

# Trajnost betonskih konstrukcija

---

**Petrović, Marin**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:776184>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-20**



image not found or type unknown *Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Marin Petrović**

**Trajnost betonskih konstrukcija**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2024.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij  
Konstrukcije  
Teorija i tehnologija betona**

**Marin Petrović  
JMBAG: 0114032778**

**Trajnost betonskih konstrukcija**

**Diplomski rad**

**Rijeka, lipanj 2024.**

## IZJAVA

Diplomski rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Marin Petrović

U Rijeci, 04.07.2024

# ZAHVALNICA

Zahvaljujem tvrtki AEC Projekt d.o.o., projektantima Borisu Kirinčiću i Petru Mraku te Institutu IGH d.d. i HGK na suradnji, savjetima, omogućavanju korištenja laboratorijske opreme i svih potrebnih resursa za izradu eksperimentalnog dijela diplomskog rada.

---

Marin Petrović

U Rijeci, 03.07.2024

## **SAŽETAK:**

U ovom diplomskom radu obrađena je tema „Trajnost betonskih konstrukcija“. Definiran je pojam i značenje trajnosti te su opisani najčešći uzroci oštećenja armiranobetonskih konstrukcija kao što su karbonatizacija, kloridna korozija i segregacija. Navedene su i opisane najčešće korištene mjerne metode za ocjenu betona u konstrukciji. Također su opisani i sustavi za sanaciju navedenih oštećenja kao što su premazi i inhibitori korozije. Na kraju rada na primjeru hotela Panorama prikazana su navedena oštećenja betonske konstrukcije, provedena ispitivanja, ocjena postojećeg stanja konstrukcije te prijedlog sanacije. Usporedbom rezultata ispitivanja dobivenih od ovlaštene institucije i rezultata vlastitih in situ ispitivanja dobivena je dobra korelacija između indeksa sklerometra i tlačne čvrstoće određene na valjcima izvađenim iz konstrukcije na temelju čega je zaključeno da je korištena nerazorna metoda ispitivanja dovoljno pouzdana za procjenu tlačne čvrstoće betona u konstrukciji.

## **SUMMARY:**

In this thesis, the topic of "Durability of Concrete Structures" is covered. The concept and significance of durability are defined, and the most common causes of damage to reinforced concrete structures, such as carbonation, chloride corrosion, and segregation, are described. The most commonly used measurement methods for assessing concrete in structures are listed and described. Systems for the repair of the mentioned damages, such as coatings and corrosion inhibitors, are also described. At the end of the thesis, using the example of the Panorama Hotel, the aforementioned damages to the concrete structure, conducted tests, evaluation of the current state of the structure, and proposed repair methods are presented. A comparison of test results obtained from an authorized institution and the results of in situ testing showed a good correlation between the Schmidt hammer index and the compressive strength determined on cores extracted from the structure. This led to the conclusion that the non-destructive testing method used is sufficiently reliable for assessing the compressive strength of concrete in the structure.

## SADRŽAJ

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | OPĆI DIO .....   | 8  |
| 1.1   | Osnovni pojmovi.....   | 8  |
| 1.2   | Osnovni propisi.....   | 2  |
| 1.3   | Projektiranje - odabir materijala i sastav betona.....   | 3  |
| 1.3.1 | Implicitno projektiranje trajnosti .....   | 4  |
| 1.3.2 | Minimalna debljina zaštitnog sloja.....  | 8  |
| 1.4   | Izvođenje - kontrola projektiranih svojstava .....   | 9  |
| 1.5   | Uporabni životni vijek- određivanje razine oštećenja i propadanje betona .....                         | 10 |
| 1.6   | Mjere zaštite betona .....   | 12 |
| 2     | UZROCI OŠTEĆENJA I SUSTAVI ZA SANACIJU .....   | 14 |
| 2.1   | Mehanizmi prolaska tvari u materijalu .....  | 15 |
| 2.1.1 | Difuzija .....   | 16 |
| 2.1.2 | Upijanje (apsorpcija) .....  | 17 |
| 2.1.3 | Protjecanje pod vanjskim pritiskom .....   | 17 |
| 2.2   | Karbonatizacija .....  | 18 |
| 2.3   | Kloridna korozija .....  | 20 |
| 2.4   | Strukturno oštećenje- pukotine .....   | 23 |
| 2.5   | Segregacija-oštećenja uslijed loše kvalitete betona .....  | 28 |
| 2.6   | Mjerne metode za kontrolu i osiguranje kvalitete postojećih konstrukcija .....                         | 29 |
| 2.7   | Proizvodi i sustavi za zaštitu i sanaciju ab konstrukcija.....   | 31 |
| 2.7.1 | Inhibitori korozije .....  | 31 |
| 2.7.2 | Premazi .....  | 33 |
| 2.8   | Odabir odgovarajućih materijala za sanaciju i zaštitu ab konstrukcija.....                             | 33 |
| 3     | PRIKAZ PROPADANJA, OCJENE STANJA I SANACIJE BETONSKE<br>KONSTRUKCIJE NA PRIMJERU HOTELA PANORAMA ..... | 36 |
| 3.1   | Opći podaci o građevini .....  | 36 |
| 3.2   | Korišteni materijali .....   | 38 |
| 3.3   | Usporedba korištenih i današnjih materijala.....   | 42 |
| 3.4   | Detalji oštećenja betonske konstrukcije.....   | 43 |
| 3.5   | Provedena ispitivanja u cilju utvrđivanja kvalitete i stanja materijala .....                          | 47 |
| 3.5.1 | Ispitivanje i procjena tlačne čvrstoće betona temeljem izvađenih uzoraka iz<br>konstrukcije .....      | 50 |
| 3.5.2 | Ispitivanje dubine karbonatizacije u betonu .....  | 52 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.5.3 | Ispitivanje sadržaja klorida u betonu .....                                       | 53 |
| 3.5.4 | Određivanje karakteristika armature nakon uklanjanja zaštitnog sloja betona<br>54 |    |
| 3.5.5 | Zaključak dosad provedenih ispitivanja .....                                      | 55 |
| 3.6   | Provedena vlastita ispitivanja .....  | 56 |
| 3.6.1 | Sklerometar.....  | 56 |
| 3.6.2 | Pull off test .....   | 57 |
| 3.7   | Analiza rezultata ispitivanja.....  | 61 |
| 3.7.1 | Podna ploča prizemlja (B-P-4) .....   | 61 |
| 3.7.2 | Podna ploča kata +1 (B-K1-1).....   | 64 |
| 3.7.3 | Stup kata -1 ( B-K-1-1).....  | 67 |
| 3.7.4 | Podna ploča prizemlja (B-P-1) .....   | 72 |
| 3.7.5 | Zid prizemlja (B-P-5) .....   | 75 |
| 3.8   | Prijedlog sanacije na temelju rezultata ispitivanja.....                          | 77 |
| 3.8.1 | Stropna ploča depadanse .....   | 77 |
| 4.    | ZAKLJUČAK.....  | 81 |
|       | LITERATURA .....  | 82 |
|       | PRILOZI.....  | 83 |
|       | Zakonska regulativa.....  | 83 |
|       | Tehnički propisi:.....  | 83 |
|       | Zakoni:.....  | 83 |
|       | Pravilnici: .....   | 83 |
|       | Osnovni propisi .....   | 84 |
|       | Europske norme:.....  | 84 |
|       | Međunarodne norme:.....   | 85 |
|       | POPIS SLIKA I TABLICA.....  | 86 |



## 1. OPĆI DIO

### 1.1 Osnovni pojmovi

Građevina se smatra ljudskim proizvodom napravljenim od građevinskog materijala s namjerom da zadovolji određenu ljudsku potrebu. Graditeljstvo se smatra jednim od najstarijih ljudskih djelatnosti, a počela se razvijati kada je čovjek odlučio sam stvarati skloništa na način kakav je zamislio a ne uzeti ono što mu priroda nudi. Zahtjev koji se počeo javljati bila je trajnost konstrukcije. Pod pojmom trajnosti konstrukcije smatra se njena sposobnost da u određenom razdoblju zadrži zahtjevu razinu sigurnosti i uporabljivosti. Svaka građevina mora biti sposobna podnesti vanjska djelovanja te se na taj način smatra da je konstrukcija sigurna dok s druge strane konstrukcija također mora zadovoljiti i uvjete namjene te tada govorimo o uporabljivosti konstrukcije. Kontrola nosivosti i uporabljivosti građevina provodi se s obzirom na dva granična stanja:

- 1) granično stanje nosivosti koje se dovodi u vezu s bilo kakvim otkazivanjem konstrukcije što može uključivati gubitak ravnoteže konstrukcije, otkazivanje konstrukcije zbog velikih deformaciji ili propadanje uslijed vremenskih učinaka
- 2) granično stanje uporabivosti odnosi se na uvjete pod kojima konstrukcija više ne zadovoljava postavljene zahtjeve. Neki od tih zahtjeva uključuju deformacije i pomake koji utječu na izgled konstrukcije, vibracije koje uzrokuju nelagodu kod ljudi te pukotine koje smanjuju trajnost i narušavaju izgled.

Kako bi se ostvarile trajne konstrukcije potrebno je zadovoljiti nekoliko faktora kao što su osiguranje trajnosti materijala, ispravno konstruiranja detalja i projektantskog koncepta cijele konstrukcije [1].

Ovaj diplomski rad detaljno istražuje trajnost betonskih konstrukcija, naglašavajući značaj pravilnog projektiranja, odabira materijala i kontrolu svojstava betona kako bi se osigurala dugovječnost i funkcionalnost građevina. U prvom djelu rada detaljno je opisano pravilno projektiranje građevine, njezino izvođenje te na koji način treba zaštititi beton kroz vrijeme.

Daljnja analiza rada usmjerena je na uzroke oštećenja betonskih konstrukcija, kao što su karbonatizacija i kloridna korozija, te strukturna oštećenja poput pukotina i

segregacije. Opisuju se mehanizmi prolaska tvari kroz materijal, poput difuzije i upijanja, te se raspravlja o metodama kontrole i osiguranja kvalitete postojećih konstrukcija. Navode se proizvodi i sustavi za zaštitu i sanaciju armiranobetonskih konstrukcija.

Praktični dio rada fokusira se na hotel Panorama, gdje su provedena opsežna ispitivanja kako bi se utvrdila kvaliteta i stanje materijala. Analizirani su korišteni materijali, uspoređeni s današnjim materijalima, te je detaljno opisano stanje oštećenja betonske konstrukcija. Na temelju dobivenih rezultata, predložene su odgovarajuće mjere sanacije koje će pomoći pri rekonstrukciji građevine te osigurati da konstrukcija i u budućnosti ostane sigurna za korištenje.

Iz svega navedenog može se zaključiti kako je osnovni cilj ovog diplomskog rada istražiti i analizirati trajnost betonskih konstrukcija, identificirati ključne uzroke oštećenja te predložiti učinkovite metode za njihovu zaštitu i sanaciju. Kroz detaljno istraživanje i praktični primjer hotela Panorama autor nastoji pridonijeti boljem razumijevanju trajnosti betonskih konstrukcija i ponuditi praktične smjernice za njihovo očuvanje i poboljšanje. Rad pruža sveobuhvatni pregled teoretskih i praktičnih aspekata trajnosti, s posebnim naglaskom na značaj pravilnog odabira materijala, projektiranja i zaštite kako bi se osigurala dugovječnost i funkcionalnost građevina.

## **1.2 Osnovni propisi**

Propisi i norme za trajnost betonskih konstrukcija obuhvaćaju različite aspekte kako bi osigurali da građevine budu sigurne, funkcionalne i trajne tijekom njihovog životnog vijeka. Neki od aspekata koje norme i propisi objašnjavaju su:

1. Dizajn i materijali: Propisi definiraju minimalne zahtjeve za dizajn betonskih konstrukcija, uključujući dimenzije, nosivost, stabilnost i trajnost. Materijali kao što su beton, armatura, aditivi i dodaci moraju biti odabrani i korišteni u skladu s normativima kako bi se osigurala odgovarajuća trajnost i otpornost na različite uvjete.
2. Izvedba i kontrola kvalitete: Propisi postavljaju standarde za izvođenje betonskih radova kako bi se osigurala pravilna primjena materijala, uključujući betonsku smjesu, ugradnju armature, kompaktnost betona te zaštita i obrada površine.

3. Zaštita od korozije: Norme sadrže smjernice za sprječavanje korozije čelične armature unutar betonskih konstrukcija. to može uključivati minimalne debljine zaštitnog sloja betona iznad armature, upotrebu inhibitora korozije, kao i primjenu premaza ili sustava zaštite koji sprečavaju prodor vode i kemijskih spojeva.
4. Održavanje i popravci: Propisi uključuju smjernice za redovito održavanje i inspekciju betonskih konstrukcija tijekom životnog vijeka kako bi se prepoznala oštećenja i poduzeli potrebni popravci ili ojačanja.
5. Projektiranje životnog vijeka: Zahtjevi za projektiranje životnog vijeka betonskih konstrukcija su važan dio normi. Ovi zahtjevi uključuju procjenu očekivanog trajanja konstrukcije, uzimajući u obzir okolišne uvjete, koroziju, opterećenja i druge čimbenike koji mogu utjecati na dugovječnost.
6. Sigurnost i otpornost: Propisi se također odnose na sigurnost betonskih konstrukcija u slučaju prirodnih katastrofa ili izvanrednih događaja, kao što su potresi ili požari, te zahtijevaju primjenu odgovarajućih standarda otpornosti na takve uvjete.

Hijerarhija propisa u građevini strukturirana je kako bi se osigurala jasnost i dosljednost u primjeni pravila. Na vrhu hijerarhije su zakoni koje donosi zakonodavno tijelo i koji postavljaju osnovne smjernice i obveze u građevinarstvu. Zatim slijede pravilnici koje donose ministarstva te koje nam pružaju specifične tehničke specifikacije i standarde. Norme definiraju tehničke specifikacije koje postaju obvezujuće kada ih zakon ili pravilnik pozove.

### **1.3 Projektiranje - odabir materijala i sastav betona**

Projekt betonske konstrukcije u fazi projektiranja mora sadržavati zahtjev za materijal te postupke i tehnologiju izvođenja konstrukcije, a ne samo proračun nosivosti i uporabljivosti. Zahtjev za materijal govori nam o svojstvima materijala, ispitivanju i postupcima dokazivanja uporabljivosti dok nam postupci i tehnologija izvođenja konstrukcije daju informacije o načinu izvođenja i ugradnje betona te uvjetima građenja [1].

Koncept projektiranja trajnosti konstrukcije zahtjeva da tijekom projektiranog uporabnog vijeka uslijed vanjskih utjecaja na konstrukciju ne dođe do preranog smanjenja nosivosti ili svojstava uporabljivosti. Razlikujemo dvije vrste pristupa projektiranju trajnosti betonskih konstrukcija:

- Implicitan
- Eksplicitan

Implicitan pristup projektiranju uključuje odgovarajući odabir razreda izloženosti s obzirom na namjenu i potrebnim svojstvima za zadane zahtjeve.

Eksplicitno projektiranje trajnosti konstrukcije uzima u obzir bilo koje smanjenje zahtijevanim svojstava konstrukcije. Ovaj pristup za rezultat ima da vjerojatnost otkazivanja nekog djela konstrukcije zbog smanjenja zahtijevanih svojstava neće prijeći unaprijed definiranu graničnu vrijednost tijekom uporabnog vijeka konstrukcije.

Zbog složenosti kod eksplicitnog projektiranja i zbog mogućnosti njegove primjene samo za neke utjecaje na betonsku građevinu u hrvatskim i europskim normama daje se veći značaj i više je razrađeno implicitno projektiranje trajnosti [1].

### *1.3.1 Implicitno projektiranje trajnosti*

Projektiranje konstrukcije obuhvaća odabir prikladnog stupnja izloženosti građevine prema njenoj svrsi i daljnje prilagođavanje odgovarajućim definiranim zahtjevima za odabrani stupanj izloženosti. Implicitno projektiranje trajnosti uključuje sljedeće korake:

- utvrđivanje prosječnog uporabnog vijeka
- definiranje utjecaja (stupanj izloženosti)
- procjenu uobičajenih troškova održavanja
- određivanje sastava betona i postupaka izvedbe.

Implicitno projektiranje trajnosti betonskih konstrukcija, kako je propisano Tehničkim propisom za građevinske konstrukcije, temelji se na klasifikaciji utjecaja prema stupnjevima izloženosti i povezanim mjerama, kao što su sastav betona, debljina zaštitnog sloja betona i njegovo održavanje. Očigledno je da ovakav pristup

projektiranju trajnosti uglavnom ovisi o odabiru odgovarajuće mješavine betona uz zadovoljenje definiranih zahtjeva za čvrstoću betona i debljinu zaštitnog sloja armature, ovisno o okolišnim uvjetima. Ako su zadovoljeni zahtjevi normi, pretpostavlja se da će se postići predviđeni uporabni vijek. Međutim, poseban izazov predstavlja to što normativni zahtjevi obuhvaćaju "standardne" betonske konstrukcije s očekivanim uporabnim vijekom od 50 godina [1].

Ne može se uspješno implicitno projektirati trajnost betonskih konstrukcija bez donošenja određenih pretpostavki i unaprijed razmišljanja o utjecajima na koje će građevina koja sadrži betonsku konstrukciju biti izložena. Jedna od pretpostavki u projektu odnosi se na utjecaj okoliša na betonsku konstrukciju. Pod utjecajem okoliša podrazumijevaju se kemijska i fizikalna djelovanja kojima je konstrukcija izložena u cjelini, neki njen dio ili pak materijal od kojeg je izvedena, a koji se očituju kao učinci koji nisu obuhvaćeni opterećenjima pri projektiranju konstrukcije.

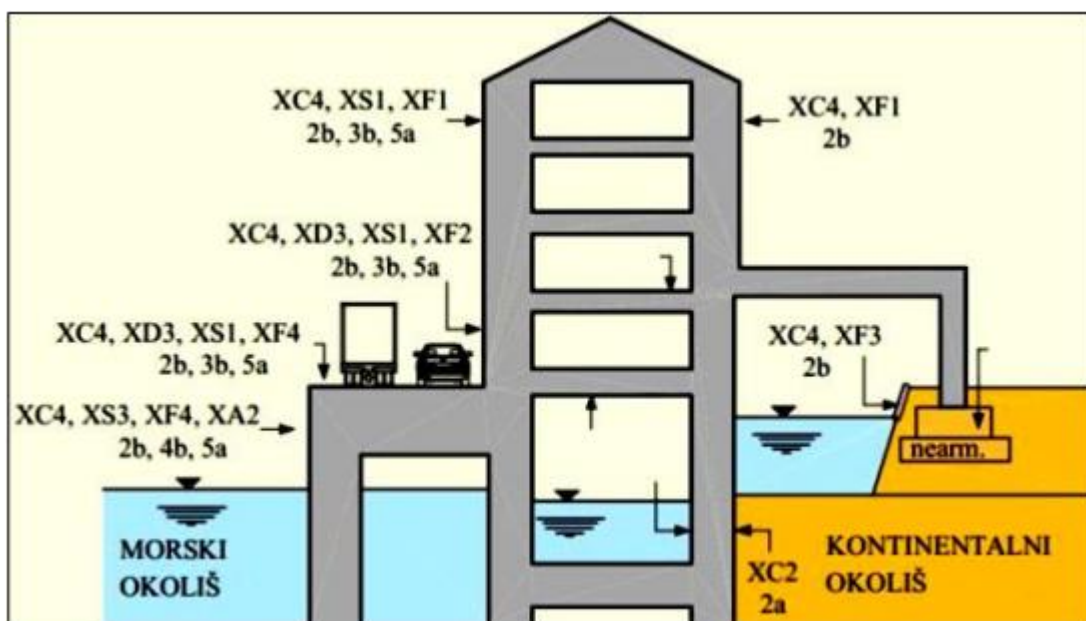
Kad govorimo o utjecajima okoliša moramo konstrukciju razvrstati u jedan od razreda izloženosti (**Pogreška! Izvor reference nije pronađen. Pogreška! Izvor reference nije pronađen.**) prema uvjetima koji vrijede na mjestu korištenja betona [3].

