti upotrebljavaju bojanje kao vrstu završne obrade, u tom je slučaju sam sastav betona manje važan.

Prije nego što se nanese premaz na beton potrebno je pripremiti površinu za pravilno prijanjanje. Većina se pogrešaka pri bojanju pojavljuje zbog neadekvatno obrađene površine. Potrebno je očistiti beton kako bi se uklonile sve prljavštine, masnoće, stare boje. Pjeskarenje, nagrizenje kiselinom ili čišćenje komercijalnim sredstvima za beton jedni su od preporučenih metoda. Površina mora biti blago hrapava, čista i suha. Prije nanošenja sloja pukotine je potrebno popraviti korištenjem odgovarajućih masa za krpanje.

Osim dekorativnog utjecaja na beton premaz betonskog elementa predstavlja dodatni sloj zaštite produžujući trajnost betonskih površina:

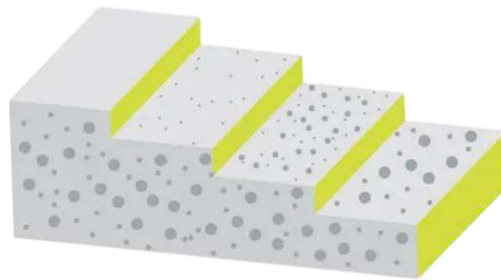
- osiguravajući otpornost na mrlje i kemikalije
- povećanjem izdržljivost na habanje
- stvaranjem neporoznog završnog sloja koji sprječava nastajanje plijesni i gljivica

Teksturalni premazi za razliku od klasičnih donose iste prednost dok nude i skrivanje površinskih mana elementa.

### 4.3. Završna obrada izlaganjem agregata

Izloženost agregata možemo podijeliti u tri kategorije:

- površinsko izloženost: sloj betona se uklanja tek toliko da se otkrije površina agregata
- srednja izloženost: agregat i cementna smjesa su jednoliko izražene po površinskom sloju
- duboka izloženost: slojevi se uklanjaju sve dok agregat ne postane dominantan



Slika 4.4 Različite razine izlaganja agregata

#### 4.3.1. Jetkanje kiselinom

Postupak kojim se uz pomoć kiseline otapa površinski sloj otkrivajući teksturu pijeska nalik prirodnom kamenu kao što su vapnenac ili pješčenjak. Boja i tekstura korištenog agregata vrlo je važna kod elemenata tretiranim kiselinom. Obrada kiselinom će dovesti do čistog i svijetlog izgled, no nakon postepenog trošenja gubi sjaj i poprima izvorno stanje.

Element se uklanja iz kalupa te se po površini raspršuje kiselina i ostavlja 2-15 minuta ( ovisno o željenoj teksturi). Nakon isteka vremena kiselina je reagirala sa betonom stvarajući nagrizeni sloj. Površina se zatim ispiri. Nakon neutralizacije i ispiranja može se nanesti brtvilo. Metoda obrade uz korištenje kiselinom se preporučuje za manje elemente po kojima je moguće

razmazati otopinu. Također, mane ove tehnike se pronalazi u njegovoj učinkovitosti, osim toga kiseline koje se upotrebljavaju su opasne tvari koje zahtijevaju propisno rukovanje i zbrinjavanje.

#### **4.3.2. Izlaganje agregata vodom**

Prije lijevanja betona u kalup dodaje se kemijski usporivač koji odgađa kemijsku reakciju otvrđivanja cementne paste. Nakon očvršćivanja vanjski sloj elementa se uklanja vodom pod velikim pritiskom, izlagajući agregat.

Duboko isprane površine ne dopuštaju oštre profile ploče, a izgled varira obzirom na oblik agregata. Izgled agregata podvrgnutim ispiranju se neće promijeniti u odnosu na njegov izgled prije ugradnje u betonsku smjesu. Ova metoda se najčešće koristi za završnu obradu sa srednjom ili dubokom izloženosti. Slika 4.5. Tretiranje površine vodom



#### **4.3.3. Pjeskarenje površine**

Pjeskarenje je postupak prikladan za postizanje svih stupnjeva izloženosti agregata, ovisno o dubini uklanjanja materijala. Na malom uzorku preporučeno je lagano pjeskarenje zbog jednostavnije mogućnosti postizanja ujednačenog izgleda za razliku od velikih elemenata. Dubinu pjeskarenja je potrebno prilagoditi vrsti agregata i njegovoj tvrdoći. Meki agregati su skloniji erodiranju omekšavajući rubove i kutove elementa.

Laganim pjeskarenjem se uklanjaju površinske pukotine, no naglašavaju se ,ukoliko postoje, udubljenja i praznine skrivene ispod sloja betona. Preporuča se ostavljanje udubljenja jer bi njihovo punjenje uzrokovalo razliku u boji površine. Osim obrade cijelog elementa moguća je i izrada geometrijskog uzorka zaštitom dijela površine uz pomoć gume, drveta ili metalnog lima.

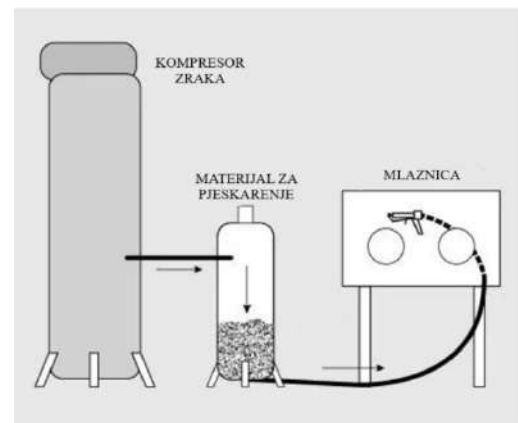
Postupak pjeskarenja betona :



- potrebno je provesti mjere pripreme oko područja rada kako bi se spriječile štete uslijed obrade, pjeskarenje elemenata u zatvorenom prostoru potrebno je osigurati adekvatnom ventilacijom te radnik mora koristiti zaštitno odijelo i filter za zrak kako bi se spriječilo udisanje čestica prašine tijekom obrade površine
- ukoliko se upotrebljavaju šablone za postizanje dizajna potrebno ih je učvrstiti na površinu prije početka pjeskarenja
- spremnik stroja napuniti materijalom namijenjenim za pjeskarenje, uključiti kompresor te prilagoditi tlak
- nakon prilagodbe stroja započeti pjeskarenje držeći mlaznicu na udaljenosti od cca 30 cm od površine kako bi se postigla ravnomjerna obrada te željena tekstura, kratke zamahe koristiti za teško dostupna mjesta i ravnomjerne duge zamahe za ostale dijelove
- pri završetku obrade komprimiranim zrakom očistiti površinu

Prednosti pjeskarenja: -ekonomičnost

- učinkovitost
- brzina



Slika 4.6. Shema stroja za pjeskarenje

#### 4.3.4. Poliranje površine elementa

Koristeći sve finije brusne ploče, betonska površina može doseći visoki sjaj, taj postupak nazivamo poliranje.

Pri izradi elementa predviđenog za poliranje posebnu pozornost treba posvetiti odabiru veličine i tvrdoće agregata koja utječe na stopu trošenja brusnih ploča tako utječući na troškove obrade. Vrlo je važno izbjeći bilo kakvu segregaciju. Nakon očvršćivanja i uklanjanja iz kalupa elementi se bruse odnosno poliraju, iako je ovaj postupak obrade gotovih betonskih elemenata poprilično skup za izradu, pokazao se da je održavanje relativno jednostavno i ekonomično.

Svoju popularnost je stekao zbog svojih pozitivnih karakteristika na vremenske uvjete, čineći ga idealnim za područja s velikim prometom i zraka pune prljavštine.

Zbog ekonomičnost preporuča se poliranje samo ravnih ploha koji mogu biti obrađeni strojno, dok je dizajna gdje je potrebno ručno poliranje spor i skup proces. Kako bi se smanjio rizik od oštećenja tijekom rukovanja i poliranja poželjno je izbjegavanje pravih kutova jer su sklони lomljenju. Kako bi se razbila monotonost elementa robotizirani strojevi za poliranje mogu obraditi površine ostavljajući utore i udubljenja neobrađene, stvarajući kontrast u teksturi. Također, kao i kod većine završne obrade moguća je kombinacija sa pjeskarenjem i nagrivanjem kiselinom.