**Tablica 1** Razredi izloženosti prema HRN EN 1992-1-1:2013 i HRN EN 206:2014 i HRN 1128:2007 [3]

| Razred     | Opis okoline   | Obavijesni primjeri moguće pojave razreda izloženosti   | Max v/c     | Min cement [kg/m <sup>3</sup> ] | Najmanji razred tlačne čvrstoće betona |
|------------|--|---|-------------|---------------------------------|--|
| <b>X0</b>  | Za beton bez armature ili ugrađenog metala; sve izloženosti osim onih u kojima postoji zamrzavanje/odmrzavanje, abrazija ili kemijska agresivnost<br>Za beton s armaturom ili ugrađenim metalom: vrlo suho | Beton unutar zgrada s vrlo malom vlažnošću zraka  | -           | -                               | <b>C 12/15</b>                         |
| <b>XC1</b> | Suho ili trajno vlažno   | Beton unutar zgrada s malom vlažnošću zraka<br>Beton stalno uronjen u vodu                    | <b>0,65</b> | <b>260</b>                      | <b>C 20/25</b>                         |
| <b>XC2</b> | Vlažno, rijetko suho   | Površine betona izložene dugotrajnom kontaktu s vodom<br>Mnogi temelji                        | <b>0,60</b> | <b>280</b>                      | <b>C 25/30</b>                         |
| <b>XC3</b> | Umjerena vlažnost  | Beton unutar zgrada s umjerenom ili velikom vlažnošću zraka<br>Vanjski beton zaštićen od kiše | <b>0,55</b> | <b>280</b>                      | <b>C 30/37</b>                         |
| <b>XC4</b> | Cikličko vlažno i suho   | Površine betona izložene kontaktu s vodom koje ne pripadaju razredu izloženosti XC2           | <b>0,50</b> | <b>300</b>                      | <b>C 30/37</b>                         |

|            |   |   |             |            |                |
|------------|---|---|-------------|------------|----------------|
| <b>XD1</b> | Umjerena vlažnost   | Površine betona izložene kloridima iz zraka   | <b>0,55</b> | <b>300</b> | <b>C 30/37</b> |
| <b>XD2</b> | Vlažno, rijetko suho  | Bazeni za plivanje<br>Elementi betona izloženi industrijskim vodama koje sadržavaju kloride   | <b>0,55</b> | <b>300</b> | <b>C 30/37</b> |
| <b>XD3</b> | Ciklički vlažno i suho  | Dijelovi mostova izloženi prskanju vode koja sadržava kloride<br>Pločnici - kolničke konstrukcije<br>Ploče javnih garaža  | <b>0,45</b> | <b>320</b> | <b>C 35/45</b> |
|            |   |   |             |            |                |
| <b>XS1</b> | Izložen solima iz zraka, ali ne u izravnom dodiru s morskom vodom       | Konstrukcije u blizini ili na obali   | <b>0,50</b> | <b>300</b> | <b>C 30/37</b> |
| <b>XS2</b> | Stalno uronjeno   | Dijelovi pomorskih konstrukcija   | <b>0,45</b> | <b>320</b> | <b>C 35/45</b> |
| <b>XS3</b> | U područjima plime i oseke i prskanja vode                              | Dijelovi pomorskih konstrukcija   | <b>0,45</b> | <b>340</b> | <b>C 35/45</b> |
|            |   |   |             |            |                |
| <b>XF1</b> | Umjereno zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje                   | Vertikalne površine betona izložene kiši i zamrzavanju  | <b>0,55</b> | <b>300</b> | <b>C 30/37</b> |
| <b>XF2</b> | Umjereno zasićenje vodom, sa sredstvom za odmrzavanje                   | Vertikalne površine betona cestovnih konstrukcija izložene zamrzavanju i sredstvima za odmrzavanje  | <b>0,55</b> | <b>300</b> | <b>C 25/30</b> |
| <b>XF3</b> | Jako zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje                       | Horizontalne površine betona izložene kiši i zamrzavanju  | <b>0,50</b> | <b>320</b> | <b>C 30/37</b> |
| <b>XF4</b> | Jako zasićenje vodom, sa sredstvom za odmrzavanje                       | Ceste i kolnici mostova izloženi sredstvima za odmrzavanje<br>Betonske površine izložene izravnom prskanju vode koja sadržava sredstva za odmrzavanje i izložene zamrzavanju<br>Područja plime i oseke kod pomorskih konstrukcija izloženih zamrzavanju | <b>0,45</b> | <b>340</b> | <b>C 30/37</b> |
|            |   |   |             |            |                |
| <b>XA1</b> | Slabo kemijski agresivni okoliš, prema normi HRN EN 206-1, tablica 2    | Prirodno tlo i podzemna voda  | <b>0,55</b> | <b>300</b> | <b>C 30/37</b> |
| <b>XA2</b> | Umjereno kemijski agresivni okoliš, prema normi HRN EN 206-1, tablica 2 | Prirodno tlo i podzemna voda  | <b>0,50</b> | <b>320</b> | <b>C 30/37</b> |
| <b>XA3</b> | Jako kemijski agresivni okoliš, prema normi HRN EN 206-1, tablica 2     | Prirodno tlo i podzemna voda  | <b>0,45</b> | <b>360</b> | <b>C 35/45</b> |

U nastavku je dan tipičan primjer utjecaja okoliša na beton višekatne zgrade te odabir mjerodavnih razreda izloženosti sukladno Tablici 1 (Slika 1). Ovi razredi izloženosti su ključni za razumijevanje uvjeta kojima je zgrada podložna tijekom svog vijeka trajanja, a uključuju čimbenike poput okolišnih utjecaja, vremenskih uvjeta i specifičnih opterećenja koja mogu utjecati na trajnost i stabilnost konstrukcije.



Slika 1 Odabir razreda izloženosti na primjeru višekratne zgrade [3]

Ovisno o razredu izloženosti propisuje se i cement koji se koristi ( **Tablica 2** ). Ova tablica govori nam kako se različite vrste cementa biraju na temelju specifičnih uvjeta izloženosti kojima će betonska konstrukcija biti podvrgnuta, što je ključno za osiguranje njene trajnosti i otpornosti na okolišne čimbenike.

Tablica 2 Prikaz odabira cementa ovisno o razredu izloženosti [3]

| Cement  |     |  | Klasa izloženosti |     |     |     | Prednapeti beton |
|---------|-----|--|-------------------|-----|-----|-----|------------------|
|         |     |  | XC1               | XC2 | XC3 | XC4 |                  |
| CEM I   |     |  | +                 | +   | +   | +   | +                |
| CEM II  | A/B | S  | +                 | +   | +   | +   | +                |
|         | A   | D  | +                 | +   | +   | +   | +                |
|         | A/B | P/Q  | +                 | +   | +   | +   | -                |
|         | A/B | V  | +                 | +   | +   | +   | +                |
|         | A   | W  | +                 | +   | +   | +   | -                |
|         | B   |  | +                 | +   | -   | -   | -                |
|         | A   | L  | +                 | +   | +   | +   | +                |
|         | B   |  | +                 | +   | -   | -   | -                |
|         | A   | LL   | +                 | +   | +   | +   | +                |
|         | B   |  | +                 | +   | -   | -   | +                |
| A       | M   | S-D;S-LL;D-LL,S-P;S-V;D-P;<br>D-V;P-V;P-L;V-LL | +                 | +   | +   | +   | +                |
| B       |     | S-D,S-V;D-V;P-V                                | +                 | +   | +   | +   | +                |
|         |     | S-P;D-P  | +                 | +   | +   | +   | -                |
|         |     | S-LL;D-LL;P-LL;V-LL                            | +                 | +   | +   | -   | +                |
| CEM III | A/B | +  | +                 | +   | +   | +   |                  |
|         | C   | +  | +                 | -   | -   | -   |                  |
| CEM IV  | A   | +  | +                 | +   | +   | -   |                  |
|         | B   | +  | +                 | -   | -   | -   |                  |
| CEM V   | A   | +  | +                 | +   | +   | -   |                  |
|         | B   | +  | +                 | -   | -   | -   |                  |

### 1.3.2 Minimalna debljina zaštitnog sloja

Zaštitni sloj betona vrlo je važan element konstrukcije kako bi se zaštitila armatura od korozije. Debljina zaštitnog sloja ovisi o okolini u kojoj se konstrukcija nalazi te na koji način vanjska djelovanja utječu na konstrukciju. Veličina zaštitnog sloja mjeri se od vanjskog ruba armature do najbliže vanjske plohe betona. Ukoliko na postavlja najmanja debljina zaštitnog sloja mora se znati da zaštitni sloj ima više uloga, a neke od njih su [10]:

- Siguran prijenos sila prionjivošću
- Zaštita čelika od korozije
- Neodlamanje betona
- Propisana požarna zaštita

Vrijednost najmanjeg zaštitnog sloja betona  $c_{min,dur}$  u odnosu na izloženost konstrukcije prikazana je u

*Tablica 3.* Može se vidjeti kako se s povećanjem razreda konstrukcije povećava i debljina zaštitnog sloja, također i s povećanjem zahtjeva razreda izloženosti.

**Tablica 3** Debljina zaštitnog sloja [13]

| Zahtjevi okoliša za $c_{min,dur}$ [mm] |   |     |         |     |         |         |         |
|--|---|-----|---------|-----|---------|---------|---------|
| Razred konstrukcije                    | Razred izloženosti u skladu s prethodnom tablicom |     |         |     |         |         |         |
|  | X0  | XC1 | XC2/XC3 | XC4 | XD1/XS1 | XD2/XS2 | XD3/XS3 |
| S1                                     | 10  | 10  | 10      | 15  | 20      | 25      | 30      |
| S2                                     | 10  | 10  | 15      | 20  | 25      | 30      | 35      |
| S3                                     | 10  | 10  | 20      | 25  | 30      | 35      | 40      |
| S4                                     | 10  | 15  | 25      | 30  | 35      | 40      | 45      |
| S5                                     | 15  | 20  | 30      | 35  | 40      | 45      | 50      |
| S6                                     | 20  | 25  | 35      | 40  | 45      | 50      | 55      |

*Tablica 4* prikazuje na koji način se određuje koliki mora biti uporabni vijek konstrukcije prilikom projektiranja, odabira materijala te načina izvođenja konstrukcije. Ukoliko se dogodi da se ne ostvari životni vijek konstrukcije mora se sagledati više mogućnosti koje mogu utjecati na konstrukciju.



*Tablica 4 Kategorije proračunskog uporabnog vijeka[13]*

| Kategorija proračunskog uporabnog vijeka  | Proračunski uporabni vijeka (godina) | Primjer   |
|---|--------------------------------------|---|
| 1 (S1)  | 10                                   | Privremene konstrukcije <sup>1)</sup>                                       |
| 2 (S2)  | 10 – 25                              | Zamjenjivi dijelovi konstrukcije npr. Grede skela, ležajevi                 |
| 3 (S3)  | 15 do 30                             | Poljoprivredne i slične konstrukcije  |
| 4 (S4)  | 50                                   | Konstrukcije zgrada i druge obične konstrukcije                             |
| 5 (S5)  | 100                                  | Konstrukcije monumentalnih zgrada, mostovi i druge inženjerske konstrukcije |
| <p>1) Konstrukcije i dijelovi koji se mogu rastaviti da bi se ponovo upotrijebili ne smatraju se privremenim</p> <p>U slučaju rekonstrukcije postojeće građevine odnosno obnove ruševine postojeće građevine, projektirani vijeka odnosi se samo na rekonstruirani dio građevine, odnosno na dio koji je nastao rekonstrukcijom</p> |                                      |   |

#### **1.4 Izvođenje - kontrola projektiranih svojstava**

Ključna je faza u ostvarenju trajnosti konstrukcije izvođenje. Za njezino ispunjenje od iznimne je važnosti da projektant razmotri i odredi sve opće i posebne uvjete za izvođenje [2].

U programu kontrole i osiguravanja kvalitete u glavnom projektu navode se:

- uvjeti građenja
- ispitivanja i postupci dokazivanja nosivosti i uporabljivosti konstrukcije
- način kontrole građevnih proizvoda prije ugradnje
- ispitivanja i postupci dokazivanja uporabljivosti građevnih proizvoda koji se izrađuju na gradilištu za potrebe tog gradilišta
- ispitivanja i postupci dokazivanja nosivosti i uporabljivosti konstrukcije
- svojstva koja moraju imati građevni proizvodi koji se ugrađuju u konstrukciju uključivo odgovarajuće podatke propisane odredbama o označivanju građevnih proizvoda

Uvjeti za izvođenje konstrukcije, uključivo i uvjete kojima se osigurava trajnost konstrukcije, određuju se programom kontrole i osiguranja kvalitete koji je sastavni dio glavnog projekta. Osiguravanje trajnosti u izvedbi konstrukcija odnosi se prije svega na nadzor, ugradnju i uporabu građevnih proizvoda te kontrolu kvalitete, kako

bi se postiglo da se specifikacije iz projekta (i za trajnost) doista i ostvare. Tehnički propisi zahtijevaju da građenje mora biti takvo da konstrukcija ima tehnička svojstva i ispunjava druge zahtjeve tehničkog propisa u skladu s tehničkim rješenjem građevine i uvjetima za građenje danima projektom te da se osigura očuvanje tih svojstava i uporabljivost građevine tijekom njezina trajanja [2].

### 1.5 Uporabni životni vijek- određivanje razine oštećenja i propadanje betona

Uporabni životni vijek građevine izraz je koji se koristi za opis trajanja ili očekivanog razdoblja korištenja građevine prije nego što zahtijeva značajne popravke ili zamjene. Dužina uporabnog vijeka može varirati ovisno o vrsti građevine i njezinoj namjeni. Planiranje i održavanje imaju glavnu ulogu u produženju uporabnog vijeka građevine, jer pravilna njega može smanjiti potrebu za skupim popravcima i zamjenama.

Vijek korištenja građevina određuje se pravilnikom o metodama procjene vrijednosti nekretnina (Slika 2).

PRILOG 9.

ODRŽIVI VIJEK KORIŠTENJA GRAĐEVINA

| Vrsta/korištenje zgrada   | Napomena/primjer  | god.      |
|---|---|-----------|
| Lagane konstrukcije   | napuhane konstrukcije   | 5 – 15    |
| Benzinske postaje   |   | 10 – 20   |
| Spalionice otpada   |   | 15 – 25   |
| Kontejnerske građevine  |   | 15 – 30   |
| Lagane konstrukcije   | nadstrešnice  | 15 – 30   |
| Lagane konstrukcije   | spremišta od valovitog lima i drvene konstrukcije                                   | 20 – 30   |
| Crpne stanice, transformatorske i rasklopno-uklopne stanice         |   | 25 – 40   |
| Uredaji za pročišćavanje  | komunalni   | 25 – 50   |
| Sportske i rekreacijske građevine                                   | otvoreni bazeni sa skakaonicom  | 30 – 40   |
| Građevine za parkiranje motornih vozila                             | garaže s pojedinačnim bokovima  | 30 – 50   |
| Sportske i rekreacijske građevine                                   | Zatvoreni bazeni, dvorane za klizanje/tenis   | 30 – 50   |
| Proizvodne građevine, radionice (proizvodnja, obrada, skladištenje) | masivne, uobičajene   | 30 – 60   |
| Hale  | masivne   | 30 – 60   |
| Građevine za parkiranje motornih vozila                             | skupne garaže, podzemne/nadzemne garaže   | 40 – 60   |
| Domovi za starije osobe   |   | 40 – 70   |
| Zatvorene tržnice   | masivne   | 40 – 70   |
| Sportske i rekreacijske građevine                                   | gimnastičke i sportske dvorane  | 40 – 70   |
| Hoteli  |   | 40 – 80   |
| Komunalne zgrade  | vatrogasni domovi, društveni i omladinski domovi, dječji vrtići, centri za razonodu | 40 – 80   |
| Upravne i uredske zgrade  | također i zgrade banaka, osiguravajućih društava i sudova, vijećnice                | 40 – 80   |
| Robne kuće  |   | 40 – 80   |
| Bolnice, klinike, liječilišta                                       |   | 50 – 70   |
| Mješovite zgrade  | mješovito korištene stambene i poslovne zgrade s poslovnim udjelom do 80%           | 50 – 70   |
| Stambene i poslovne zgrade  | socijalna stanogradnja  | 50 – 70   |
| Jednoobiteljske i dvoobiteljske kuće                                | montažne kuće   | 60 – 80   |
| Skole   | svih vrsta  | 60 – 80   |
| Stambene i mješovite zgrade   | zgrade s pretežito najamnim stanovima i stanovima u vlasništvu                      | 60 – 80   |
| Crkve, kapele   |   | 60 – 100  |
| Obiteljske kuće   | gradnja na licu mjesta, masivna gradnja   | 70 – 100  |
| Obiteljske kuće   | reprezentativna gradnja (vile)  | 100 – 120 |
| Stambene i poslovne zgrade  | klasična urbana gradnja (u gradovima 19. st.)                                       | 100 – 120 |

Slika 2 Održivi vijek korištenja građevina [1]

Razinu oštećenja kartira se prema CEB (Europski odbor za beton) i DIN. Europski odbora za beton (CEB) The Comité européen du béton te Njemački DIN 1076 daju razine oštećenja armiranobetonskih konstrukcija oštećenih korozijom armature slijedećim tablicama:

- razina oštećenja prema CEB (*Tablica 5*):

*Tablica 5 Prikaz razine oštećenja prema CEB-u [2]*

|                             | Razine oštećenja |                         |               |                               |   |
|-----------------------------|------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------|---|
|                             | A                | B                       | C             | D                             | E   |
| Promjene u boji             | hrđa postoji     | kao u A                 | kao u A       | kao u A                       | kao u A   |
| Pukotine                    | malo uzdužnih    | Uzdužne, malo Poprečnih | Opsežne, duge | kao u C                       | kao u C   |
| Ljuštenje                   | -                | Malo                    | intenzivno    | Armatura gubi vezu sa betonom | kao u D   |
| Smanjenje presjeka armature | -                | -5%                     | -10%          | -25%                          | Popr. arm. (spone) izgubila presjek. Glavna djelomično još postoji. |
| Odlamanje                   | -                | -                       | -             | vjerojatno                    | Prisutno  |

- Kategorija oštećenja prema DIN 1076, smjernice RI-EBW-Purf 2007(*Tablica 6*):

*Tablica 6 Prikaz kategorije oštećenja [2]*

| Kategorije oštećenja |  |
|----------------------|--|
| <b>0</b>             | Nema oštećenja.<br>( <i>Površine bez nedostataka</i> )   |
| <b>I</b>             | Manja oštećenja, kao posljedica izvedbe.<br>( <i>Nedostaci u izgledu, koji ne utječu na trajnost, kao neravnine, naglašeni radni spojevi, zacurivanja, udubljenja od zaostale vode ili zraka pri betoniranju, itd.</i> ) |

|     |   |
|-----|---|
| II  | Manja oštećenja, kao posljedica eksploatacije<br>(Mrežaste pukotine < 0,1 mm, segregacije, manja izluživanja i promjene boje, hrapava površina)   |
| III | Oštećenja koja dugoročno smanjuju trajnost građevine. Potreban je popravak.<br>(Pukotine > 0,1 mm (kose, paralelne/poprečne) ili boja od hrđe, izluživanja, sige, naslage, segregacije, oštećenja radnih i dilatacijskih reški, manja mehanička oštećenja, površinsko ljuštenje betona do 5 mm.)                                    |
| IV  | Oštećenja koja u dogledno vrijeme mogu smanjiti pouzdanost građevine. Popravak je odmah potreban.<br>(Armatura bez zaštitnog sloja, odvajanje betona od armature, površinski korodirana armatura ili manje smanjenje profila armature, veća mehanička oštećenja, provlaživanja i procurivanja, površinsko ljuštenje betona > 5 mm.) |
| V   | Oštećenja koja predstavljaju veću opasnost za sigurnost građevine. Potrebna je hitna intervencija, a prema potrebi i ograničenje i obustava rada.<br>(Odlamanje većih komada betona, značajnije smanjenje profila armature ili "pitting" korozija.)   |

## 1.6 Mjere zaštite betona

Tablica 7 prikazuje načela zaštite i popravka betonskih konstrukcija u građevinama, s obzirom na to jesu li oštećenja uzrokovana oštećenjem betona ili korozijom armature. Načela označena brojevima od 1 do 6 opisuju zaštitu betona u betonskim konstrukcijama, dok načela označena brojevima od 7 do 11 opisuju zaštitu armature [3].