Slika 4.7. Stadiji poliranja betonskog elementa

Prednosti ove metode su: stvaranje tvrde površine koja se ne ljušti, lakoća u održavanju i dobra otpornost na mrlje, dug životni vijek završne obrade za razliku od ostalih postupaka, ne uključuje korištenje otrovnih kemikalija, te ne zahtjeva posebno vrijeme nakon obrade već se može odmah upotrebljavati. Poliranje je pogodno za obradu u gotovo svim unutarnjim prostorima, te vanjskim uvjetima, međutim, kisela kiša ima tendenciju preranog nagrivanja površine. Kada se pravilno ugradi i održava, polirani beton može izdržati cijeli životni vijek konstrukcije.

Koraci izvedbe:

- početni se korak sastoji od uklanjanja nepravilnosti i onečišćenja kao što su kemikalije ili sredstva za brtvljenje, može oduzeti do 60 % ukupnog vremena potrebnog za obradu, no pripremni radovi su ključni za postizanje željenog rezultata, većina troškova se također odnosi na pripremnu fazu, budući da je intenzitet rada najveći
- površina se zatim izlaže grubom brušenju, postepeno prelazeći u finije poliranje, postupak se može podijeliti na suhu i mokru izvedbu: kod suhog poliranja koristi se vakumski sustav kako bi se radnik zaštitio od prašine u zraku, suhi prah ili čestice

cementa mogu se sigurno odložiti, te čak reciklirati, dok kod mokrog poliranja betona kombinacija praha i vode stvara smjesu koja sprječava zagađenje zraka u radnom okruženju radnika

- posljednji korak uključuje primjenu sredstava za brtvljenje površine kako bi se ispunile pore u površinskom sloju betona

#### 4.4 Uporaba teksture oplata za završnu obradu

Oblikujući površinu oplata moguć je gotovo neograničen izbor vizualno zanimljive i jedinstvene teksture površine betona kao što su valovite ili pak imitacije prirodnog kamena. Potrebno je razumjeti utjecaj materijala. Lijevanjem betona na metal, drvo ili obloge od polistirenske pjene nastaju površine s teksturom umanjujući mane koje bi bile vidljive da se rabila oplata glatke površine. Kvaliteta završne obrade uveliko ovisi o kvaliteti oplata: mora biti dovoljno robusna i ojačana kako se tijekom betoniranja ne bi deformirala, dizajnirani spojevi i kutovi moraju biti zabrtvljeni.