Tablica 7 Načela i postupci sanacije i zaštite [3]

| Redni broj | Načela i definicije  | Metode   |
|------------|--|--|
| 1          | <b>Zaštita od ulaska škodljivih tvari</b><br>Smanjenje ili sprečavanje raznih škodljivih tvari | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Impregnacija</li> <li>• Zapunjavanje pukotina</li> <li>• Pretvaranje pukotina u spojeve</li> <li>• Primjena membrana</li> <li>• Površinski premazi koji su sposobni premostiti pukotine</li> <li>• Lokalna sanacija pukotina</li> </ul> |
| 2          | <b>Kontrola vlažnosti</b><br>Održavanje vlage u betonu unutar određenih granica                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrofobna impregnacija</li> <li>• Oblozi i zakloni</li> <li>• Površinski premazi</li> </ul>  |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrokemijski postupak</li> </ul>  |
| 3  | <p><b>Obnavljanje betona</b><br/>Vraćanje betona u izvorno naveden profil i funkciju. Obnavljanje betonske strukture zamjenom dijela betona.</p>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ručno nanošenje morta</li> <li>• Popunjavanje betonom i zatvaranje oplatom</li> <li>• Prskanje morta</li> <li>• Zamjena elemenata</li> </ul>   |
| 4  | <p><b>Ojačanje konstrukcije</b><br/>Povećanje ili vraćanje nosivosti konstrukcije betonskog objekta.</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zamjena vanjskih i ubtoniranih šipki</li> <li>• Postavljanje novih šipki u već prije pripremljene rupe</li> <li>• Dodavanje novog betona</li> <li>• Zapunjavanje i injektiranje pukotina i šupljina</li> <li>• Naknadno prednapinjanje</li> <li>• Vezne ploče</li> </ul>                 |
| 5  | <p><b>Fizikalna otpornost</b><br/>Povećanje na fizikalna i mehanička svojstva</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obloge i premazi</li> <li>• Impregnacija</li> </ul>  |
| 6  | <p><b>Otpornost na kemikalije</b><br/>Povećanje otpornosti betona na oštećenja povezana s kemijskim djelovanjima</p>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obloge i premazi</li> <li>• Impregnacija</li> </ul>  |
| 7  | <p><b>Očuvanje ili obnavljanje pasivnosti</b><br/>Stvaranje kemijskih uvjeta u kojima je površina armature sačuvana ili vraćena u pasivno stanje.</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dodavanje betona i na taj način povećanje zaštitnog sloja</li> <li>• Zamjena karbonatiziranog betona</li> <li>• Elektrokemijska realkalizacija karboniziranog betona</li> <li>• Elektrokemijsko izlučivanje klorida</li> <li>• Realkalizacija karboniziranog betona difuzijom</li> </ul> |
| 8  | <p><b>Povećanje otpornosti</b><br/>Povećanje električnog otpora betona</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zaštiti površinu betona i na taj način ograničiti sadržaj vlage</li> </ul>   |
| 9  | <p><b>Katodna kontrola</b><br/>Stvaranje uvjeta u kojima potencijalno katodna područja pojačanja nisu u stanju provoditi anodne reakcije</p>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Površinskim premazom i zasićenjem ograničiti sadržaj kisika</li> </ul>   |
| 10 | <p><b>Katodna zaštita</b></p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Primjena električnog potencijala</li> </ul>  |
| 11 | <p><b>Kontrola anodnih područja</b><br/>Stvaranje uvjeta u kojima potencijalno anodna područja armature ne mogu sudjelovati u korozivskoj reakciji</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zaštitni premazi za armaturu</li> <li>• Primjena inhibitora</li> <li>• Primjena premaza armature s aktivnim pigmentima</li> </ul>  |

## 2 UZROCI OŠTEĆENJA I SUSTAVI ZA SANACIJU

Oštećenja i propadanja betonskih konstrukcija mogu biti uzrokovana različitim vanjskim i unutarnjim čimbenicima. Neki od vanjskih uzroka degradacije betonskih konstrukcija su kemijski, fizikalni ili mehanički uzroci. Kemijski uzroci povezuju su se korozijom armature gdje voda, kisik i soli mogu prodrijeti u beton i uzrokovati koroziju čelične armature. Sulfatna agresija također je jedna od vrsta kemijskih uzroka gdje sulfati iz tla ili vode mogu reagirati s hidratnim proizvodima cementa, uzrokujući ekspanziju i pucanje betona. Kao posljednji kemijski uzrok spominje se karbonatizacija, to je reakcija između ugljičnog dioksida iz zraka i hidratnih proizvoda cementa te se na taj način smanjuje pH vrijednost betona i dolazi do korozije armature.

Kada govorimo o fizikalnim uzrocima moramo spomenuti puzanje koje može uzrokovati plastične deformacije uslijed dugotrajne izloženosti stalnom opterećenju, zatim visoke temperature koje mogu uzrokovati dehidraciju cementne paste i dovesti do gubitka čvrstoće betona. Kao posljednje fizikalne uzroke potrebno je spomenuti cikluse smrzavanja i odmrzavanja vode u porama jer navedeni ciklusi mogu dovesti do pucanja i ljuštenja površinskih slojeva betona.

Posljednji vanjski uzroci oštećenja su mehanički gdje se govori o preopterećenju konstrukcije, potresima te abraziji i eroziji [12].

U nastavku navedena su neka od unutarnjih oštećenja:

1. Problemi sa cementom gdje može doći do reakcije između alkalija iz cementa i reaktivnog silikatnog agregata te to može uzrokovati ekspanziju i pucanje betona ili može biti niska kvaliteta cementa što dovodi do degradiranja betona
2. Problemi sa agregatom gdje govorimo o korištenju nekvalitetnog materijala ili materijala koji je kontaminiran štetnim tvarima
3. Problemi sa betonskom mješavinom zbog neodgovarajućeg omjera vode i cementa ili pak s druge strane zbog lošeg miješanja i ugradnje samog betona.

Proces sanacije betonskih konstrukcija vrlo je složen te zahtijeva pažljivo planiranje i izvođenja kako bi se osigurala dugotrajnost i sigurnost obnovljenih struktura. Prilikom sanacije u samom početku najvažniji su istražni radovi koji obuhvaćaju vizualni pregled konstrukcije te fotografiranje oštećenih dijelova. Nakon što se građevina vizualno pregleda moguće je odrediti točna mjesta gdje će se provoditi razorna i ne razorna ispitivanja kako bi uz pomoć istih mogli procijeniti uzroci propada i na koji način ih sanirati. U trenutku odluke hoće li se građevina sanirati moraju se detaljno procijeniti troškovi koji će biti vezani uz sanaciju te se moraju izraditi detaljni nacrti na koji način provesti sanaciju te s kojim materijalima [3].

### **2.1 Mehanizmi prolaska tvari u materijalu**

Propusnost betona i prijenos agresivnih tvari glavni su mehanizmi zbog kojih se događa kemijsko i fizikalno propadanje betona. Fizikalni procesi koji omogućuju prijenos agresivnih tvari u strukturu betona su:

- upijanje
- difuzija
- protjecanje pod pritiskom

Jedana od glavni prijenosnika agresivnih tvari je voda. Prisutnost vode odnosno vlage u porama betonske smjese može biti ključna za napredovanje više raznih procesa propadanja [6].

Koncentracija i vrsta agresivnih tvari najviše utječu na stupanj agresivnosti kemijske reakcije ali također još mogu dodatno utjecati:

- brzina protjecanja vode u kojoj se nalaze rastopljene agresivne tvari
- visina vodene površine iz razloga što se kod povlačenja vode povećava koncentracija agresivnih tvari
- trajanje djelovanja agresivnog utjecaja
- jednostrani pritisak na element koji povećava unos agresivnih tvari
- temperature koja ukoliko je povišena pospješuje kemijske reakcije

Količina vode odnosno vlage koja je prisutna u betonu ima različit utjecaj kod raznih procesa propadanja betona (*Tablica 8*). Agresivne tvari napreduju brže ukoliko ima više vlage a samim time napreduju i procesi zbog difuzije plinova (na primjer karbonatizacija). Karbonatizacija je najbrža onda kada pore nisu ispunjene vodom

iz razloga što je tada dostupnost plina iz okoline najbrža, a uz to ima i dovoljno vlage koja pomaže pri napredovanju kemijske reakcije [6].

*Tablica 8 Utjecaj vlažnosti na brzinu različitih procesa propadanja betona [6]*

| Vlažnost zraka | Karbonatizacija | Korozija čelika u betonu |                  | Smrzavanje | Kemijska agresija |
|----------------|-----------------|--------------------------|------------------|------------|-------------------|
|                |                 | Karbonatiziranom         | Zasićenom sa Cl- |            |                   |
| < 45 %         | 1               | 0                        | 0                | 0          | 0                 |
| 45-65 %        | 3               | 1                        | 1                | 0          | 0                 |
| 65-85 %        | 2               | 3                        | 3                | 0          | 0                 |
| 85-95 %        | 1               | 2                        | 3                | 2          | 1                 |
| > 95 %         | 0               | 1                        | 1                | 3          | 3                 |

### 2.1.1 Difuzija

Proces difuzije se opisuje fickovim zakonima a govori o kretanju tvari. Kretanje tvari događa se zbog kemijskog, vlažnosnog ili temperaturnog potencijala. Drugim Fickovim zakonom opisuje se promjena koncentracije tvari (C) po presjeku betona u određenom vremenskom intervalu [6].

Drugi Fickov zakon glasi:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

gdje su:

$\frac{\partial C}{\partial t}$  → promjena koncentracije tvari tijekom vremena

$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$  → promjena koncentracije tvari po presjeku

D → koeficijent difuzije (m<sup>2</sup>/s)

Jedan od primjera kretanja tvari kroz beton po zakon difuzije jest difuzija iona klora i karbonatizacija radi slobodnog CO<sub>2</sub> u zraku. Najčešće se pojavljuju kombinirani utjecaji jer imamo različite koncentracije vlage, otopina i različite temperature.



### 2.1.2 Upijanje (apsorpcija)

Količina upijanja vode u vremenu proporcionalna je koeficijentu kapilarnog upijanja i kapilarnoj poroznosti. Koeficijent kapilarnog upijanja određuje se ispitivanjem kapilarne vodupojnsoti a izražava se u  $\text{kg/m}^2\text{s}^{0.5}$  [6].

Izraz za izračun kapilarnog upijanja vode glasi:

$$q_a = \frac{A}{2} * \frac{1}{\sqrt{t}} \quad (2)$$

gdje su:

$q_a$  → količina upijanja vode

$t$  → vrijeme

$A$  → koeficijent kapilarnog upijanja

Brzina kapilarnog upijanja najviše ovisi o pornoj strukturi betona i naravno o površinoj napetosti vode.

Jedan od primjera apsorpcije jest slučaj kada opeka apsorbira vodu iz okoline koja može doći s kišom ili kapilarnim podizanjem iz temelja. Voda se apsorbira u pore opeke što s vremenom može dovesti do zasićenja materijala.

### 2.1.3 Protjecanje pod vanjskim pritiskom

Prijenos tvari strukturu betona uslijed protjecanje pod vanjskim pritiskom opisuje se Darcyjevim zakonom koji glasi [6]:

$$\frac{dq}{dt} = k * \frac{h * A}{L} \quad (3)$$

gdje su:

$q$  → količina protoka

$k$  → koeficijent propusnosti koji se ovisan o udjelu pora odnosno omjeru  $v/c$  i stupnju hidratacije

$h$  → promjena pritiska na dužini  $L$

$A$  → površina protočnog presjeka

$L$  → dužina protoka

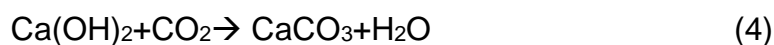
Protjecanje pod pritiskom najčešće se može vidjeti kod podzemnih betonskih struktura koje su u kontaktu s podzemnom vodom. U tom slučaju hidrostatski pritisak može uzrokovati prodor vode kroz beton te on može varirati ovisno o dubini podzemne vode i geološkim uvjetima.

## 2.2 Karbonatizacija

Karbonatizacija je pojava u kojoj nastaje slabo topivi karbonat na način da kalcijev hidroksid koji je sastavni dio cementnog kamena reagira sa slobodnim ugljikovim dioksidom iz zraka. U nezagađenoj atmosferi, sadržaj CO<sub>2</sub> je oko 0,03% dok u gradovima i na autocestama može doseći 0,3%. Zbog karbonatizacije opada sposobnost zaštite ugrađene armature od korozije i to iz razloga što se smanjuje alkalnost betona (pH<10).

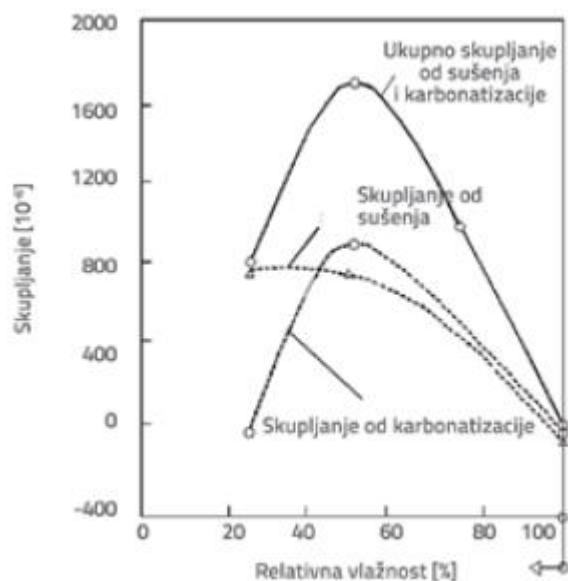
Kalcijev karbonat je slabo topivi i čvrsti spoj koji ima manji volumen te iz tog razloga izaziva skupljanje cementnog kamena i uz to smanjuje pH vrijednost. Beton koji je karbonatiziran u pravilu ima pH vrijednost oko 9. Zbog karbonatizacije se pH vrijednost može još dodatno smanjiti (pH<7) te tada u prirodno vlažnom staništu nastaje kalcijev bikarbonat koji je lako topiv i koji se kasnije može ponovno vezati sa cementnim kamenom te na taj način omogućava zapunjavanje pukotina. Time karbonatizacija smanjuje poroznost i propusnost betona te zapravo ne čini direktnu štetu betonu nego može imati i pozitivne učinke kao prethodno navedeni, ali s druge strane ukoliko karbonatizirani sloj dopre do ugrađene armature u armiranobetonskom elementu tada je zaštita armature narušena i u većini slučajeva dolazi do korozije armature [3].

Skupljanje zbog karbonatizacije događa se u očvrslom betonu. Reakcije se odvijaju između CO<sub>2</sub> (ugljkova dioksida) iz okoline i cementnog kamena. Kada CO<sub>2</sub> reagira s vodom, stvara se ugljična kiselina koja potom reagira s kalcijevim hidroksidom (Ca(OH)<sub>2</sub>) u cementnom kamenu, formirajući kalcijev karbonat (CaCO<sub>3</sub>). Ova reakcija dovodi do razgradnje drugih spojeva u cementnom kamenu, uz oslobađanje vode. Reakcija koja prikazuje nastajanje kalcijeva karbonata CaCO<sub>3</sub> napisana je u nastavku :



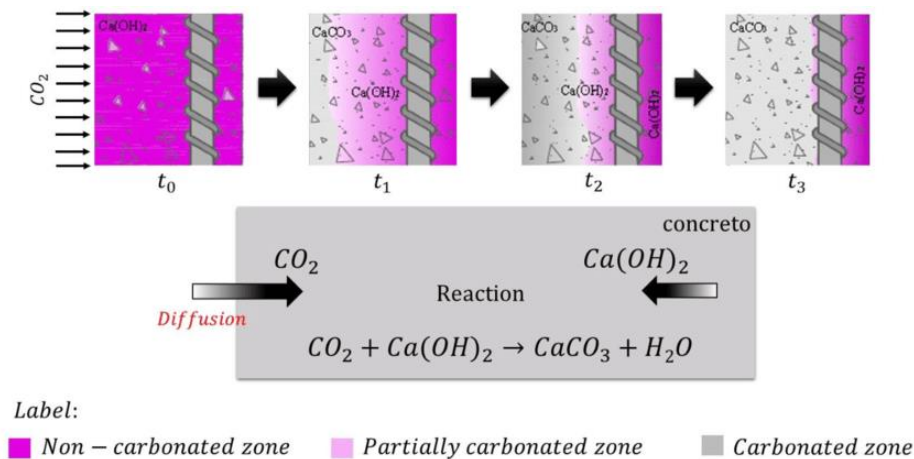
Brzina karbonatizacije ovisi o strukturi pora i njihovoj ispunjenosti vodom (Slika 3). Napredovanje karbonatizacije najsporije je kada su pore ispunjene vodom. Ako nema vode u porama, ne dolazi do formiranja ugljične kiseline i reakcije s kristalima vapna. Dakle, optimalni uvjeti za karbonatizaciju su u djelomično vlažnom betonu. Osim skupljanja, karbonatizacije cementnog kamena može rezultirati i povećanjem

čvrstoće. To se događa jer se kristali vapna zamjenjuju čvršćim kalcijevim karbonatom, što popunjava strukturu, dok oslobađanje vode može ubrzati proces hidratacije. Karbonatizacija posebno povećava čvrstoću betona, čineći tanki površinski sloj betonske kore znatno tvrdim i čvršćim. Beton koji sadrži dodatak zgre može dobiti praškasti sloj na površini uslijed karbonatizacije [4].



Slika 3 Skupljanje cementnog morta uslijed sušenja i karbonatizacije pri različitim vlažnostima [3]

Ispitivanje karbonatizacije provodi se kemikalijom fenolftaleinom. Fenolftalein je kemijski spoj sa formulom  $C_{20}H_{14}O_4$  te se često označava s „pHph“. Njegovom primjenom vizualno se uočava promjena u materijalu u odnosu na vrijeme (Slika 4) na način da fenolftalein mijenja boju u odnosu na sredinu. Ako je sredina kisela, ne mijenja boju (ostaje bezbojan), a ako je sredina bazna (lužnata, alkalna), mijenja boju u ljubičastu [3].



Slika 4 Objašnjenje kemijske reakcije u odnosu na vrijeme [13]

### 2.3 Kloridna korozija

Armiranobetonske konstrukcije izložene su tijekom svog vijeka uporabe različitim opterećenjima iz okoliša. Među njima kloridi predstavljaju jedan od najizazovnijih i najagresivnijih faktora. Kloridi imaju višestruk utjecaj na svojstva konstrukcije, no najvažnije je istaknuti da potiču koroziju armature i degradaciju armiranog betona. Posebno su izložene koroziji uzrokovanoj kloridima armiranobetonske konstrukcije u morskom okruženju i konstrukcije koje su izložene soli za odmrzavanje tijekom zimskih mjeseci [3].

Prisutnost klorida u betonu može biti od samog početka, već prilikom pripreme betonske smjese.

Neki od uzročnika su:

- agregat kontaminiran klornim ionima
- morska voda
- otpadne vode
- dodaci mješavini koji sadrže kloride

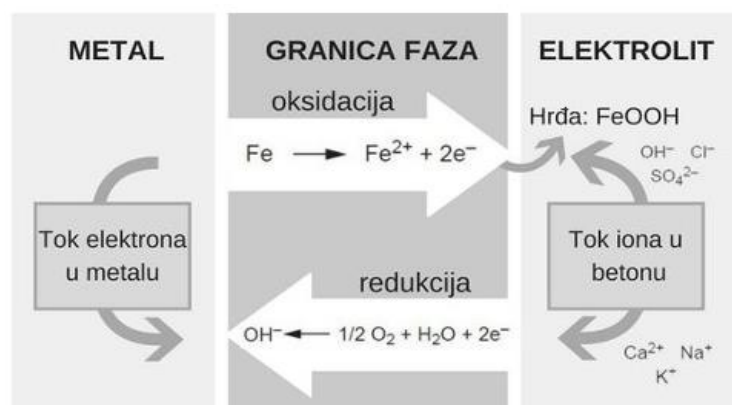
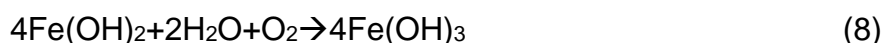
Iako se danas početni udio klorida u betonu obično smatra vrlo niskim, gotovo zanemarivim, važno je imati na umu da prisutnost klorida u betonu može biti problematična jer može potaknuti brzu koroziju ako dođe do prodora novih klorida iz okoline. Stoga je bitno obratiti pažnju na utjecaj klorida iz okoline, koji mogu potjecati od mora, soli za odmrzavanje i raznih kemikalija [3].

Vrlo je izazovan zadatak odrediti dopuštenu minimalnu količinu klorida u betonu ispod koje je rizik od korozije armature zanemariv, a koja bi bila primjenjiva za sve

komponente betona, u svim uvjetima izloženosti, te koja bi se mogla mjeriti standardiziranim ispitivanjima. Ukupna količina kloridnih iona u betonu sastoji se od vezanih i slobodnih kloridnih iona, čiji se zbroj koristi za izračun ukupnog sadržaja klorida, a može se izraziti u odnosu na masu cementa u betonu ili ukupnu masu betona. U procesu korozije sudjeluju samo slobodni ioni klora koji su otopljeni u prirodnoj vodi. Obično se standardiziranim metodama mjeri ukupna količina klorida u betonu. Treba napomenuti da mjerenjem ukupne količine klorida ostajemo na strani sigurnosti jer je količina slobodnih klorida obično manja od ukupne količine [1].

Korozija u betonu može započeti kada se premaši određena kritična vrijednost odnosa koncentracije  $\text{Cl}^-$  i  $\text{OH}^-$  iona.  $\text{OH}^-$  ioni igraju važnu ulogu u stvaranju i obnavljanju pasivnog filma, dok ioni klora  $\text{Cl}^-$  uništavaju taj film. Prisutnost iona klora rezultira formiranjem željeznog klorida, koji se, reagirajući s vodom i kisikom, pretvara u željezni hidroksid, slobodni vodik i klor. To dovodi do oštećenja pasivnog filma i stvaranja struje između anodnih i katodnih područja armature, što pokreće proces točkaste korozije.

Objašnjenje kemijske reakcije (Slika 5):



Slika 5 Objašnjenje kemijske reakcije kojom dolazi do korozije armature [1]

Depasivizacija površine čelika nastaje kada koncentracija klorida na razini armature dosegne vrijednost koju nazivamo kritičnom koncentracijom klorida. Kritična koncentracija klorida nije ista za sve vrste betona ili uvjete okoline, već ovisi o različitim parametrima, pri čemu je sastav porne otopine ključan faktor.

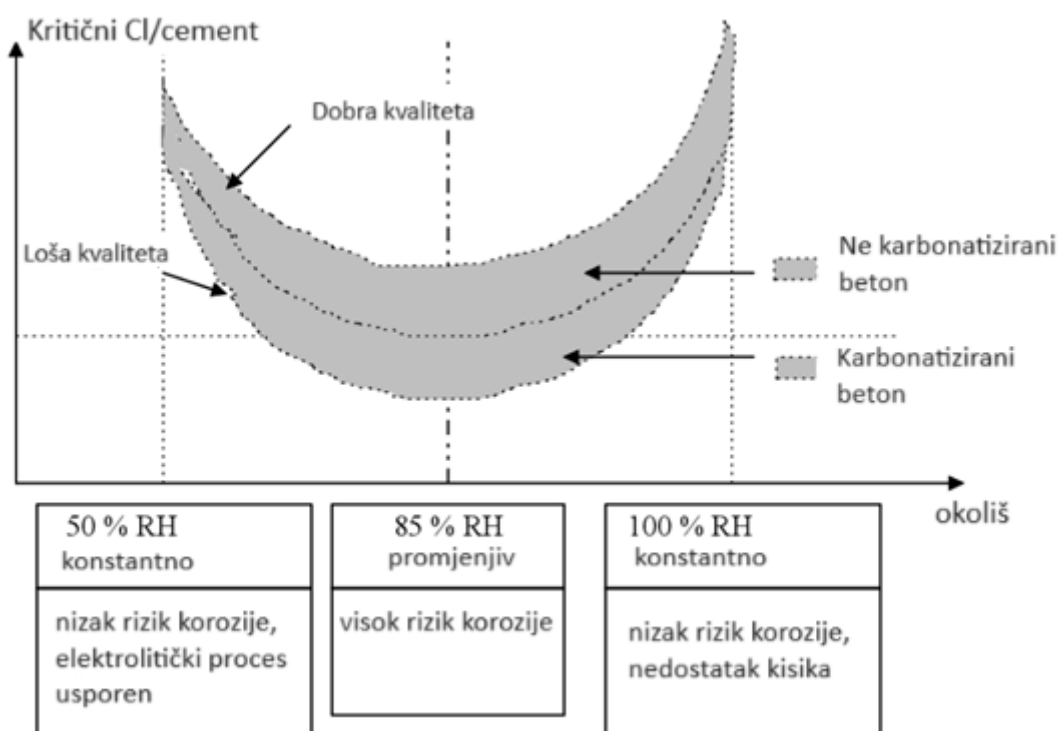
Kritična koncentracija klorida je važan parametar za procjenu životnog vijeka armiranobetonskih konstrukcija koje su osjetljive na kloride, kao i za popravak konstrukcija gdje su kloridi prodrli u zaštitni sloj betona, ali gdje korozija armature još nije započela. Različita sposobnost vezanja molekula utječe na dopuštenu koncentraciju klorida, koja ovisi o načinu miješanja betona, propusnosti zaštitnog sloja betona, stupnju karbonatizacije, prisutnosti kisika i vlažnosti betona. Ti parametri utječu na koncentraciju slobodnih iona klorida, potencijal armature i električni otpor betonskog zaštitnog sloja [1].

Betoni s većim omjerom vode i cementa imaju veći koeficijent difuzije, što znači da veća količina klorida može prodirati u strukturu betona u usporedbi s betonima koji su kompaktniji ili sadrže dodatke poput zgure ili silicijske prašine.

Korozija uzrokovana kloridnim ionima može se podijeliti u četiri skupine:

1. oštećenje pasivnog sloja armature
2. pucanje betona
3. odvajanje betona
4. ljuštenje zaštitnog sloja.

Iz laboratorijskih ispitivanja na čeliku uronjenom u otopinu poznate pH vrijednosti, utvrđeno je da je prekid pasivnog sloja kontroliran koncentracijom slobodnih kloridnih iona u odnosu na koncentraciju hidroksilnih iona, te je utvrđena vrijednost praga  $Cl^-/OH^-=0,6$ . Ovaj omjer ovisi o vrsti cementa i udjelu cementa koji se koristi za proizvodnju betona (Slika 6) [1].



Slika 6 Utjecaj kvalitete betona i okoliša na kritičnu koncentraciju klorida [1]

U slučaju karbonatiziranog betona, kritična koncentracija klorida postiže se čak i s vrlo malim koncentracijama ukupnih klorida.

#### 2.4 Strukturno oštećenje- pukotine

Važnost analize pukotina je ključna u identificiranju i rješavanju njihovih uzroka kako bi se smanjio rizik od njihovog nastanka. Pukotine omogućuju brži ulaz agresivnih tvari i postaju mjesta gdje se mogu početi drugi oblici oštećenja. Pukotine se mogu klasificirati prema vremenu pojave, uzroku i lokaciji nastanka.

Neke od tih pukotina su:

- plastične pukotine uslijed slijeganja preko armature
- konstrukcijske posmične pukotine
- loše izveden spoj
- mrežaste pukotine zbog oplata
- plastične pukotine uslijed slijeganja na promjeni debljine poprečnog presjeka
- konstrukcijske pukotine uslijed tlaka i savijanja
- pukotine nastale uslijed korozije armature uzrokovane kalcijevim kloridima

Podaci o vremenu nastanka pukotina, izgledu, dubini i širini pukotine na površini betonskog elementa od ključne su važnosti u otkrivanju uzroka njihova nastanka. Jesu li pukotine plitke, široke samo na površini ili iste širine po cijelom presjeku betonskog elementa također su bitni faktori u analizi [1].

Glavni uzročnici nastanka pukotina su:

- Izdvajanje vode i slijeganje nakon zbijanja, naglo rano sušenje
- Temperaturni gradijent, naglo hlađenje
- Slaba njega, pogrešne dilatacije i radne reške
- Previše morta, tekući beton, slabo njegovanje

Prema uzročnicima nastanka pukotina možemo i klasificirati pukotine te navesti vrijeme i mjesto pojave te kako bi ih mogli spriječiti (*Tablica 9*)

*Tablica 9 Klasifikacija pukotina [1]*

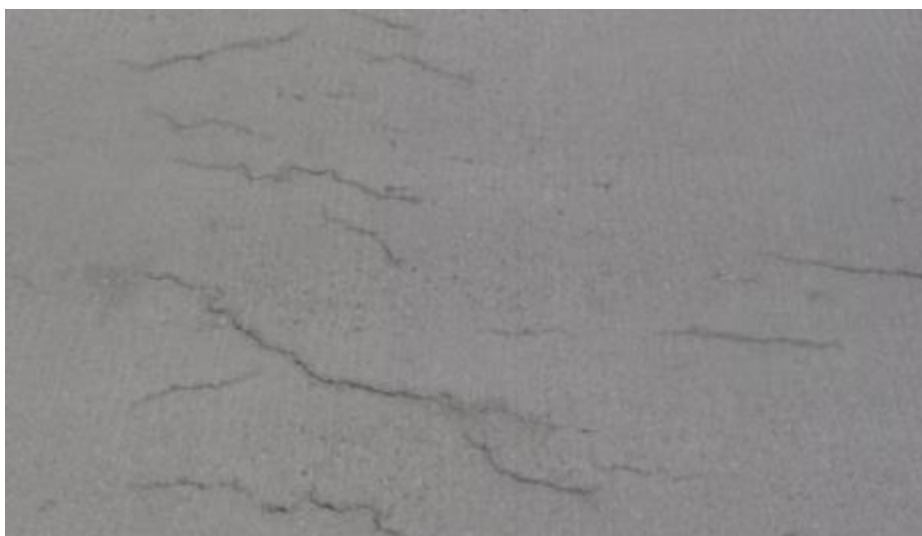
| Tip pukotine                     | Vrijeme i mjesto pojave poslije betoniranja  | Uzrok   | Sprečavanje  |
|----------------------------------|--|---|--|
| Plastične pukotina               | 10 min do 3 sata iznad armature, na rubu nosača, na mjestu promjene poprečnog presjeka | Izdvajanje vode i slijeganje nakon zbijanja, naglo rano sušenje | Aeranti, sitni pijesak, zadržavanje vode, vibriranje                   |
| Rane temperaturne promjene       | 1 dan do 2 tjedna, vanjska ili unutarnja ograničenja na debelim betonskim elementima   | Temperaturni gradijent, naglo hlađenje                          | Izolirati od brze disipacije topline, niska početna temperatura betona |
| Dugotrajno skupljanje od sušenja | Više tjedana ili mjeseci, u srednjoj trećini raspona, tanje ploče i zidovi             | Slaba njega, pogrešne dilatacije i radne reške                  | Bolja njega, smanjiti količinu vode                                    |
| Slučajne                         | 1-7 dana, zidovi i ploče uz oplatu   | Previše morta, tekući beton, slabo njegovanje                   | Bolja njega, popraviti sastav betona i završnu obradu                  |

Neke od karakterističnih pukotina u betonu su:

1. Plastične pukotine (*Slika 7*) koje nastaju prije samog očvršćavanja betona iz razloga što dolazi do izdvajanja vode, slijeganja nakon zbijanja i loše njege betona te ukoliko dođe do naglog sušenja betona. Ove pukotine najčešće se

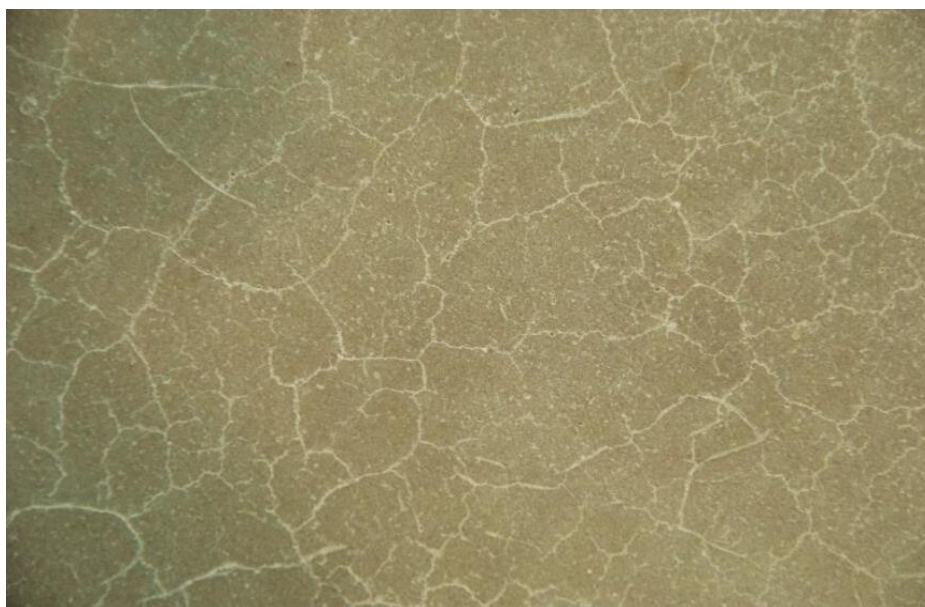


pojavljuju iznad armature koja se nalazi u betonu, na rubu nosača ten a mjestima gdje dolazi do promjena dimenzija [1].



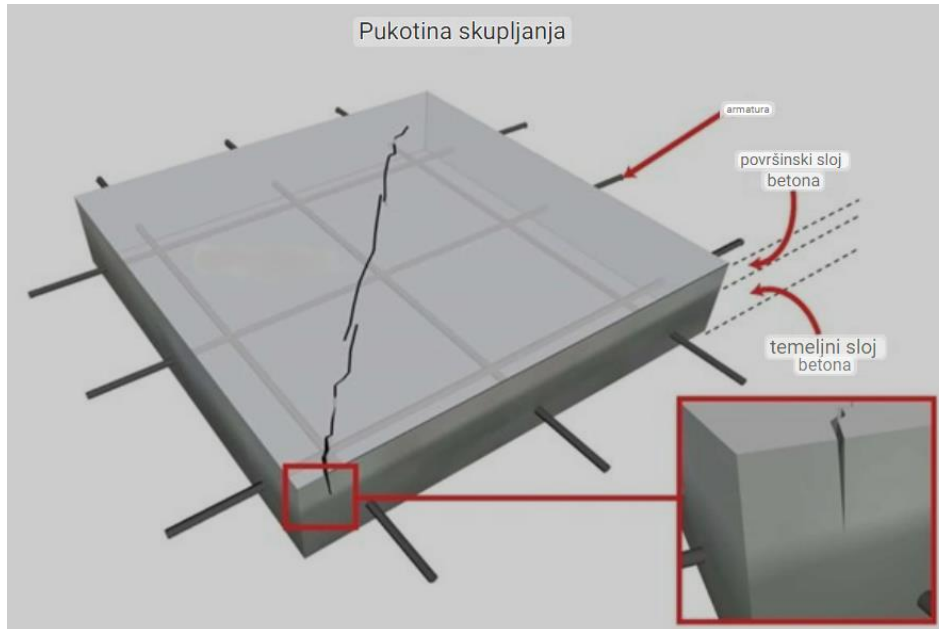
Slika 7 Plastične pukotine [14]

2. Mrežaste pukotine (Slika 8) najčešće se pojavljuju iz istih razloga kao i prije navedenih plastičnih pukotina. Razlika između mrežastih i plastičnih pukotina je u tome što su mrežaste pukotine uglavnom manje širine nego plastične [1].



Slika 8 Mrežaste pukotine [14]

3. Pukotine uslijed temperaturnih promjena ili dugotrajnog skupljanja (Slika 9) su pukotine koje su uzrokovane vlačnim napreznjima koja nam se javljaju iz razloga što postoji otpor pomacima koji se događaju uslijed temperature ili skupljanja ili pak zbog pogrešnih dilatacija i radnih reški [1].



Slika 9 Pukotine uslijed temperaturnih promjena ili dugotrajnog skupljanja [14]

4. Konstrukcijske pukotine (Slika 10) pojavljuju se u betonima u slučajevima kada su vlačna napreznja u betonu veća od vlačne čvrstoće betona. Pukotine se mogu pojavljivati iz više razloga a neki od njih su: savijanje, vlak, torzija, koncentrirane sile, puzanje ili diferencijalna slijeganja [1].



Slika 10 Konstrukcijske pukotine [14]

5. Pukotine uslijed korozije armature (Slika 11) događaju se u betonu u slučaju gdje voda ili druge tvari prodiru do armature u betonu te ista počinje hrđati. U trenutku kada armatura počinje hrđati njezin volumen počne se povećavati te zbog toga dolazi do pucanja betona [1].



Slika 11 Pukotine uslijed korozije armature [14]

## 2.5 Segregacija-oštećenja uslijed loše kvalitete betona

Segregacija betona (Slika 12) predstavlja značajnu brigu u građevinskoj industriji jer može oslabiti beton, uzrokuje pukotine i smanjuje nosivost betona.

Segregacija betona odnosi se na razdvajanje sastavnih materijala u svježe izmiješanom betonu. To se događa kada se teži agregat segregira na dno zbog gravitacije, od lakše smjese cementa i vode koje ostaju na vrhu. Ona može nastati kada betonska smjesa nije pravilno izmiješana ili ukoliko je omjer vode i cementa veći od projektiranog [5].



Slika 12 Segregacija betona [14]

U betonu se mogu pojaviti dva tipa segregacije:

- 1) Segregacija zbog razdvajanja agregata – pojavljuje se ukoliko se teži agregat u betonskoj smjesi spusti i odvoji od smjese cementa i vode, što uzrokuje da smjesa postane neujednačena. Razdvajanje može nastati tijekom prijevoza ili lijevanja betona.
- 2) Segregacija zbog razdvajanje cimente paste – ovakav tip segregacije pojavljuje se u slučaju kada se voda i cement odvoje zbog neujednačene distribucije smjese. To može biti uzrokovano korištenjem neodgovarajućih miksera, nedovoljnim vremenom miješanja ili nepravilnim omjerom vode i cementa.

Kada govorimo o segregaciji možemo također promatrati više uzroka i faktora koji utječu na segregaciju betona od kojih su neki od njih: neujednačena proporcija sastojaka betona, nedovoljno miješanje betona, rukovanje betonskom smjesom, ugradnja betona i vibracija istog [5].

Segregacija u betonu može imati nekoliko posljedica, uključujući:

- stvaranje pukotina u betonu koje značajno mogu smanjiti trajnost i vijek trajanja konstrukcije. One mogu nastati zbog neujednačenog prijenosa agregata te rezultiraju slabijom i manje stabilnom konstrukcijom
- povećana osjetljivost na curenje, koroziju i karbonatizaciju a događa se iz razloga što ukoliko se betonska smjesa segregira, može doći do stvaranja praznina, što može povećati propusnost betona. To može učiniti beton osjetljivijim na prodor vode, što može dovesti do korozije armature i karbonatizacije cementa.
- smanjena čvrstoća betona koju rezultiraju slabija područja u betonu koja se pojavljuju uslijed segregacije. Područja na kojima su se agregati smjestili mogu imati veću koncentraciju cementa i vode, što dovodi do toga da imamo slabiju betonsku smjesu. Također rezultat toga je i smanjena nosivost konstrukcije.

## **2.6 Mjerne metode za kontrolu i osiguranje kvalitete postojećih konstrukcija**

Kako bi se procijenilo stanje konstrukcije mogu se koristiti razorne i nerazorne metode ispitivanja. Svaku od metoda moguće je provesti ili na lokaciji građevine ili u laboratoriju [3].

Moguće je ispitivati različita svojstva elemenata konstrukcije primjenom odgovarajućih ispitnih metoda, kao što su :

- promjenu poprečnog presjeka i uzdužne geometrije od preopterećenja i od procesa dotrajavana možemo provjeriti laserom, ultrazvučnim uređajima, kliznim mjerilima i elektroničnim mjerila
- cjelovitost konstrukcije uporabom ispitivanja udarnim odzvanjanjem
- čvrstoća materijala određuje se pomoću vlačnih i tlačnih ispitivanja na uzorcima, metodom sklerometra, ispitivanja izvlačenjem, čupanjem, kidanjem ili cijepanjem

- svojstva koja utječu na vlastitu težinu ili dodatno stalno opterećenje
- svojstva povezana sa položajem konstrukcije i vijeka trajanja određuju se ispitivanjem pH, drugim kemijskim ispitivanjima, analizom sadržaja klorida na uzorcima
- svojstva uporabljivosti (širina pukotina)

Terenska ispitivanja koja se provode na samoj konstrukciji mogu se podijeliti u više skupina [1]:

- 1) Ispitivanje fizikalno-mehaničkih svojstava betona gdje se govori o tlačnoj i vlačnoj čvrstoći betona.
  - Tlačna čvrstoća betona ispituje se prema normama HRN EN 12504-2:2001 Ispitivanje betona na konstrukcijama-2. dio :Nerazorno ispitivanje- određivanje indeksa sklerometra i HRN EN 12504-4: 2004 Ispitivanje betona u konstrukcijama- 4.dio : Nerazorno ispitivanje – Određivanje brzine ultrazvučnog impulsa.  
Ispitivanje sklerometrom provodi se na betonskim elementima koji moraju biti debljine najmanje 100mm i moraju biti dio konstrukcije (izbjegavati područja koja imaju šupljine, ljuštenje i visoku poroznost). Uređaj se sastoji od čeličnog čekića kojeg pokreće opruga te kada se opruga otpusti čekić udari u ticalo koje je u dodiru sa betonskom površinom. Nakon toga mjerimo odskoko utega koji se nalazi u sklerometru te se na temelju srednje vrijednosti indeksa iz baždarene krivulje odredi tlačna čvrstoća.
  - vlačna čvrstoća prionjivosti isputje se pull off testom (ispitivanje kidanjem) prema normi HRN EN 1542: 2001 Proizvodi i sustvai za zaštitu i popravak betonskih konstrukcija – Metode ispitivanja – Mjerenje čvrstoće prionjivosti pull-off metodom. Navedena metoda provodi se na način da se nalijepe pločice na očišćenu i pripremljenu betonsku podlogu ( sredstvo koje se koristi za ljepljenje je eposki smola koja se mora nanositi jednakim slojem na pločicu) te se zatim uređaj pričvrsti za pločicu i nanosimo vlačnu silu. Sila se nanosi isključivo okomito na površinu ispitivanog elementa da se izbjegne savijanje i posmik.



- 2) Određivanje položaja, rasporeda i sastava šipki armature u betonu. Ispitivanje se provodi uređajem koji se naziva tragač armature. Uređaj radi na principu da mjeri promjenu elektromagnetskog polja uzrokovanog čeličnim šipkama koje su ugrađene u beton. Svojstva koje tragač armature može ispitivati su određivanje lokacije čelične šipke, izmjera promjera šipke i određivanje zaštitnog sloja.
- 3) Određivanje vjerojatnosti korozije armature u betonu provodi se pomoću uređaja koji određuje elektropotencijale, korozijsku struju i električni otpor betona u konstrukciji
- 4) Terensko utvrđivanje kemijskog sastava betona (kontaminacija ionima klora, dubina karbonatizacije) provodi se prema normi HRN EN 14630:2007 Proizvodi i sustavi za zaštitu i popravak betonskih konstrukcija – Ispitne metode – Određivanje dubine karbonatizacije u očvrslome betonu fenolftaleinskom metodom.
- 5) Određivanje homogenosti strukture betona ( pronalaženje šupljina, diskontinuiteta, položaj i sastav slojeva, položaj armature i dr.) uz pomoć dvije metode:
  - GPR( Ground Penetrating Radar)
  - impact echo metoda

Tijekom provedbe istražnih radova na lokaciji građevine najčešće se pronadu greške na konstrukciji koje su se dogodile prilikom izvedbe ,a koje značajno utječu na životni vijek građevine. Razorna moć degradacijskih procesa izrazito je vidljiva na mjestima gdje je došlo do pogreške u procesu projektiranja ili izvedbe konstrukcije [1].