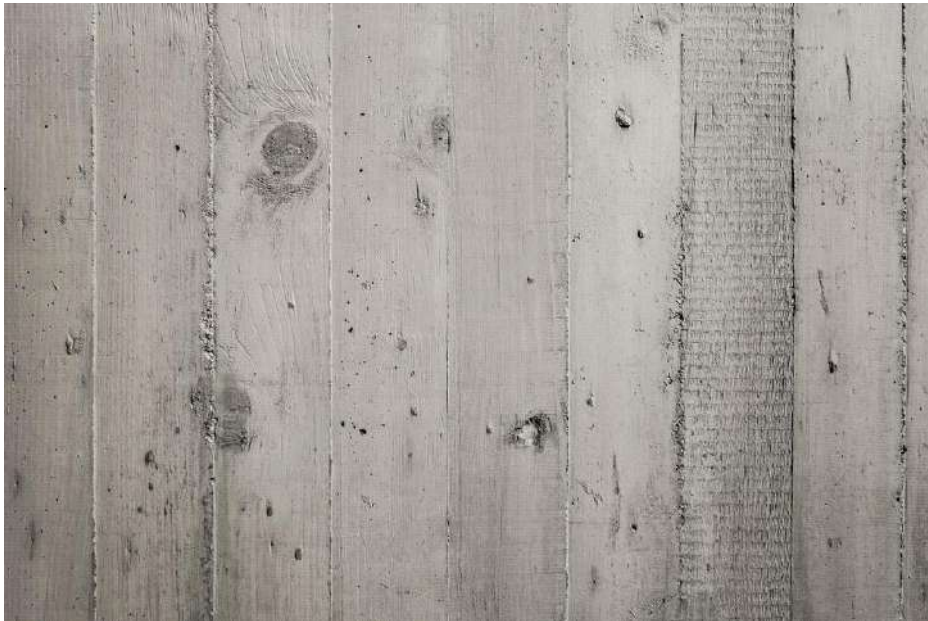


Slika 4.8. Oblikovanje površine uz pomoć silikonskih kalupa za betonske elemente

Troškovi izrade oplata za završnu oplatu variraju. Ponekad je moguće koristiti standardne unaprijed sastavljene oplata, stoga je dovoljno samo njeno unajmljivanje. U drugim slučajevima, potrebna je prilagodba ili dizajniranje i proizvodnja jedinstvenih oplata. Troškovi obiju opcija variraju ovisno o materijalima od kojih su sastavljeni. Trošak izrade jedinstvenog uzorka ovisi o složenosti dizajna te broju ponovljene upotrebe čineći ju isplativijom. Oplata mora biti dizajnirana da sprječava pucanje dijelova betonskog elementa tijekom njenog skidanja. Poželjno je da bude izrađena od ne upijajućih materijala, dok će drvena oplata apsorbirati vlagu betona i ostaviti površinu betona prekrivenu uzorkom. Za stvaranje grube

površine mogu se koristiti grubo piljena građa ili šperploča s teksturom. Tanak sloj sredstva za odvajanje se nanosi na oplatu. Ne preporuča se korištenje tradicionalnih spojeva kao što su nafta ili parafin iz razloga što stvaraju mrlje na površini, prikladna su maziva na bazi masnih kiselina. Prije nanošenja je potrebno provjeriti usklađenost maziva s odabranom vrstom betona.

Praksa je pokazala da su prethodno oblikovane plastične obloge dobar odabir za uključivanje uzoraka u dizajn betonskih elemenata. Za precizno izvedene detalje kao što su slova u betonu ili površine s udubljenja preporuča se korištenje gumene obloge koja olakšava skidanje. Priprema se beton, ovisno o želji može biti pripremljen pomoću standardnog ili obojenog cementa. Smjesa mora biti temeljito zbijena i zadovoljavajuće viskoznosti, inače neće popuniti sve detalje oplata. Nakon očvršćivanja oplata se demontira: isprva se olabavi, a zatim se postepeno uklanja pazeći da detalji dobiveni teksturom oplata ne popucaju. Prateći navedene korake moguće je dobiti betonsku površinu s dobro otisnutim reljefom.



Slika 4.9. Tekstura drveta dobivena oplatom

Mogućnosti kombiniranja završnih obrada, koje uključuju jednu ili više osnovnih završnih metoda zajedno s oblogama za oplata, gotovo su beskonačne: čišćenje i premazivanje zaštitnim slojem boje ili pak pjeskarenje kao postupak izlaganja agregata samo su neke od metoda.

#### 4.5. Montažni elementi obloženi glinenim proizvodom

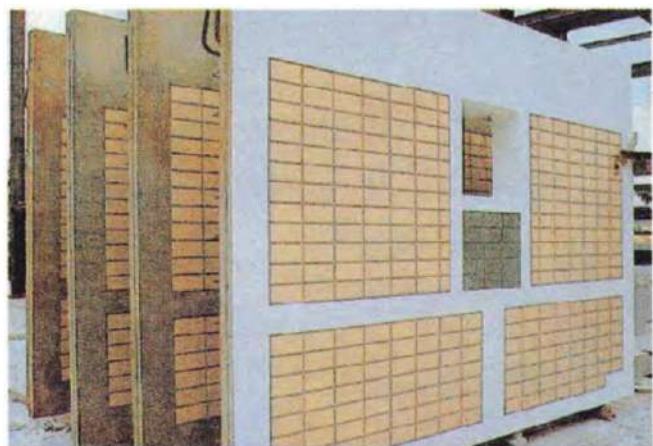
Korištenje predgotovljenih betonskih ploča obloženih glinenim proizvodima počelo je 1960-ih. Uporaba glinenih proizvoda i predgotovljenih armirano-betonskih elementa omogućuje vizualni izgled tradicionalnih elemenata, ali sa nekoliko bitnih prednosti u odnosu na zidanje na gradilištu. Montažna gradnja omogućuje izvođenje složenih detalje i brojnih uzoraka . Eliminirajući potrebu za skupim skelama i uvelike smanjujući trajanje oblaganja zidova. Prenoseći njihovu skupu i dugotrajnu izvedbu u kontrolirane uvjete tvornice, onemogućavajući kašnjenja zbog vremenskih nepogoda i ekstremnih temperatura. Dok zidanje na licu mjesta donosi različite kvalitete morta to nije slučaj kod montažnog sustava gdje je sve precizno dozirano i kontrolirano. Također, smanjeno je ometanje gradilišta i aktivnosti na njemu.