## **2.7 Proizvodi i sustavi za zaštitu i sanaciju ab konstrukcija**

### *2.7.1 Inhibitori korozije*

Inhibitori korozije mogu biti organskog ili anorganskog podrijetla. To su tvari koje ukoliko ih dodamo u vrlo malim količinama smanjuju brzinu djelovanja korozije na

armaturi do tehnološki prihvatljivih vrijednosti. Mogu se podijeliti u dvije skupine ovisno o tome sprječavaju li ionizaciju metala ili redukciju oksidansa. Ukoliko inhibitori sprječavaju ionizaciju metala onda se svrstavaju u anodne inhibitore, a ako je u pitanju sprječavanje redukcije oksidansa onda spadaju u katodne inhibitore. Postoje i oni inhibitori koji mogu spriječiti obje navedene reakcije [7].

Inhibitori mogu biti uspješni u većoj ili manjoj mjeri a ta uspješnost izražava se faktorom usporenja  $f_u$  koji se definira kao:

$$f_u = \frac{(v_{kor})_{ni}}{(v_{kor})_i} \quad (10)$$

gdje je:

$$n_i = \frac{(v_{kor})_{ni} - (v_{kor})_i}{(v_{kor})_{ni}} * 100\% \quad (11)$$

$(v_{kor})_{ni} \rightarrow$  brzina korozije u neinhibiranom mediju

$(v_{kor})_i \rightarrow$  brzina korozije u inhibiranom mediju

Inhibitori su vrlo skupi te je iz ekonomski razloga vrlo bitno da oni počnu djelovati u vrlo malim količinama te se obično traži da  $n_i$  bude između 80-98% kako bi inhibitor mogao usporiti proces korozije između 5 i 50 puta.

Kakao znamo da imamo više vrsta inhibitora tako nam mora biti i jasno kako djelovanje inhibitora ovisi o više čimbenika [7].

Neki od njih su:

- vrsta metala
- sastav i koncentracija elektrolita
- pH vrijednost
- temperatura
- vrsta inhibitora



### 2.7.2 Premazi

Premazi se koriste za zaštitu betona od različitih agresivnih utjecaja.

Neke od prednosti su:

- Velika kemijska postojanost
- Mogućnost nanošenja na površine različitih oblika
- Velik izbor boja
- Jednostavno obnavljanje

Jedini nedostatak je to što imaju vrlo kratki vijek trajanja. Postavlja se kontinuirani sloj na površini betona koji u potpunosti štiti beton. Može se nanositi u jednom ili više slojeva te trajnost ovisi o debljini i sastavu premaza. Najčešće debljine premaza su 0,1 do 5mm. Ukoliko imamo preveliku debljinu premaza može se uzrokovati znatna naprezanja uslijed skupljanja, te se smanjuje adhezija između slojeva i čvrstoća premaza. Vrlo je važno postići optimalnu debljinu kako bi premaz na najbolji način mogao štititi beton od agresivnih tvari iz okoliša.

Neki od zahtjeva koje premazi moraju zadovoljavati su:

- Otpornost na djelovanje slabih alkalija
- Elastičnost premaza tako da prati deformacije konstrukcije
- Gustoća i čvrstoća u agresivnim sredinama
- Čvrstoća premaza vrlo važna kod konstrukcija izloženih mehaničkim djelovanjima

Vrste premaza ovise o svojstvima veziva koja mogu biti:

- 1) Organski polimeri
- 2) Organski polimeri s cementom kao punilom
- 3) Hidraulički cement poboljšan polimernom disperzijom

## **2.8 Odabir odgovarajućih materijala za sanaciju i zaštitu ab konstrukcija**

Kako bi se moglo odabrati ispravno rješenje za popravak konstrukcije moraju se dati jasne informacije o stanju konstrukcije i mogućnosti za popravak nedostataka. Konačnu odluku o odabiru rješenja sanacije građevine donosi vlasnik iste ali on svakako mora biti upoznat sa sljedećim informacijama[1]:

- ocjena stanja konstrukcije
- analizu osnovnih zahtjeva konstrukcije
- rangiranje prioriteta
- detaljnu analizu odgovarajućih principa popravka
- listu metoda popravka koje zadovoljavaju najvažnije kriterije
- konačan odabir metoda popravaka

Nakon ocijene stanja konstrukcije i odluke o njenom popravku, potrebno je odabrati adekvatno rješenje popravka ili kombinaciju metoda između svih mogućih metoda koje se smatraju korisnim i odgovarajućim (Slika 13).

Neka od načela koja se odnose na nedostatke u betonu su:

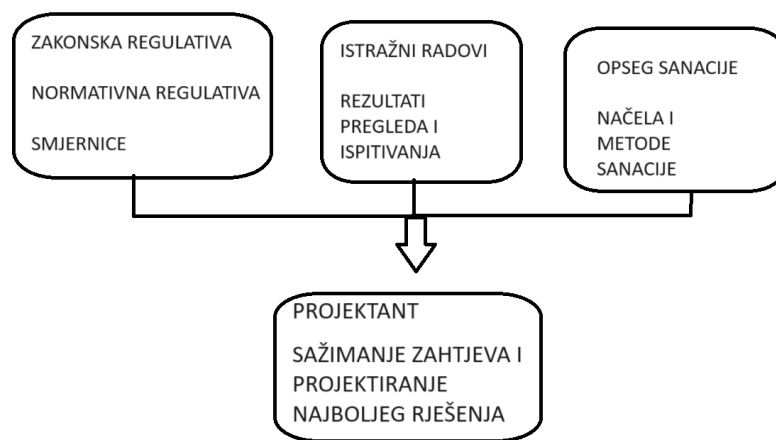
- zaštita od unosa → sprječavanje unosa štetnih tvari
- kontrola vlage → paziti na sadržaj vlage u betonu
- restauracija betona → restauracija postojećih betonskih elemenata
- ojačanje konstrukcije → povećati nosivosti betonskih elemenata ovisno o opterećenju
- fizikalna otpornost → povećanje otpornosti na mehanička i fizikalna svojstva
- otpornost na kemikalije → zaštititi površinu betonu kako nebi došlo do pogoršanja svojstava

Metode koje se mogu povezati sa načelima i pomažu nam pri sanaciji armiranobetonskih konstrukcija su impregnacije, premazi mortovi, ispunjavanje pukotina i dr. Također štetu na konstrukcijama donosi nam i korozija armature koja je povezana sa fizičkim gubitkom zaštitnog sloja betona i kemijskim gubitkom zaštitnog sloja betona koji zbog dodira s ugljičnim dioksidom iz zraka gubi lužnatost. Kao i beton i armatura tj. korozija armature posjeduje načela i metode, a neke od njih su [1]:

- očuvanje ili restauracija pasivnosti gdje govorimo o vraćanju armature u pasivne uvjete, a to se može postići povećanjem zaštitnog sloja, zamjenom karbonatiziranog betona i dr.
- povećanje električnog otpora betona koje se postiže ograničavanjem sadržaja vlage premazima

- katodna kontrola koja stvara uvjete u kojima armature ne može postići anodnu reakciju, na način da se ograniči sadržaj kisika
- katodna zaštita
- kontrola anodnih područja koja stvara uvjete u kojima armatura ne može postići anodnu reakciju, štiti se premazima ili dodacima za usporenje korozije u betonu

## PRAVILAN ODABIR MATERIJALA



Slika 13 Pravilan odabir za sanaciju i zaštitu AB konstrukcija [13]

### **3 PRIKAZ PROPADANJA, OCJENE STANJA I SANACIJE BETONSKE KONSTRUKCIJE NA PRIMJERU HOTELA PANORAMA**

#### **3.1 Opći podaci o građevini**

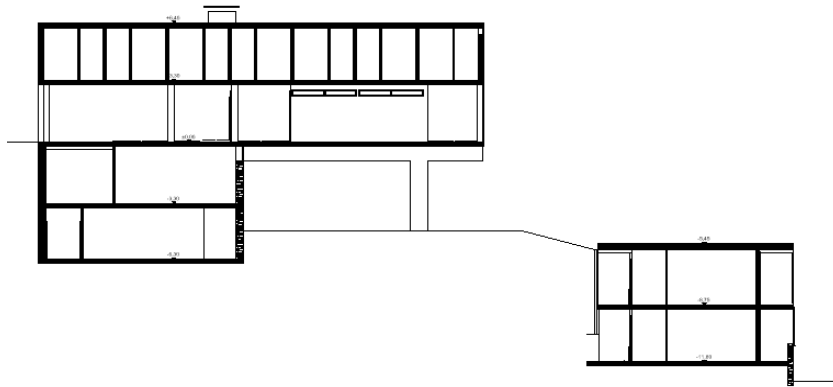
Postojeća građevina sagrađena je 1965. godine, a projektirana je od strane arhitekta Ivana Vitića koji je dobio i nagradu za ovo arhitektonsko rješenje te iste godine. Hotel je izgrađen za potrebe poljoprivredno-industrijskog kombinata „Sljeme“ koje je po uzoru na slične objekte prehrambenih kompanija duž talijanske autoceste ,odlučio podići vlastiti lanac motela uz jadransku obalu koji su turistima na putovanju služili za prenoćište i okrepu. To je i prva građevina koja je dobila status pojedinačnog zaštićenog kulturnog dobra, a izgrađena je nakon drugog svjetskog rata. U svojoj povijesti hotel je bio i savezni centar za obrazovanje kuhara i konobara u svrhu unapređenja ugostiteljstva. Sastoji se od osnovnog objekta i južnog objekta depadansa (Slika 14). Osnovni objekt sastoji se od centralnog dijela, suterenskih etaža i zapadnih soba. Visine je 4 etaže i to 2 nadzemne prizemlje i kat te 2 suterenske etaža -1 i -2. Etaže prizemlje i 1 kat kao zasebni volumen i dućan kao prizemni zasebni volumen izdižu se iznad suterenskih etaža. U suterenskim etažama -1 i -2 nalaze se prostorije kino dvorane, pomoćne prostorije, spremište kuhinje, praonica robe i kotlovnica. Spojene zapadne sobe su jednoetažne na etaži -1. Depadansa je tlocrtno pravilnog oblika visine 2 etaže odnosno prizemlje i kat, sve vidljivo na priloženim nacrtima tlocrta, presjecima i fotografijama (Slika 15 i Slika 16).



Slika 14 Satelitska snimka hotela Panorama [13]



Slika 15 Centralni objekt hotela Panorama [13]



Slika 16 Karakteristični presjek hotela Panorama [13]

### 3.2 Korišteni materijali

#### ARMIRANI BETON

Armirani beton je osnovni materijal konstrukcije te je definiran na temelju dostupnih podataka. Postojeći dostupni projekt govori nam kako su okvirne grede bile oznake betona MB 30 dok su ostali dijelovi konstrukcije bili oznake betona MB 20. Na Sliku 17 prikazan je odnos marke betona i razreda tlačne čvrstoće.

| Marka betona (MB)      | 15     | 20     | 30     | 40     | 50     | 60     |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Razred tlačne čvrstoće | C12/15 | C16/20 | C25/30 | C30/37 | C40/50 | C50/60 |

Slika 17 Odnos marke betona i razreda tlačne čvrstoće [1]

#### KAMEN

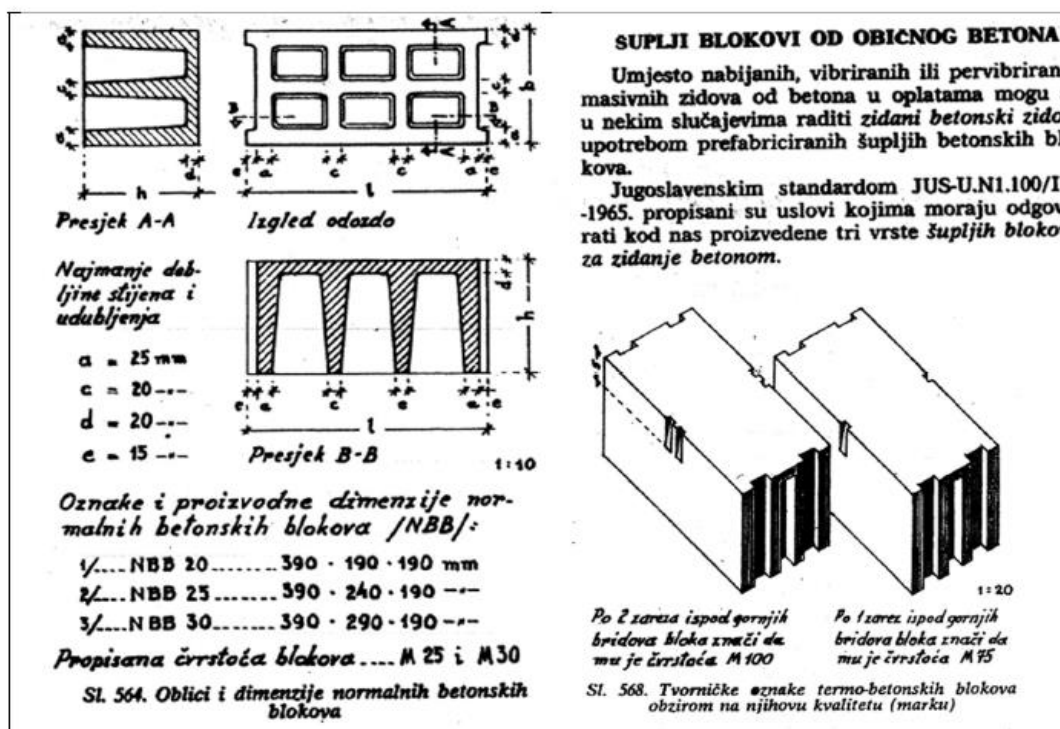
Osnovni materijal dijela zidova je kamen karakterističan za mikrolokaciju. Na hotelu je korišten lokalni kamen "kastavski sivac" jer se nalazi u neposrednoj blizini bivšeg kamenoloma Preluk i mjesta Kastav. Također karakterističan je i stil zidanja sa horizontalnim betonskim sljubnicama (Slika 18).



Slika 18 Korišteni stil zidanja [13]

## BETONSKA BLOK OPEKA

Osnovni materijal dijela pregradnih zidova je betonska blok opeka. Dimenzija blok opeke bila je 25 cm x 12 cm x 6,5 cm te su bile povezane vapnenim mortom. Na Slika 19 prikazani su propisi koji su bili korišteni u vrijeme gradnje konstrukcije.



Slika 19 Propisi u vrijeme građenja [13]



## KONSTRUKTIVNI ČELIK

Projektom propisano na konstrukciji se koristio čelik Č37. Na Slika 20 prikazana je kvaliteta i parametri čelika prema tada korištenoj normi JUS C.B 0.501 .

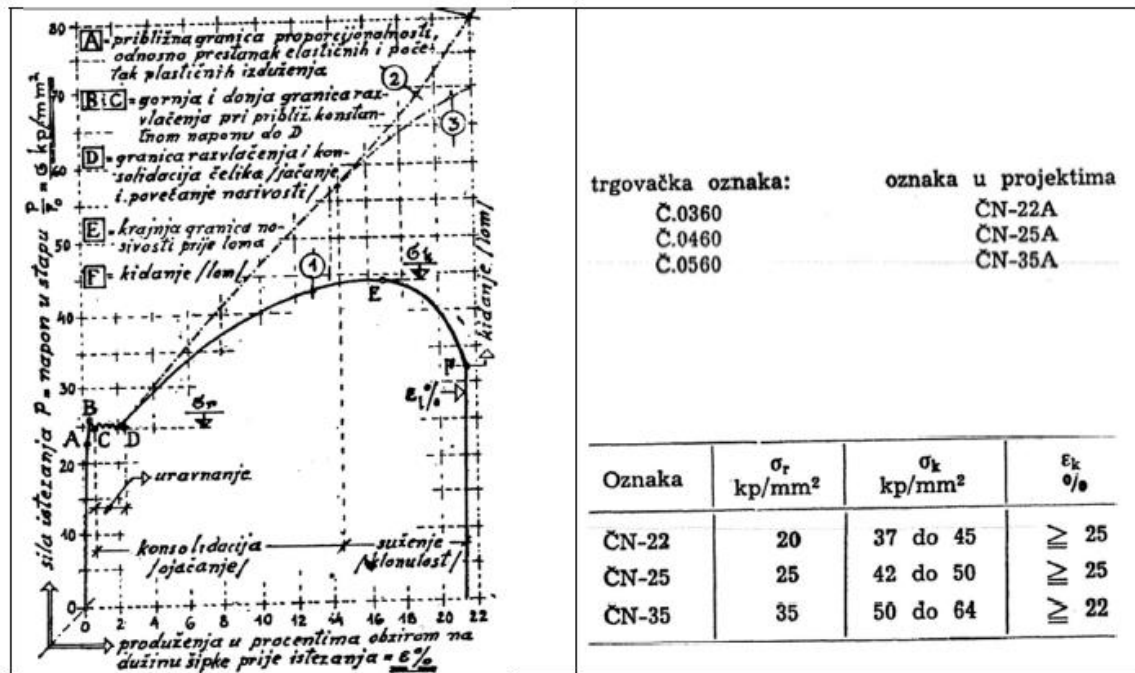
*Tablica 40.*

Dopustivi naponi za građevinske čelike pri stalnom opterećenju za konstrukcije punih, rešetkastih nosača i stupova

| Vrsta i način napreznja                                 | Topljeni građevinski čelik |         |                      |         |           |         |           |         | Leg. čelik |         |
|---|----------------------------|---------|----------------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|------------|---------|
|   | Trgov. kvaliteta           |         | Kvalitetni materijal |         |           |         |           |         |            |         |
|   | Č 00                       | Č HB    | Č 37                 |         | Č 48      |         | Č 52      |         |            |         |
|   | O p t e r e ć e n j e      |         |                      |         |           |         |           |         |            |         |
|   | Primarno                   | Totalno | Primarno             | Totalno | Primarno  | Totalno | Primarno  | Totalno | Primarno   | Totalno |
| D o p u s t i v i n a p o n<br><i>kg/cm<sup>2</sup></i> |                            |         |                      |         |           |         |           |         |            |         |
| Vlak, pritisak, savijanje                               | 1 200                      | 1 400   | 1 600                | 1 400   | 1 600     | 1 560   | 1 820     | 2 100   | 2 400      |         |
| Smicanje za zakovice ·                                  | 960                        | 1 120   | 1 280                | 1 120   | 1 280     | 1 250   | 1 300     | 1 680   | 1 920      |         |
| Pritisak za izvijanje ·                                 | 1 200                      | 1 400   |                      | 1 400   |           | 1 560   |           | 2 100   |            |         |
| Koeficijent sigurnosti<br><i>n<sub>s</sub></i>          | Pri vlaku                  | 2       |                      | 1,714   |           | 1,714   |           | 1,714   |            |         |
|   | Pri izvijanju              | 2-4,08  | 1,714-3,5            |         | 1,714-3,5 |         | 1,714-3,5 |         | 1,714-3,5  |         |

Slika 20 Kvaliteta i parametri čelika [13]



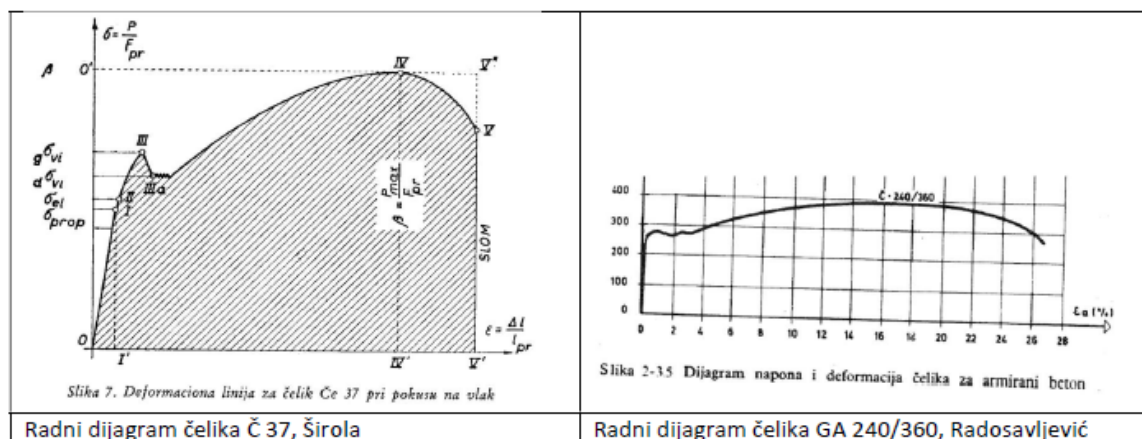


Slika 21 Radni dijagram čelika č37 [13]

Na dijagramu (Slika 21) je prikazano koliko se šipka produžuje s obzirom na unesenu silu istezanja. Produženje se mjeri u postocima s obzirom na dužinu šipke.

### ARMATURNI ČELIK

Armaturni čelik je osnovni materijal dograđenih armiranobetonskih dijelova konstrukcije. Koristio se čelik č37 koji svojim karakteristikama odgovara glatkoj armature od mekanog betonskog čelika GA240/360 (Slika 22).

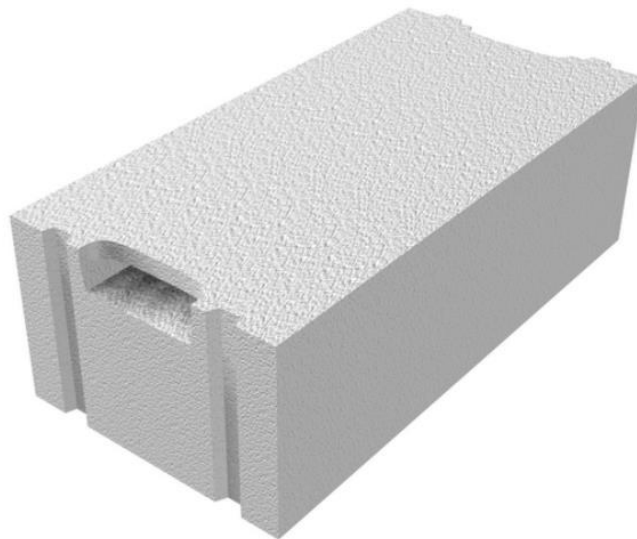


Slika 22 Usporedba radnih dijagrama čelika č37 i ga 240/360 [13]

## POROBETON

Porobeton ili plinobeton ( trgovačkog naziva siporex) (Slika 23) osnovni je materijal dijela zidova i krovne konstrukcije centralnog objekta, korišteni su blokovi širine 60,8 cm te duljine veće od 2m. Na hotelu Panorama korišten je porobeton koji je bio proizveden u Istri. Početkom 1960-ih, iz Istarskih rudnika nemetala izraslo je poduzeće Sioprex , tvornica plinobetona I rudnici kremena Pula. Proizvodili su građevinske elemente od plinobetona za polumontažnu gradnju :

- krovne ploče, armirane dužine do 6,22m
- stropne ploče, armirane dužine do 6,22m
- zidne horizontalne ploče, armirane dužine do 6,22m
- zidne vertikalne ploče, armirane dužine do 4,00m
- pregradne ploče,armirane dužine do visine spratnih konstrukcija maksimalno do 4,00m
- zidne blokove malog formata, nearmirani za nosive I ne nosive zidove
- izolacijske ploče, malog formata ne armirane



Slika 23 Porobeton ili plinobeton [13]

### 3.3 Usporedba korištenih i današnjih materijala

Za usporedbu materijala može se govoriti o glatkoj armaturi koja danas više nije u primjeni. Kada govorimo o armiranobetonskim konstrukcijama onda je glavni uvjet potpuno sprezanje između betona i čelika. Glatka armatura zadovoljavala je pri malim posmičnim naprezanjima između armature i betona no kako je čelik bio sve kvalitetniji tako je i posmična sila postala sve veća. S povećanjem posmične sile pojavila se opasnost da se čelik odvoji od betona. Današnje norme zahtijevaju da se koristi rebrasti čelik koji sprječava klizanje između betona i čelika. Rebrasti čelik ima znatno veću prionjivost od glatkog pa su moguća veća naprezanja na konstrukciji bez mogućnosti pojave pukotina velikih širina. U konstrukciji je korišten čelik oznake ČE37 čija je karakteristična granica popuštanja  $240 \text{ N/mm}^2$ . Danas se prema trenutno tehničkoj regulativi koristi čelik B500B čija je karakteristična granica popuštanja  $500 \text{ N/mm}^2$ . Glatka armatura izrađivala se od prirodnog čelika dok se rebrasta armatura dobiva od visokovrijednog prirodno tvrdog čelika dobivenog prikladnim legiranjem.

### **3.4 Detalji oštećenja betonske konstrukcije**

Betonska konstrukcija podložna je curenju vode kroz krov i stropne ploče te je na fotografijama vidljivo kako je unutar konstrukcije velika količina vlage (Slika 24). Prisutna vlaga dovela je do korozije čeličnih stupova i profila kao i armaturnih šipki unutar betona (Slika 25 i Slika 26). Armaturne šipke u fazi korozije bubre te na taj način dolazi do pucanja i opadanja zaštitnog sloja betona (Slika 27).



Slika 24 Na suterenskoj etaži vidljivo kako voda prodire kroz ploču te dolazi do opadanja žbuke [13]



Slika 25 Čelični stup i greda koji se nalaze u prizemlju i na prvom katu konstrukcije te je vidljivo listanje čelika [13]





Slika 26 Vanjski dijelovi konstrukcije na kojima je vidljiva armatura koja je korodirala i nema zaštitnog sloja betona [13]



Slika 27 Vidljiva korozija armature u stropnoj ploči te opadanje zaštitnog sloja betona zbog velike količine vlage [13]

Na vanjskim dijelovima konstrukcije (Slika 28) također je vidljivo kako je došlo do korozije armature jer dolazi do cijedenja smeđe boje koja ukazuje na koroziju.



Slika 28 Pogleda na konstrukcije sa vanjske strane gdje je vidljivo korodiranje armature i čeličnih dijelova konstrukcije [13]

Vanjska terasa (Slika 29) izložena je konstantnom utjecaju atmosferilija te je vidljivo kako se voda zadržava na ploči te na taj način uništava beton i armaturu.



Slika 29 Ploča terase koja je pod stalnih utjecajem atmosferilija i na kojoj se zadržava voda koja utječe na armaturu ploče ali i na sami beton [13]

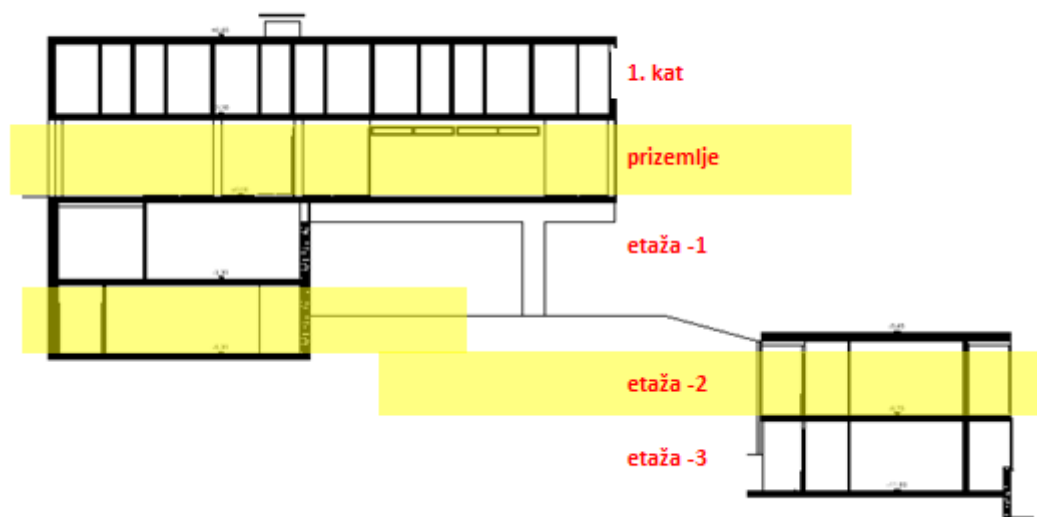
### 3.5 Provedena ispitivanja u cilju utvrđivanja kvalitete i stanja materijala

U ovom poglavlju su prikazana i analizirana ispitivanja betonske konstrukcije obavljena od strane ovlaštene institucije IGH [11]. Programom prethodnih istraživanja predviđeno je obuhvatiti beton podnih, međukatnih i krovnih ploča, greda, vertikalnih serklaža i stupova glavne zgrade, trgovine u sklopu glavne zgrade i depadanse, te utvrditi njihovo stanje. Također predviđeno je utvrditi i promjere i raspored armature ugrađene u stupove. Podaci o vrsti betona koji je ugrađen u konstrukciju nisu poznati.

U cilju utvrđivanja stanja gradiva predmetne konstrukcije provedena su:

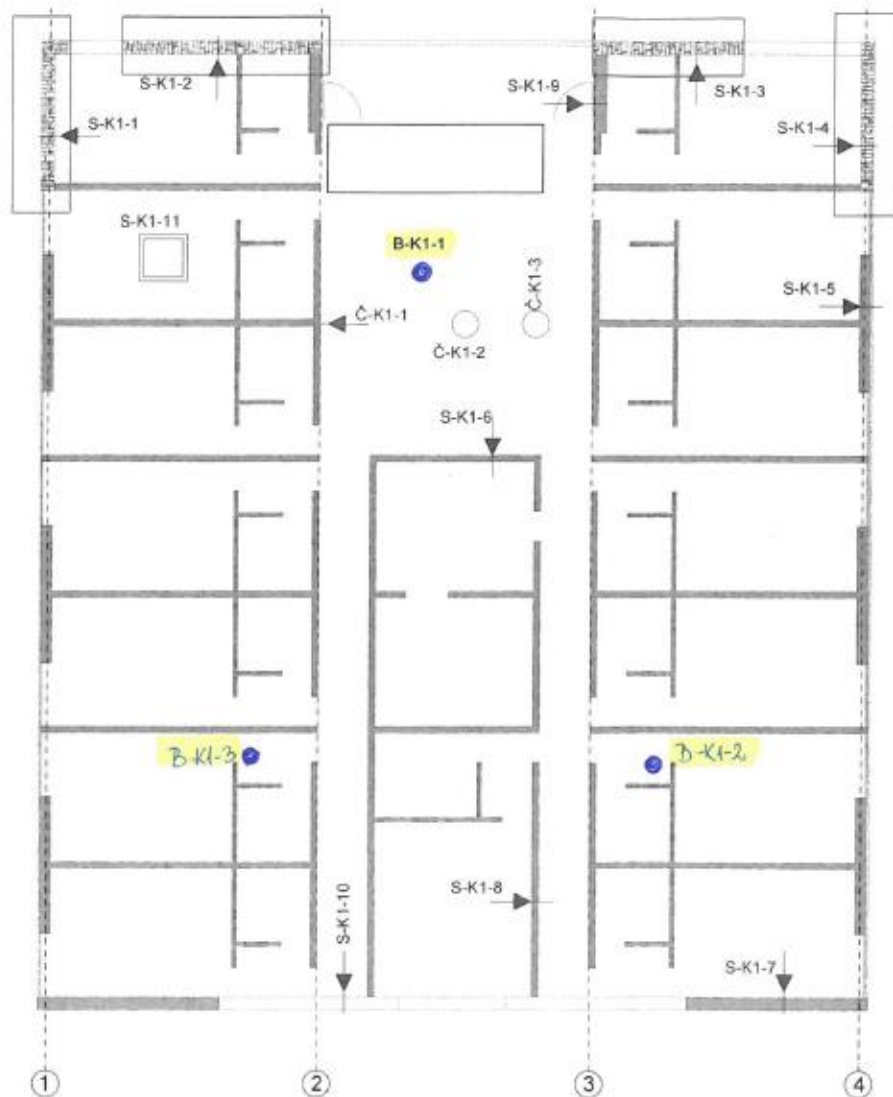
- terenska uzorkovanja gradiva
- laboratorijska ispitivanja gradiva

Pozicije ispitivanja na konstrukciji preuzeta su iz [13] te prikazana na nacrtima danim na Slikama 30-35



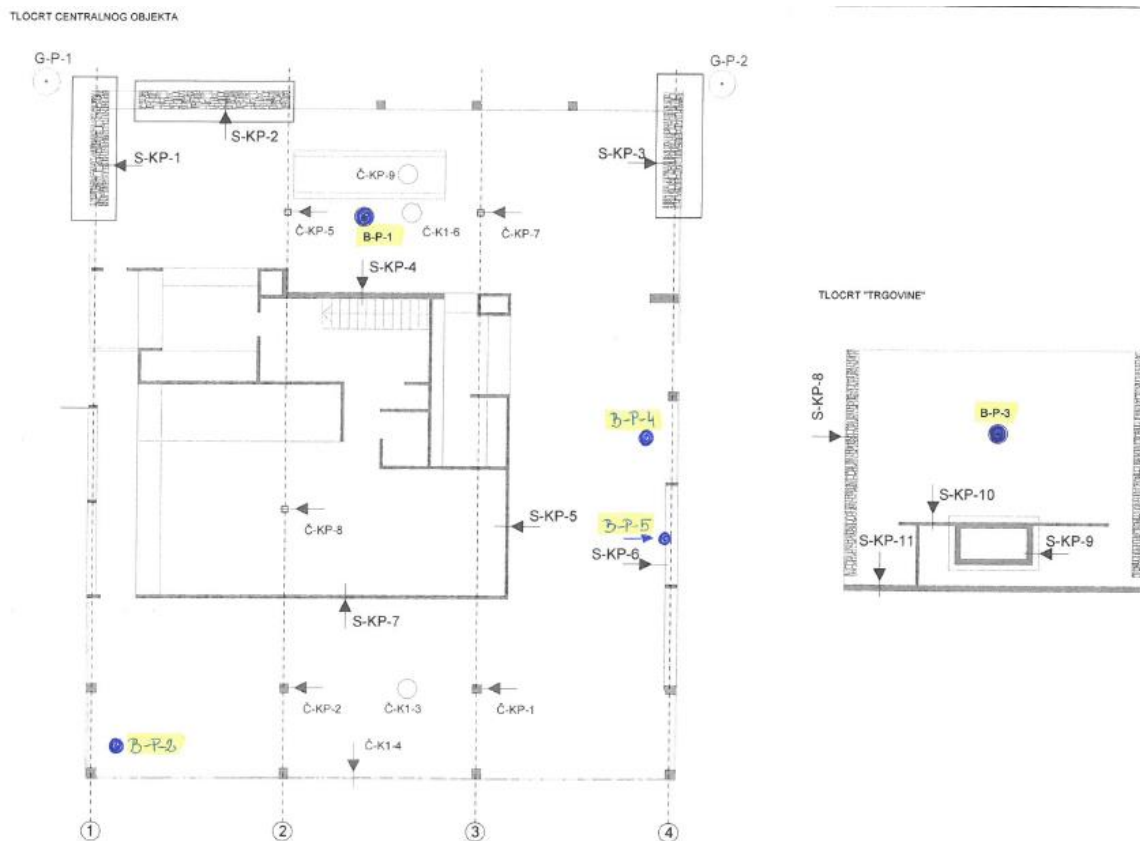
Slika 30 Karakteristični presjek hotela Panorama [13]

TLOCRT CENTRALNOG OBJEKTA



Slika 31 Tlocrt 1 kata centralnog objekta [13]





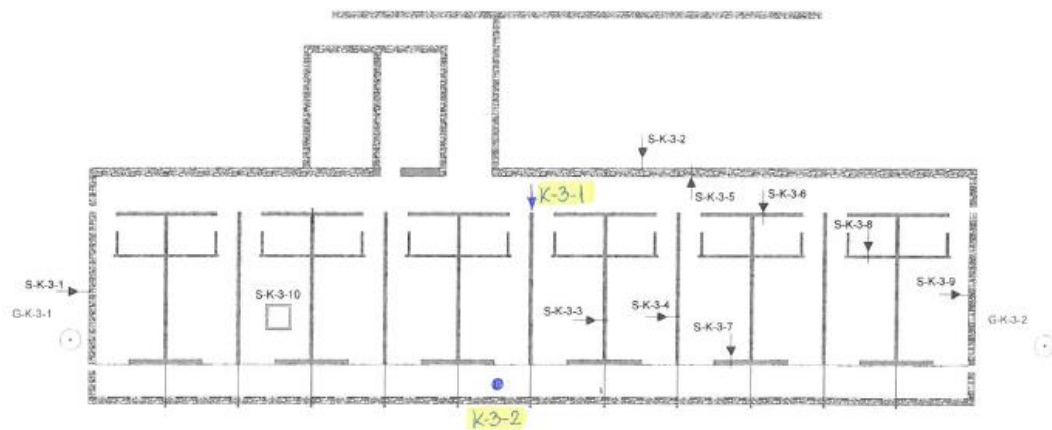
Slika 32 Tlocrt prizemlja centralnog objekta te pomoćnog objekta dućana [13]



Slika 33 Tlocrt etaže -1 centralnog objekta [13]



Slika 34 Tlocrt etaže -2 centralog objekta te prvog kata pomoćnog objekta „depadanse“ [13]



Slika 35 Tlocrt prizemlja pomoćnog objekta „depadanse“ [13]

### 3.5.1 Ispitivanje i procjena tlačne čvrstoće betona temeljem izvađenih uzoraka iz konstrukcije

Iz konstrukcije je izvađeno 16 valjaka promjera približno 105 mm u svrhu ovog ispitivanja. Valjci su bušeni horizontalno iz greda, vertikalnih serklaža, zida i stupa, a vertikalno dolje iz podnih, međukatnih i krovnih ploča. Ispitivanje je provedeno

prema normi HRN EN 12504-1:2019+Ispr.1:2020, Ispitivanje betona u konstrukcijama – 1. dio: Izvađeni ispitni uzorci – Uzimanje, pregled i ispitivanje tlačne čvrstoće. Uzorci su u laboratoriju pripremljeni za ispitivanje piljenjem na potrebnu visinu i brušenjem ispitnih ploha. Vizualnim pregledom izvađenih uzoraka utvrđeno je da je beton valjka kompaktan sa sitnim šupljinama do maksimalno 6 mm. Najveća izmjerena tlačna čvrstoća je 53,3 MPa na AB serklažu dok je najmanja 16 MPa na krovnoj gredi (*Tablica 10*). Dobiveni rezultati čvrstoća očekivani su iz razloga što je krovna greda stalno izložena vanjskim utjecajima što je dovelo do prodora klorida i karbonata dok su s druge strane vertikalni serklaži zaštićeni te njihova čvrstoća nije narušena. Danas pri projektiranju čvrstoća betona određuje se prema dva kriterija a to su nosivost i trajnost betona.

*Tablica 10* Tabelarni prikaz rezultata ispitivanja tlačne čvrstoće i gustoće [11]

| Terenska oznaka uzorka | Konstruktivni element         | Starost pri ispitivanju (godine) | Gustoća [kg/m <sup>3</sup> ] | Tlačna čvrstoća [MPa] | Max nazivna veličina zrna agregata [mm] |
|------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------|-----------------------|---|
| B-K-1-1                | AB stup, kat -1               | 59                               | 2400                         | 45,1                  | 32                                      |
| B-K-2-1                | vertikalni AB serklaž, kat -2 |                                  | 2300                         | 34,4                  | 16                                      |
| B-K-2-2                | podna ploča sobe, kat -2      |                                  | 2370                         | 35,6                  | 32                                      |
| B-K-2-3                | podna ploča terase, kat -2    |                                  | 2450                         | 34,9                  | 50                                      |
| B-K-2-4                | krovna greda, kat -2          |                                  | 2400                         | 16                    | 32                                      |
| B-K-3-1                | vertikalni AB serklaž, kat -3 |                                  | 2320                         | 53,3                  | 16                                      |
| B-P-2                  | podna ploča prizemlja         |                                  | 2430                         | 34,9                  | 51                                      |
| B-P-4                  |                               |                                  | 2420                         | 27,3                  | 55                                      |
| B-P-5                  | vanjski zid prizemlja         |                                  | 2290                         | 23,8                  | 16                                      |
| B-K1-1                 | podna ploča , kat 1           |                                  | 2390                         | 28,7                  | 55                                      |
| B-K1-2                 |                               |                                  | 2420                         | 28                    | 51                                      |
| B-K1-3                 |                               |                                  | 2400                         | 29,7                  | 32                                      |
| B-K-1-3                | krovna ploča, kat -1          |                                  | 2450                         | 48                    | 50                                      |
| B-K-1-4                | greda, kat -1                 |                                  | 2300                         | 34,1                  | 22                                      |
| B-P-1                  | podna ploča prizemlja         |                                  | 2350                         | 41,1                  | 22                                      |
| B-P-3                  |                               |                                  | 2400                         | 35,1                  | 30                                      |

Iz *Tablica 10* vidljivo je kako se zrna agregata razlikuju ovisno o poziciji na kojoj je ispitni uzorak izvađen. Možemo vidjeti kako je najveće zrno agregata uočeno na poziciji podnih ploča dok je najmanje zrno uočeno u vertikalnim serklažima.