Vrste materijala koje se ugrađuju za površinski sloj možemo podijeliti na : cigle, keramičke i porculanske pločice te arhitektonsku terakotu. Izgled glinenim proizvodom ovisi o vrsti, veličini i teksturi. Također, doprinos ukupnoj boji donosi profil i boja spoja između jedinica.



Slika 4.10. Prijedlozi materijala za završnu obradu

U fazi projektiranja potrebna je konzultacija s proizvođačima kako bi se provjerila dostupnost veličina, oblika, boje i tekstura proizvoda od gline , kao i proizvodna sposobnost postrojenja. Cijele opeke se ne preporučuju za upotrebu u predgotovljenim elementima zbog poteškoća u adekvatnom ispunjavanju spojeva mortom. Kod tankih glinenih



elemenata nisu potrebne nikakve metalne spone ili spojnice za njihovo pričvršćivanje na beton

jer se postiže odgovarajuća veza, osim toga je također manje osjetljiva od konvencionalnih opeka na probleme smrzavanja i odmrzavanja, pucanja i cvjetanja. Opeke je potrebno namakati u vodi kako bi bile vlažne u vrijeme postavljanja smanjujući upijanje vode iz betona. Spojevi žbuke od opeke trebaju biti konkavni.

Prilikom projektiranja može se zanemariti strukturno djelovanje obloge, a za ojačanje predgotovljenih betonskih elemenata treba slijediti preporuke za betonske zidne ploče. Dimenzije panela mogu biti manje od zahtijevane za debljinu sljubnice morta. Za ekonomičniju proizvodnju, uzastopna uporaba istog oblika elementa bez rezanja bilo koje jedinice vodoravno ili okomito drastično smanjuje troškove. Općenito, integralno izlivanje betona na glinene elemente daje čvršću vezu od konvencionalnog načina zidanja. No, potrebno je paziti na šupljine koje smanjuju područje prijanjanja između betona i gline.

Rukovanje i montaža predgotovljenih betonskih elemenata obloženi glinenim proizvodima jednaka je i kao kod ostalih montažnih jedinica. Pažnja se treba posvetiti prilikom dimenzioniranja i njihove ugradnje u beton. Fizička svojstva gline variraju ovisno o njenom nalazištu, metodi oblikovanja i pečenju. Svojstva gline kao što su modul elastičnosti, koeficijent toplinske ekspanzije te promjena volumena zbog vlage se moraju usporediti sa fizikalnim svojstvima betona budući da su glineni proizvodi podložni vremenu potrebno je pribaviti informacije i utvrdio jesu li varijacije prihvatljive..



Slika 4.11. Montaža predgotovljenog panela s oblogom od opeke

#### **4.6. Montažni elementi obloženi kamenom**

Predgotovljeni armirano-betonski elementi obloženi prirodnim kamenom se uveliko koristi u građevinarstvu zbog svoje trajnosti, dostupnosti, estetskog učinka i niskih troškova održavanja.



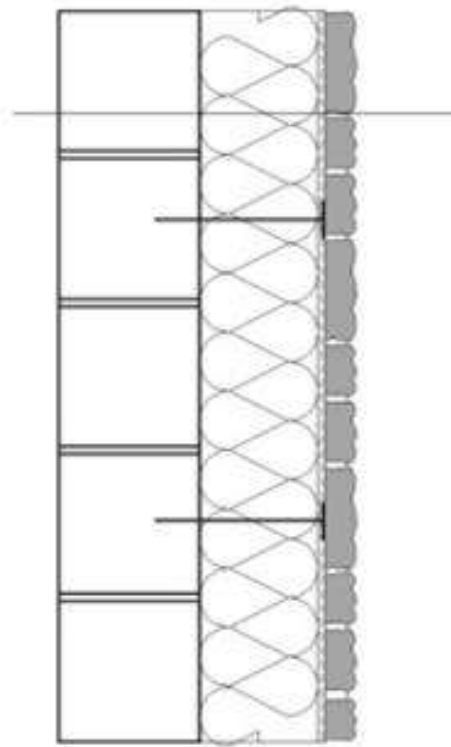
Slika 4.11. Ručno postavljanje kamena u kalupe elemenata