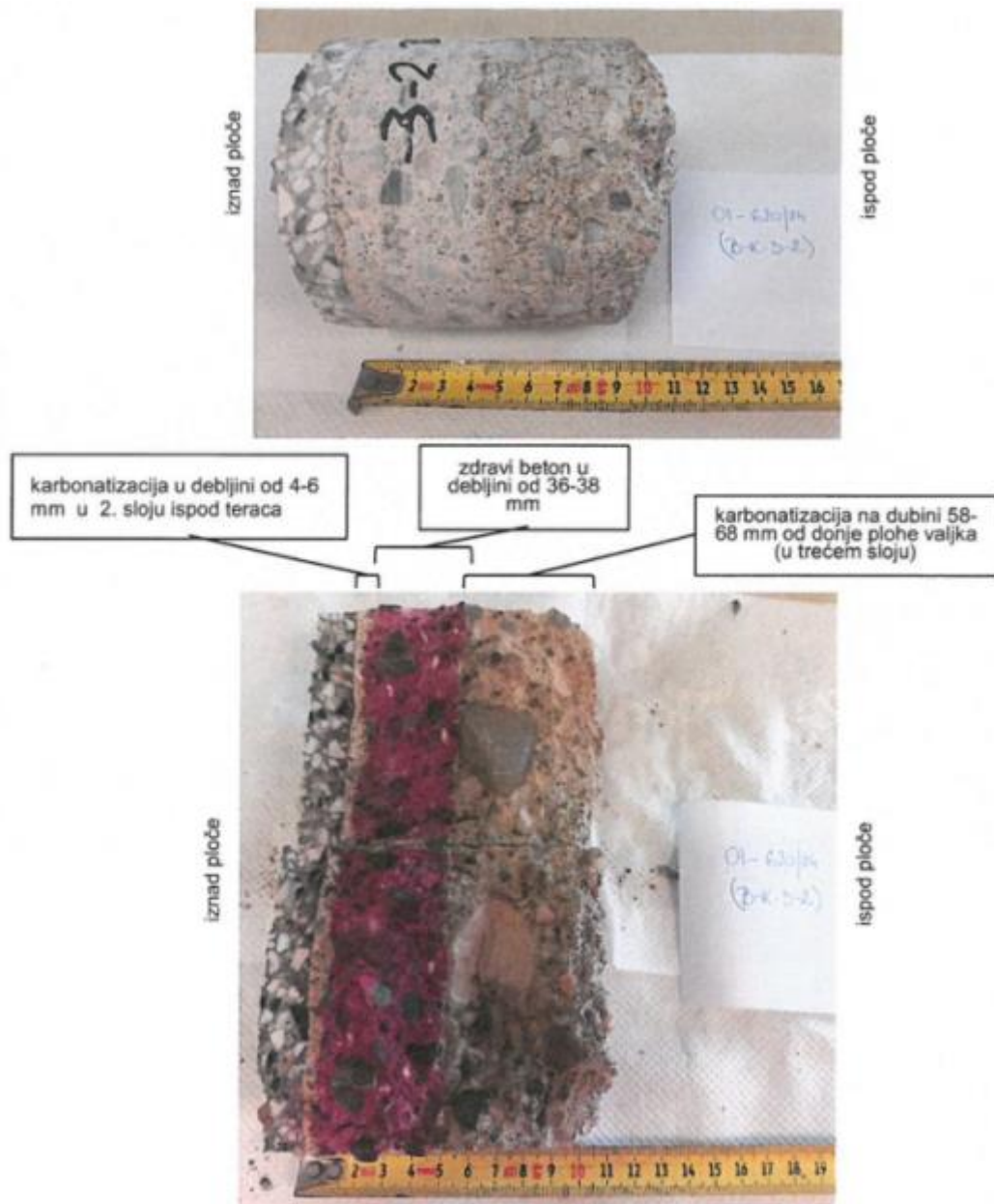
### 3.5.2 Ispitivanje dubine karbonatizacije u betonu

Dubina karbonatizacije provedena je sa svrhom određivanja stanja dealkalizacije betona na uzorcima izvađenim iz konstrukcije prskanjem betona fenolftaleinom. Navedeno ispitivanje provodi se prema normi HRN EN 14630:2007. Ispitivanja su provedena u laboratoriju na svježe rascijepanoj površini uzorka.

Ukupno je ispitano 15 uzorak. U dijelovima depadanse (krovna greda) vidljiva je prisutna karbonatizacija duž cijele širine grede (Slika 36), dok je u podnoj ploči dubina karbonatizacije 5 do 6 mm. Kada govorimo o glavnoj zgradi može se zaključiti kako je najveća dubina karbonatizacije prisutna u podnoj ploči i to 87 mm dok kod ploče međukatne konstrukcije karbonatizacija s donje strane nije prisutna. U zgradi depadanse na vanjskim terasama prisutan je zaštitni sloj armiranobetonske ploče te nam tim dijelovima karbonati nisu prodrli do armature (Slika 37) dok se u unutarnjim međukatnim armiranobetonskim ploča može vidjeti kako se armatura nalazi u dijelu betona koji je zahvaćen karbonatizacijom. U međukatnim konstrukcijama glavne zgrade armatura gornje zone nalazi se unutar zdravog dijela betona dok se armatura donje zone nalazi unutar betona koji je zahvaćen karbonatizacijom. Armatura krovne ploče glavnog djela zgrade nalazi se u cijelosti u karbonatima zahvaćenom dijelu betona.



Slika 36 Prikaz prolaska karbonata kroz cijeli ispitani uzorak [11]



Slika 37 Prikaz dijela uzorka koji sadrži karbonate te dijela uzorka koji je zaštićen od karbonata (obojeno crveno) [11]

### 3.5.3 Ispitivanje sadržaja klorida u betonu

Kloridi u betonu predstavljaju potencijalnu opasnost za koroziju armature. Ispitivanjem uzetih uzoraka dobiven je sadržaj iona klora u odnosu na masu betona. Ispitivanje je provedeno na 12 pozicija i ukupno 16 dubina. S obzirom da se u ovom slučaju uzorak za ispitivanje klorida uzimao iz postojeće konstrukcije, vrijednosti sadržaja ukupnih klorida izražene su u odnosu na masu betona, a ne na masu cementa. Kako bi se dobiveni rezultati ispitivanja betona iz konstrukcije mogli

usporediti sa zahtjevima za dopušteni sadržaj klorida i propisa, kriterij od 0,4% na masu cementa je preračunat na 0,06% na masu betona za pretpostavljenu količinu cementa od 350 kg/m<sup>3</sup> u normalno teškom betonu.

Sadržaj klorida u betonu na predmetnoj građevini samo u tri slučaja je veći od dopuštenih 0,06%. Ispitivanje sadržaja klorida u betonu također je ispitano i na dvije dubine 0-20mm i 20-40. Spomenuta tri slučaja u kojima je sadržaj klorida bio veći od dopuštenog dogodila su se na dubini 0-20mm dok na dubini 20-40mm svi ispitni rezultati su bili manji od dopuštenih (*Tablica 11*).

*Tablica 11 Prikaz sadržaja klorida u ispitnim uzorcima uzetim na konstrukciji [11]*

| Terenska oznaka uzorka | Konstruktivni element         | Dubina [mm] | Sadržaj klorida (% na masu betona) |
|------------------------|-------------------------------|-------------|------------------------------------|
| <b>B-K-1-1</b>         | AB stup, kat -1               | 0-20        | 0,045                              |
|                        |                               | 20-40       | 0,011                              |
| <b>B-K-2-1</b>         | vertikalni AB serklaž, kat -2 | 0-20        | 0,002                              |
| <b>B-K-2-2</b>         | podna ploča sobe, kat -2      | 0-20        | 0,095                              |
|                        |                               | 20-40       | 0,018                              |
| <b>B-K-2-3</b>         | podna ploča terase, kat -2    | 0-20        | 0,068                              |
| <b>B-K-2-4</b>         | krovnna greda, kat -2         | 0-20        | 0,002                              |
| <b>B-K-3-1</b>         | vertikalni AB serklaž, kat -3 | 0-20        | 0,042                              |
| <b>B-K1-1</b>          | podna ploča , kat 1           | 0-20        | 0,136                              |
|                        |                               | 20-40       | 0,029                              |
| <b>B-K1-2</b>          | podna ploča , kat 1           | 0-20        | 0,034                              |
| <b>B-K-1-3</b>         | krovnna ploča, kat -1         | 0-20        | 0,011                              |
|                        |                               | 20-40       | 0,009                              |
| <b>B-K-1-4</b>         | greda, kat -1                 | 0-20        | 0,009                              |
| <b>B-P-1</b>           | podna ploča prizemlja         | 0-20        | 0,016                              |
| <b>B-P-3</b>           | podna ploča prizemlja         | 0-20        | 0,01                               |

#### 3.5.4 Određivanje karakteristika armature nakon uklanjanja zaštitnog sloja betona

Terenska ispitivanja karakteristika armature obavljena su razornom metodom uklanjanja zaštitnog sloja betona, vizualnim pregledom i mjerenjem dimenzija i razmaka armaturnih šipki te debljine zaštitnog sloja betona (Slika 38). Prikaz armature u konstrukciji na dijelu stupa prikazan je u *Tablica 12*



Tablica 12 Nalaz armature u konstrukciji [11]

| Oznaka pozicije | Konstruktivni element | Armatura u konstrukciji  | Debljina zaštitnog sloja betona (mm) |
|-----------------|-----------------------|--|--------------------------------------|
| B-K-1-1         | stup                  | vertikalne šipke GA $\phi$ 20 mm, 8 kom.;<br>horizontalne šipke (vilice) GA $\phi$ 8 mm na razmaku 275 mm; armatura s vidljivim tragovima korozije | 30-50                                |



Slika 38 Terenska ispitivanja karakteristika armature [13]

### 3.5.5 Zaključak dosad provedenih ispitivanja

Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće, dubina karbonatizacije, sadržaja klorida te stanja armature otkrili su prisutnost značajnih oštećenja i degradacija betonske konstrukcije uslijed dugotrajne izloženosti vanjskim utjecajima. Na temelju ovih ispitivanja, utvrđeni su kritični dijelovi konstrukcije koji zahtijevaju hitnu sanaciju kako bi se osigurala dugotrajna stabilnost i sigurnost objekta. U konačnici, rezultati provedenih ispitivanja omogućuju nam da na odgovarajući način pristupimo sanaciji objekta te odaberemo odgovarajuće materijale i postupke sanacije.

### 3.6 Provedena vlastita ispitivanja

Kako bi se odredila dodatna svojstva betona pravedna su vlastita ispitivanje tlačne čvrstoće sklerometrom te vlačne čvrstoće betona korištenjem pull off uređaja. Dodatno , analizirani su rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće betona dobiveni temeljem indeksa sklerometra i na valjcima izvađenim iz konstrukcije

#### 3.6.1 Sklerometar

Sklerometar ili Schmidtov čekić (Slika 39) je uređaj za mjerenje tvrdoće betona. Razvio ga je švicarski inženjer Ernst Schmidt 1948. godine. Ovim uređaj udara se površina betona pri čemu se u beton unosi određena kinetička energija. Pri samom udarcu jedan dio energije vraća se natrag u sklerometar. Uređaj se na beton oslanjana preko čelične šipke koja je zaobljena na vrhu te preko koje se prenosi udarac u beton. Čelična šipka u trenutku kada je sklerometar neopterećen nalazi se izvan kućišta sklerometra te se pritiskanjem tijela sklerometra prema površini razlači opruga. Kada opruga dosegne granični položaj , otpušta se uteg koji zatim udari u šipku te se odbija. Visina odskoka utega je podatak koji se očitava i dobiva mjerenjem. Odskok utega ovisi o tvrdoći podloge. Visina odskoka utega još se naziva i indeks sklerometra. [8]



Slika 39 Sklerometar [9]



Ispitivanja su provedena na 5 lokacija unutar građevine te je na svakoj lokaciji ispitano 9 točaka. Točke su bila na razmaku od 25 do 60mm. Određene podloge bile su vlažne zbog utjecaja atmosferilija.

### 3.6.2 Pull off test

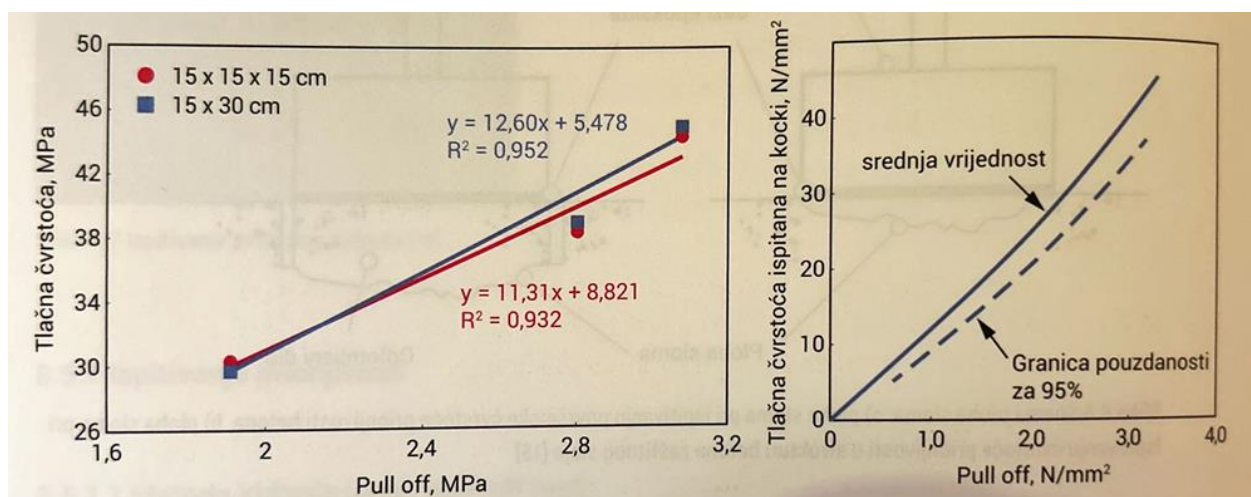
Pull off metoda i kako se još naziva metoda kidanja jedna je od najraširenijih metoda kojom se može ispitati čvrstoća prionjivosti. Metoda se može provoditi in situ ili u laboratoriju. U slučaju kada se koristi na konstrukciji na beton se lijepi metalna pločica posebnim ljepilom (Slika 40). Metalna pločica na sebi ima navoj na koji se onda stavlja vijak preko kojeg se nanosi vlačna sila. Ukoliko se pull off koristi u laboratoriju onda se ispitivanje provodi na betonskim uzorcima koji imaju određene dimenzije te se uzorci lijepe na određenim razmacima.

Kada se ispitivanje provodi in situ i pločica se lijepi na površinu postojećeg betona te se pri izvlačenju slom dogodi unutar strukture betona, tada će ispitni rezultati predstavljati čvrstoću prionjivosti kao jednu vrstu vlačne čvrstoće betona.



Slika 40 In situ ispitivanje pull off metodom

U posljednjih nekoliko godina razvijene su mnoge ne razorne metode koje se mogu provoditi na konstrukciji kako bi se dobili određeni podaci o čvrstoći. Sve te metode puno su ekonomičnije i jednostavnije od bušenja valjaka iz postojeće konstrukcije i ostalih razornih ili polurazornih ispitivanja unutar konstrukcije. Jedna od tih metoda je svakako i pull off metoda s kojom se može odrediti vlačna čvrstoća koja je u korelaciji s tlačnom čvrstoćom betona (kako je prikazano na Slika 41).



Slika 41 Odnos tlačne čvrstoće i čvrstoće prionjivosti [8]

Ispitivanja su provedena na 4 ispitne pozicije (Slika 42-Slika 45) unutar građevine od čega su na tri ispitne pozicije postavljena po 5 mjernih alata za otkidanje dok su na jednoj lokaciji postavljena 4 mjerna alata za otkidanje. Prije postavljanja mjernih alata za otkidanje koje se lijepe za podlogu, ista je dobro očišćena sa čeličnom četkom te ispuhana od prašine kako bi se lijepilo što bolje zalijepilo za podlogu. Ljepilo je ostavljeno da se suši otprilike. 48h.



Slika 42 Prikaz pripremljenih mjernih alata za ispitivanje pull off metodom (pozicija B-P-1)



Slika 43 Prikaz pripremljenih mjernih alata za ispitivanje pull off metodom (pozicija B-P-4)





**Slika 44** Prikaz pripremljenih mjernih alata za ispitivanje pull off metodom (pozicija B-K-1)



**Slika 45** Prikaz pripremljenih mjernih alata za ispitivanje pull off metodom (pozicija B-K-1-1)

1)

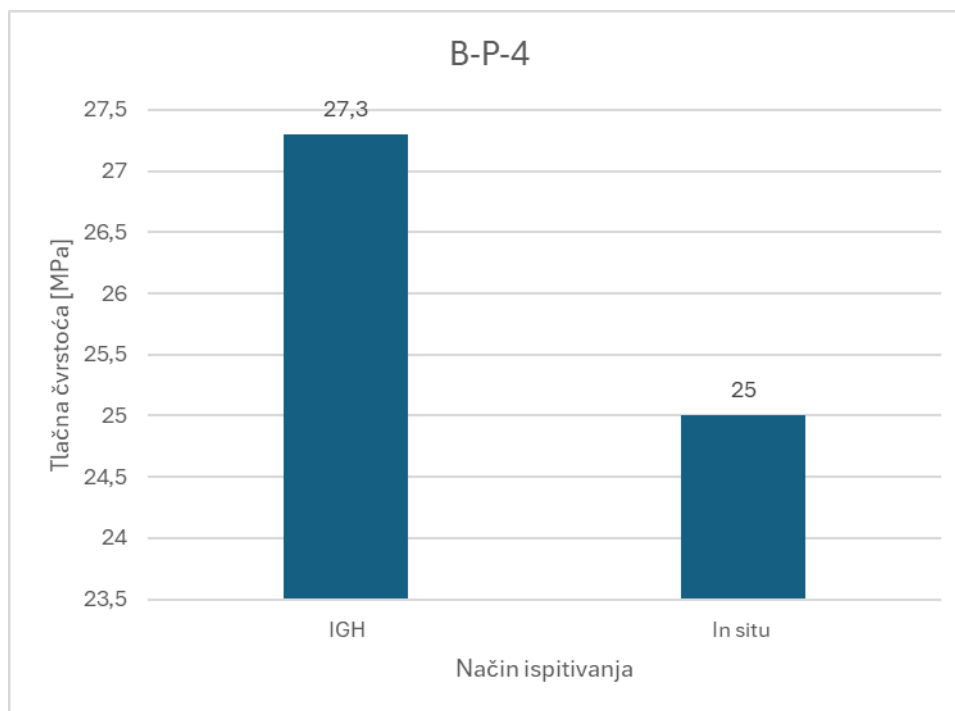
### 3.7 Analiza rezultata ispitivanja

Rezultati su prikazani za 5 ispitnih pozicija. Na svakoj poziciji prikazani su rezultati ispitivanja sklerometrom i pull off uređajem. Također prikazana je i usporedba rezultata tlačne čvrstoće dobivenih od ovlaštene institucije [11] s vlastitim rezultatima dobivenim in situ ispitivanjem.

#### 3.7.1 Podna ploča prizemlja (B-P-4)

##### ➤ SKLEROMETRIRANJE

U nastavku je prikazan graf koji prikazuje usporedbu rezultata dobivenih ispitivanjem ovlaštene institucije i in situ ispitivanjem (Slika 46).



Slika 46 Graf prikazuje usporedbu rezultata ovlaštene institucije i in situ rezultata (B-P-4)

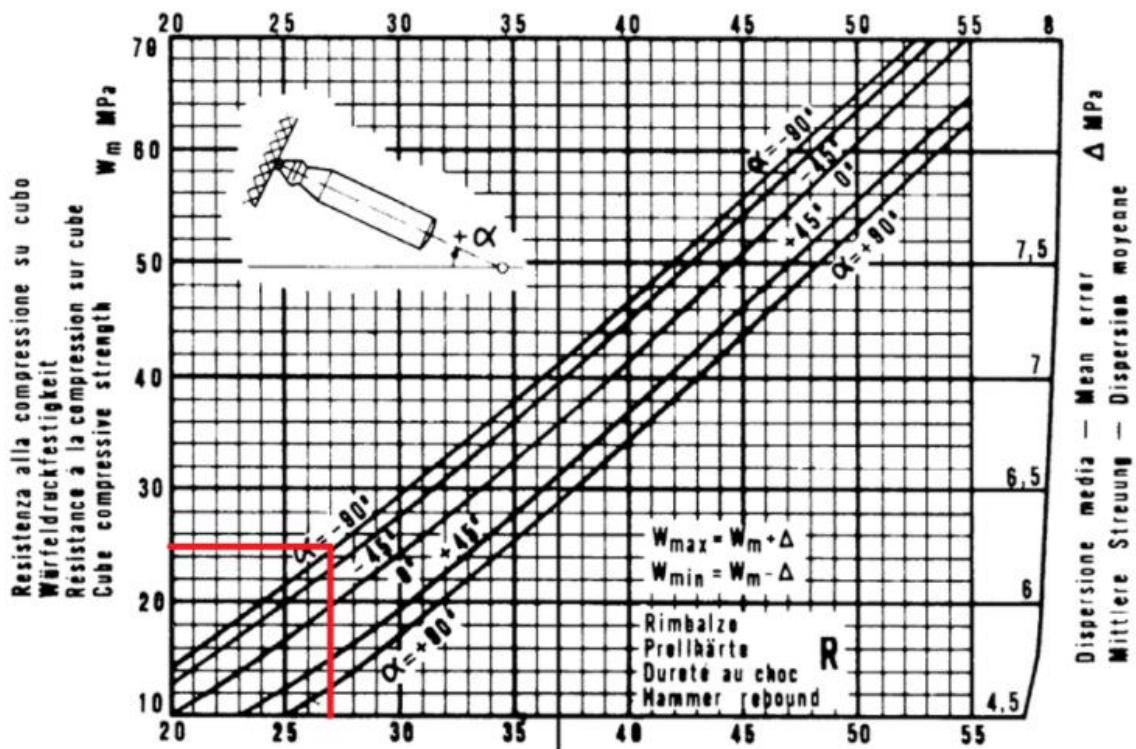
Podatak o in situ tlačnoj čvrstoći dobiva se na način da se izračuna prosjek očitanih indeksa sklerometra (

Tablica 13) te se na temelju dobivene prosječne vrijednosti i odgovarajućeg dijagrama prikazanog na Slika 47 očitava tlačna čvrstoća betona. Ispitivanje se provodilo na način da se na poziciji odredi 9 točaka koje su udaljene cca. 25 mm a radi ponovljivosti očitanih indeks skelrometra u svakoj točki provedena su najmanje . 4 očitavanja. Uređaj se postavlja okomito na površinu te se pritišće kako bi opruga otpustila uteg koji onda udara u podlogu te odskače. Visina odskoka uzima se kao

indeks sklerometra. Prilikom očitavanja sa dijagrama (Slika 47) mora se uzet u obzir kut držanja sklerometra u odnosu na betonsku konstrukciju, jer o tome ovisi rezultat

Tablica 13 Prikaz rezultata dobiveni in situ sklerometrom; pozicija B-P-4

|                       |  | PRIZEMLJE; podna ploča B-P-4 |          |          |          |          |    |          |         |           |
|-----------------------|--|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----|----------|---------|-----------|
|                       |  | 30                           | 23       | 30       | 20       | 18       | 26 | 30       | 26      | 30        |
|                       |  |                              | 32       | 29       | 22       | 20       | 28 | 28       | 26      | 28        |
|                       |  |                              | 34       | 28       | 28       | 24       | 26 | 30       | 26      | 28        |
|                       |  |                              |          |          | 28       | 26       | 28 |          |         | 28        |
|                       |  |                              |          |          |          |          |    |          | PROSJEK | 27        |
| STANDARDNA DEVIJACIJA |  | 0                            | 4,784233 | 0,816497 | 3,570714 | 3,162278 | 1  | 0,942809 | 0       | 0,8660254 |



Slika 47 Postupak iščitavanja tlačne čvrstoće preko prosječne vrijednosti dobivene sklerometrom; pozicija B-P-4

Možemo vidjeti kako je ispitivanjem u laboratoriju dobivena vrijednost tlačne čvrstoće 27,3 MPa (Tablica 10) dok je ispitivanjem in situ pomoću sklerometra dobiveno približno 25 MPa. Time se može zaključiti kako je na ovoj poziciji podudarnost primijenjenih metoda ispitivanja za određivanje tlačne čvrstoće vrlo dobra.