Za razliku od obrade glinenim proizvodima proizvodnja montažnih jedinica obrađeni kamenom oblogom zahtijevaju određeno vrijeme izrade. Važno je da proizvođač dobije građevinske nacрте u ranijoj fazi, kako bi se započelo sa proizvodnjom u što kraćem roku i omogućila nesmetana gradnja. Prihvatljiva boja kamena trebala bi se procijeniti za visinu cijele zgrade, a ne za pojedinačne ploče. Montažerima je potrebno dostaviti dodatni kamen ( 2-5% ukupne količine ) kako bi se trenutno izvršila zamjena oštećenih kamenih komada. Kamenje se ručno postavlja na podlogu. Cijela površina mora biti gusto i ravnomjerno prekrivena osobito oko otvora i kutova. Potrebno je omogućiti potpuno zbijanje bez pomicanja kamenja kako bi se zadržao uzorak.

Kamen je produkt prirodnih procesa te kao takav ne posjeduje ujednačene karakteristike kao što je to slučaj kod proizvedenog građevinskog materijala. Njegova čvrstoća ovisi o nekoliko čimbenika kao što su: vrsta, veličina, prisutnost ostalih spojeva, stupnju kohezije i rasporedu strukture. Zbog toga će svojstvo kamena varirati obzirom na njegovo nalazište, stoga je važno izvršiti ispitivanje za svaki pojedini kamenolom. Otpornost na cikluse vlaženja i sušenja, na kemijske zagađivače i utjecaj atmosferilija velikom mjerom ovisi o fizičkim svojstvima minerala koji izgrađuje kamen te o prisutnosti pukotina. Ovi otvori mogu dopustiti prodor vlage zbog kapilarnog djelovanja i gravitacije, osobito tamo gdje dizajn prozora ili krova dopušta vodi da teče preko kamene obloge. Oštećenje površinskog sloja kamena rezultira degradacijom otpornosti na smrzavanje i odmrzavanje postepeno smanjujući njegovu čvrstoću. Budući da se kombiniraju dva materijala, elementi su osjetljiviji na naprezanja za razliku od homogenih proizvoda. Tijekom projektiranja potrebno je poznavati promjenu volumena zbog vlage posebice za dimenzioniranje veličine spoja. S obzirom da kamene obloge betonskih elemenata postaju sve tanje voda može prodrijeti u većim količinama, čime se mogu pojaviti vlažna područja na površini elementa.

U područjima s većom količinom vlage rupe za sidra se ispunjavaju poliesterom ili epoksidom čiji je cilj smanjiti kondenzaciju vlage. Koeficijenti bi se toplinske ekspanzije brtvila i kamena trebali približe podudarati jer velika razlika između njih može dovesti do pucanja kamene obloge. Utjecaj brtvila je moguće smanjiti bušenjem rupe na gotovo identičan promjer sidra time smanjujući volumen epoksida ili kombiniranjem brtvila s kamenim brašnom ili finim pijeska čime bi se smanjila razlika koeficijenata toplinskog širenja i skupljanja.

Slika 4.12. Sidrenje klesanog kamena



#### 4.7 Utjecaj okoliša na elemente nakon ugradnje

Dobivanje betonskih elemenata ujednačene teksture i boje zahtjeva od tvornice predgotovljenih elemenata upravljanje složenim procesima koje uključuju ispitivanje sirovine, doziranje, miješanje, lijevanje u kalupe, stvrdnjavanje i završnu obradu.

Kao i sve površine ostavljene utjecaju vremenskim uvjetima i onečišćenju boja betonskog proizvoda će se promijeniti s vremenom. Osim izloženosti vanjskom utjecaju ne možemo isključiti promjenu boje ukoliko će se montažne konstrukcije nalaze duže vrijeme u skladištu, bilo da se radi u ugovorenoj akciji ili jednostavno zbog loše organizacije gradilišta. Tijekom dužeg vremenskog perioda bakar, bronca, čelik ili lim u kombinaciji sa vodom koja zatim teče preko betonskih elemenata stvara crne, smeđe ili zelenkaste mrlje. Ova obojenja je teže ukloniti nego uobičajenu prljavštinu. Završna obrada površine betonskih elemenata može ukazati na njegovu kvalitetu, povezujući utjecaj okoline, vanjsku i unutarnju poroznost s mehaničkim svojstvima i trajnosti. Jedan od glavnih problema vanjskih betonskih elemenata tijekom prvih godina izlaganja je cvjetanje (eflorescencija). Iako njena pojava negativno utječe na vizualni dojam objekta, sa strukturalnog gledišta ne bi trebalo uzrokovati zabrinutost. Međutim, ponavljanje ukazuje na probleme s vlagom. U područjima s kiselim kišama cementna pasta



erodira s površnog sloja. Omogućavajući brže nastajanje cvjetanja nego u područjima s morskom klimom.



Slika 4.13. Iscvjetavanje na površini elementa

Trajnost betona se smanjuje povećanjem nakupljanja kontaminantnih spojeva ili mikroorganizama koje se koncentriraju na površini elementa. Do cvjetanja betona dolazi zbog prisustva topivih tvari bilo da proizlaze iz materijala za proizvodnju betona ili okoliša. Kemijski elementi eflorescencijskih soli obično su hidroksidi, sulfati i karbonati. Velike količine kalcijevog karbonata uvijek su prisutne u betonu, njegova topivost je izraženija pri nižim temperaturama zbog čega su naslage češće u zimskim i vlažnim mjesecima. Kako bi se kalcijev hidroksid transportirao na površinski sloj i reagirao s ugljikovim dioksidom vlaga mora biti prisutna. Poput vlage nastale kondenzacijom ili kišnice koja prodire u beton. Beton je kao materijal detaljno ispunjen porama i kanalima. Hidrostatski tlak uzrokuje kretanje otopine prema površini na kojoj isparava. Količina naslaga varira ovisno o prirodi topivih materijala i atmosferskim uvjetima.

Relativna vlažnost, temperatura, strujanje zraka kao i propusnost i tekstura betona zajedno utječu na pojavu iscvjetavanja betona. Međutim, sklonost cvjetanju opada sa starenjem jer površina betona postaje gušća i manje propusna. Kako hidratacija napreduje, propusnost se smanjuje. No ukoliko je beton često zasićen vodom, cvjetanje se može razvijati dugi niz godina. Naslage je potrebno ukloniti jer dovode do pojava mikro pukotina ili uništavanja završnog sloja ljuštenjem žbuke i premaza.

Kako bi se vjerojatnost iscvjetavanja betona svela na minimum potrebno je smanjiti propusnost betona i njegovo upijanje vode. Temelj kvalitete betona na trajnost i otpornost obzirom na vremenske uvjete ovisi o niskom omjeru vode i cementa. Vodu je potrebno ograničiti jer njezin višak utječe na gustoću i apsorpciju. Kontrola vlažnosti pijeska i prilagodba količine vode za

miješanje pomaže u njenom smanjenju. Osim kontrole količine potrebno je paziti na kvalitetu, voda za miješanje ne smije sadržavati štetne kiseline, lužine, organske materijale, minerale i soli. Nakon čišćenja površine od cvjetanja, površina se može tretirati prozirnim sredstvom za brtvljenje kako bi se spriječilo ponovno pojavljivanje.

## 5. Primjeri objekata i korištenih obrada

### 5.1. Građevinski fakultet u Osijeku



Zgrada Građevinskog fakulteta naručitelja Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku izgrađena je 2016.

Površina dobivena brušenjem betona je odličan izbor za opločnjake, a u ovom slučaju i za stepenice. Tekstura završne obrade povećava otpornost na klizanje čineći ga prikladnim za podove. Fakultet kao područja sa velikim brojem ljudi ostavlja malo vremena za održavanje. Njegova otpornost na mrlje osigurava jednostavno čišćenje postižući profesionalni izgled uz minimalni napor. Osim toga njegova trajnost i izdržljivost smanjuje potrebu za popravcima u konačnici štedeći na troškovima održavanja.

Slika 5.1. Eksterijer Građevinskog fakulteta, Osijek



## 5.2. Muzej prirode i znanosti Perot, Texas



Slika 5.2. Muzej prirodne i znanosti Perot

monotonost betona, te je tekstura završna obrada postignuta uz pomoć 44 različita kalupa.

Ovaj projekt je odličan primjer prednosti postizanja teksture završne obrade uz pomoć oplata. Nakon što su arhitekti odabrali željeni uzorak, započinje se sa dizajniranjem oplata. Za razliku od ručnog obrađivanja površine korištenjem oplata osiguravamo da svaki element zgrade bude precizno izrađen, bez varijacija i u skladu sa konačnim željenim oblikom. S obzirom na činjenicu da je izrađeno 656 betonskih ploča možemo zaključiti da su kalupi korišteni veći broj puta. Smanjujući vrijeme koje bi se u suprotnom potrošilo na obradu i izradu bilo da se radi o



pjeskarenju ili slaganju glinenih i kamenih proizvoda za svaki zasebni element.

Slika 5.3. Fasadni paneli muzeja



### 5.3. Sportska dvorana Bale



Sportska dvorana Bale projektirana od strane zagrebačkog projektnog studija 3LHD, koja je ujedno dobila i prvu nagradu za sportske objekte na Svjetskom festivalu arhitekture u Barceloni 2008. godine, predstavlja spoj prednosti armiranog betona i estetike kamena.

Slika 5.4. Sportska dvorana Bale

Dvorana je izgrađena u samo 11 mjeseci. Nadalje, kako bi se uklopila u okoliš i postigao privid suhozida za završnu obradu je odabran kamen. Vremenska učinkovitost je postignuta proizvodnjom elemenata izvan gradilišta osiguravajući ne samo brzinu već i kvalitetu izgleda. U pogledu isplativost, drastično je smanjen kameni otpad za razliku od slučaja ako bi se kamena fasada izrađivala ručno na gradilištu.



Slika 5.5. Fasadni paneli dvorane



## 7. Zaključak

Danas uporaba betona gotovo da nema granica, od stambenih zgrada i proizvodnih hala pa sve do elemenata niskogradnje ostavljajući neizbrisiv trag u našem društvu.

Predgotovljeni armirano-betonski elementi u pogledu završne obrade omogućavaju uporabu velikog broja tehnike kao i njihove kombinacije. Poboljšavajući otpornost na mrlje, kemikalije, poroznost i izgled montažnih elemenata bojom, te postizanjem teksture površinskog sloja veličinom i dubinom izloženosti agregata raznim tehnikama kao što su jetkanje kiselinom, izlaganje agregata uz pomoć pritiska vodom, pjeskarenjem i poliranjem površine ili pak dizajniranje uzorka oblikovanjem betona oplatom. Izlaganjem agregata postići će se ujednačenija površina od bilo koje vrste glatke završne obrade skrivajući neplanirana odstupanja. Povećanjem dubine izlaganja povećavamo i ujednačenost. Postavljajući kamen ili opeku u kalupe predgotovljenog betona kombiniramo pogodnosti armiranog betona i ljepote tradicionalnih materijala.

Posljednjih godina svjedočimo intenzivnijoj uporabi montažnog sustava gradnje ujedno isprobavajući nove završne obrade. Povećavanjem otpornost, recikliranjem materijala i povezivanjem nove tehnologije omogućavaju razvoj ekološki prihvatljivijih armirano-betonskih konstrukcija.

## 8. Literatura

- [1] Betonske konstrukcije 1, Zorislav Sorić, Tomislav Kišiček
- [2] <https://www.nachi.org/history-of-concrete.htm>
- [3] Betonske konstrukcije, Josip Galić
- [4] Architectural precast concrete 3. izdanje, S. Freedman
- [5] [Concrete Pouring Steps and Techniques - Structural Guide](#)
- [6] [A guide to visual and architectural concrete finishes – Doka \(formworkdoka.com\)](#)
- [7] [Concrete elements \(ds-elcobyg.dk\)](#)
- [8] <https://webgradnja.hr/clanci/beton-lucko-primjena-arhitektonskog-betona-u-predgotovljenim-betonskim-elementima/3299>
- [9] [https://www.researchgate.net/publication/330634788\\_Polished\\_concrete](https://www.researchgate.net/publication/330634788_Polished_concrete)
- [10] Mehanizmi degradacije betona u ovisnosti o okolišu, Prof. Emerita dr.sc. Dubravka Bjegović