➤ PULL OFF

Na lokaciji B-P-4 (Slika 48) postavljena su 4 uzorka za ispitivanje. Pri ovom ispitivanju kod 3 uzorka slom se dogodio u podlozi dok se na jednom uzorku slom dogodio i u podlozi ali i u ljepilu što je vidljivo na Slika 48.



Slika 48 Prikaz sloma uslijed pull off ispitivanja

Ovakav način sloma moguć je iz više razloga a neki od njih su vlažnost podloge te nedovoljno dugo sušenje ljepila.

Tablica 14 Prikaz rezultata ispitivanja na poziciji B-P-4

| Stropna ploča prizemlja; B-P-4 |       |      | TIP SLOMA (gdje se slom dogodio) |
|--------------------------------|-------|------|----------------------------------|
| Pozicija                       | kN    | Mpa  |                                  |
| 1                              | 0,962 | 0,49 | beton                            |
| 2                              | 1,953 | 0,99 | beton                            |
| 3                              | 2,278 | 1,16 | beton                            |
| PROSJEK                        | 1,731 | 0,88 |                                  |
| 4                              | 0,427 | 0,21 | ljepilo i beton                  |

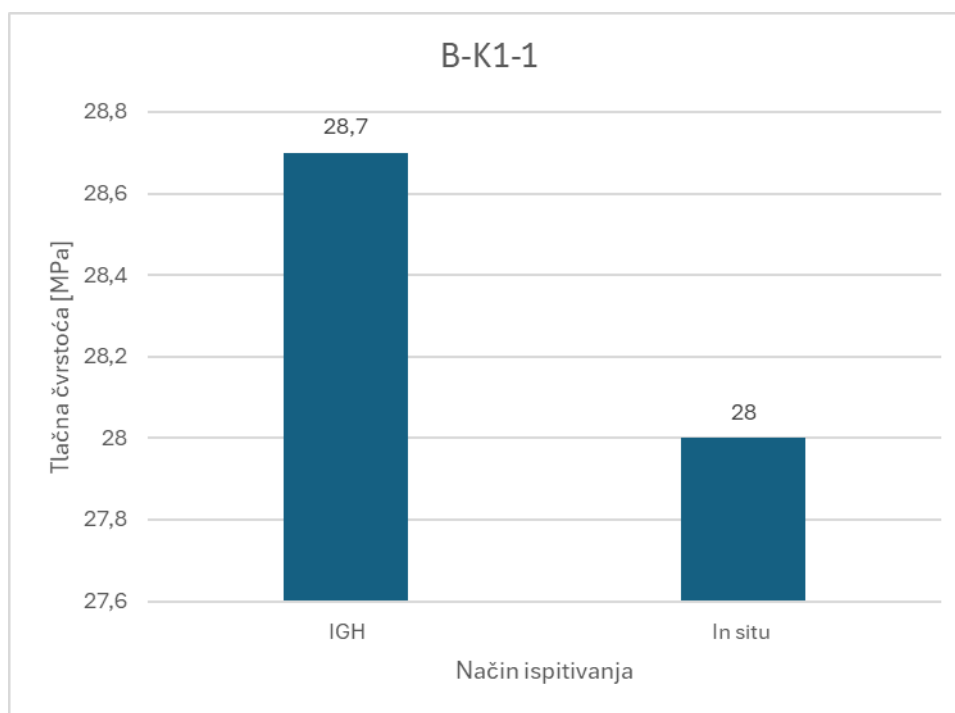


U *Tablica 14* prikazani su rezultati ispitivanja gdje je određen prosjek onih ispitivanja u kojima se dogodio slom u betonu. Možemo vidjeti kako je vrijednost pri slomu pola u ljepilu pola u betonu dosta manja u odnosu na vrijednosti gdje se dogodio slom u betonu. Dobivene vrijednosti vrlo su male te ih se ne može baš na najbolji način iščitati iz grafa. Iz rezultat možemo iščitati kako je ispitni uzorak pozicije 3 imao najveću unesenu silu te je to također vidljivo i na *Slika 48* gdje je na ispitnom uzorku ostalo zrna agregata i površinski sloj sa betona.

### 3.7.2 Podna ploča kata +1 (B-K1-1)

#### ➤ SKLEROMETRIRANJE

U nastavku je prikazan graf koji prikazuje usporedbu rezultata dobivenih ispitivanjem ovlaštene institucije i in situ ispitivanjem (*Slika 49*)



*Slika 49* Graf prikazuje usporedbu rezultata ovlaštene institucije i in situ rezultata (B-K1-1)

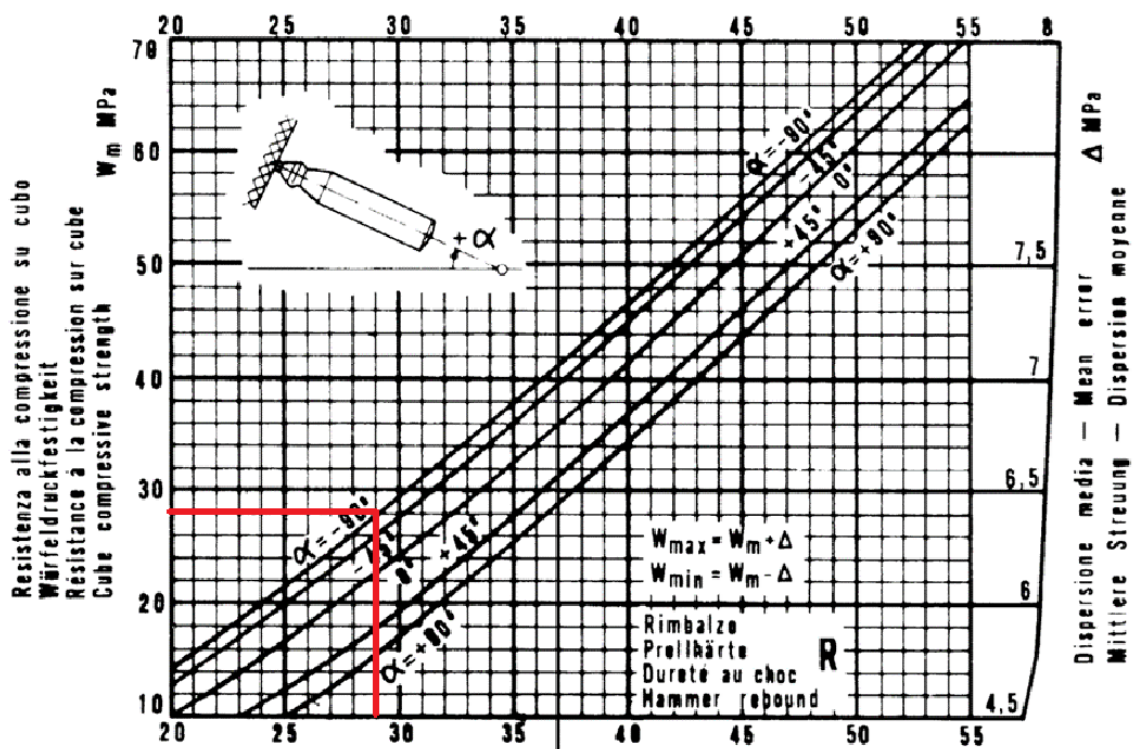
Podatak o in situ tlačnoj čvrstoći dobiven je na način da se izračuna prosjek očitanih indeksa sklerometra (*Tablica 15*) te se na temelju dobivene prosječne vrijednosti i odgovarajućeg dijagrama prikazanog na *Slika 50* očitala tlačna čvrstoća betona.. Sukladno prethodno navedenom prilikom očitavanja tlačne čvrstoće sa dijagrama



prikazanog na Slika 50) uzelo se u obzir kut držanja sklerometra u odnosu na betonsku konstrukciju

Tablica 15 Prikaz rezultata dobiveni in situ sklerometrom; pozicija B-K1-1

|                          |  | KAT +1: podna ploča B-K1-1 |          |         |          |          |          |          |         |    |
|--------------------------|--|----------------------------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|----|
|                          |  | 28                         | 26       | 26      | 26       | 28       | 26       | 28       | 24      | 30 |
|                          |  | 28                         | 28       | 32      | 30       | 32       | 28       | 30       | 28      | 32 |
|                          |  | 30                         | 28       | 30      | 30       | 32       | 26       | 30       | 26      | 28 |
|                          |  | 30                         |          |         |          |          |          |          |         |    |
|                          |  |                            |          |         |          |          |          |          | PROSJEK | 29 |
| STANDARDNA<br>DEVIJACIJA |  | 1,154701                   | 1,154701 | 3,05505 | 2,309401 | 2,309401 | 1,154701 | 1,154701 | 2       | 2  |



Slika 50 Postupak iščitavanja tlačne čvrstoće preko prosječne vrijednosti dobivene sklerometrom; pozicija B-K1-1

Vidljivo je kako je ispitivanjem u laboratoriju dobivena vrijednost tlačne čvrstoće 28,7 MPa (Tablica 10) dok je ispitivanjem in situ pomoću sklerometra dobiveno približno 28 MPa. Time se može zaključiti kako je na ovoj poziciji podudarnost primijenjenih metoda ispitivanja za određivanje tlačne čvrstoće također vrlo dobra.

➤ PULL OFF

Na lokaciji B-K1-1 (Slika 31) postavljeno je 5 ispitnih uzoraka. U 3 ispitna uzorka vidljivo je kako se slom dogodio u betonu, na jednom ispitnom uzorku slom se dogodio pola u betonu pola u ljepilo dok se u posljednjem uzorku slom dogodio samo u ljepilu (Slika 51).



Slika 51 Prikaz sloma uslijed ispitivanja pull off metodom na lokaciji B-K1-1

Pri ovom ispitivanju vidljivu su svi načini sloma. Ispitni uzorak pod brojem 3 reprezentativni je oblik sloma (u betonskoj podlozi) za dobivanje vlačne čvrstoće betona

*Tablica 16 Prikaz rezultata ispitivanja pull off metodom na lokaciji B-K1-1*

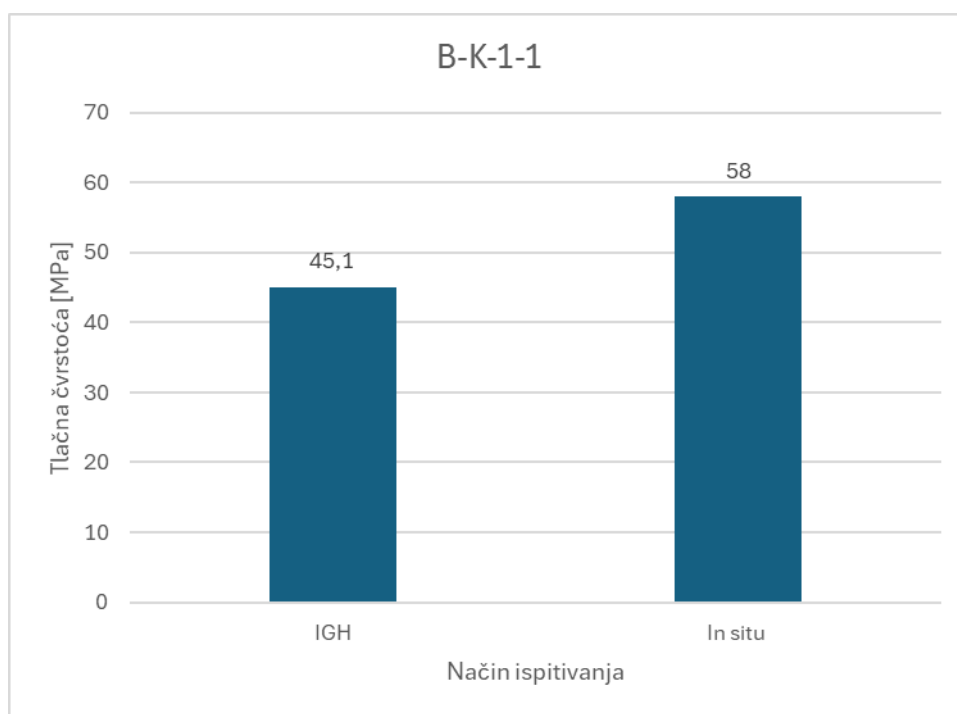
| Stropna ploča kata +1; B-K1-1 |       |      | TIP SLOMA (gdje se slom dogodio) |
|-------------------------------|-------|------|----------------------------------|
| Pozicija                      | kN    | Mpa  |                                  |
| 1                             | 1,452 | 0,73 | beton i ljepilo                  |
| 2                             | 1,273 | 0,64 | ljepilo                          |
| 3                             | 0,783 | 0,39 | beton                            |
| 4                             | 1,287 | 0,65 | beton                            |
| 5                             | 1,154 | 0,58 | beton                            |
| PROSJEK                       | 1,075 | 0,54 |                                  |

*Tablica 16* prikazuje rezultate ispitivanja gdje je prosjek rezultata uzet iz ispitnih uzoraka 3,4 i 5 iz razloga što se slom dogodio u betonu te se te vrijednosti mogu uspoređivati sa vrijednostima tlačne čvrstoće koji su dobiveni u ovlaštenoj instituciji. Ispitni uzorak pod brojem 1 pokazuje najveće dobivene rezultate međutim slom se dogodio pola u betonu pola u ljepilu a razlog tome je vjerojatno to što se ljepilo nije ravnomjerno rasporedilo ispod pločice za ispitivanje te se zbog toga pločica nije na jednak način zalijepila za podlogu. Kod sloma u ljepilu na ispitnom uzorku pod brojem 2 moguća je greška u pripremi uzorka, odnosno to što se pločica nije dobro očistila od prašine prije lijepljenja što može biti razlog da se slom dogodi između pločice i ljepila.

### 3.7.3 Stup kata -1 ( B-K-1-1)

#### ➤ SKLEROMETRIRANJE

U nastavku je prikazan graf koji prikazuje usporedbu rezultata dobivenih ispitivanjem ovlaštene institucije i in situ ispitivanjem (Slika 52)

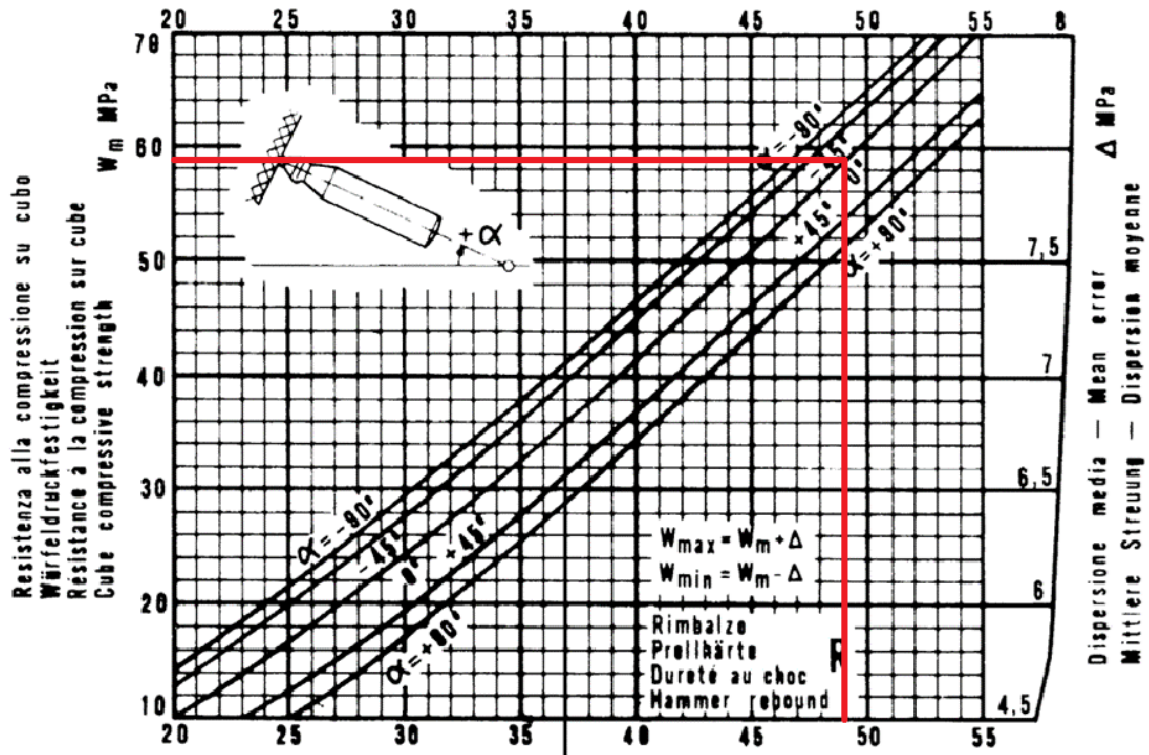


Slika 52 Graf prikazuje usporedbu rezultata ovlaštene institucije i in situ rezultata (B-K-1-1)

Podatak o in situ tlačnoj čvrstoći dobiven je na način da se izračunao prosjek očitanih indeksa sklerometra (*Tablica 17*) te se na temelju dobivene prosječne vrijednosti i odgovarajućeg dijagrama prikazanog na Slika 52 očitala tlačna čvrstoća betona. Tlačna čvrstoća i pozicija sklerometra u odnosu na betonsku konstrukciju vidljivi su na Slika 53.

Tablica 17 Prikaz rezultata dobiveni in situ sklerometrom; pozicija B-K-1-1

|                       |          | KAT -1; stup B-K-1-1 |          |          |         |    |    |    |            |    |
|-----------------------|----------|----------------------|----------|----------|---------|----|----|----|------------|----|
|                       |          | 50                   | 48       | 50       | 40      | 48 | 46 | 48 | 46         | 46 |
|                       |          | 54                   | 50       | 48       | 46      | 52 | 48 | 52 | 50         | 46 |
|                       |          | 54                   | 52       | 48       | 48      | 54 | 50 | 50 | 54         | 48 |
|                       |          |                      |          |          | 50      |    |    |    |            |    |
|                       |          |                      |          |          |         |    |    |    | PROSJEK    | 49 |
| STANDARDNA DEVIJACIJA | 2,309401 | 2                    | 1,154701 | 4,320494 | 3,05505 | 2  | 2  | 4  | 1,15470054 |    |



Slika 53 Postupak iščitavanja tlačne čvrstoće preko prosječne vrijednosti dobivene sklerometrom; pozicija B-K-1-1

Vidljivo je kako ispitivanjem u laboratoriju dobivena vrijednost tlačne čvrstoće 45,1 MPa (Tablica 10) dok je ispitivanjem in situ pomoću sklerometra dobiveno približno 58 MPa. Time se može zaključiti kako je na ovoj poziciji tlačna čvrstoća doivena pomoću skelrometra veća, a uzrok tome može biti to da se sklerometar nalazio na zrnima agregata koja su veće dimenzije te su zbog toga dobivni veći rezultati.

### ➤ PULL OFF

Na lokaciji B-K-1-1 (Slika 33) postavljeno je 5 ispitnih uzoraka. Na svim ispitnim uzorcima vidljivo je kako se slom dogodio u betonu (Slika 54 - Slika 58).





Slika 54 Prikaz sloma prilikom ispitivanja pull off metodom na poziciji B-K-1-1 (ispitni uzorak broj 1)



Slika 55 Prikaz sloma prilikom ispitivanja pull off metodom na poziciji B-K-1-1 (ispitni uzorak broj 2)



Slika 56 Prikaz sloma prilikom ispitivanja pull off metodom na poziciji B-K-1-1 (ispitni uzorak broj 3)



Slika 57 Prikaz sloma prilikom ispitivanja pull off metodom na poziciji B-K-1-1 (ispitni uzorak broj 4)



**Slika 58** Prikaz sloma prilikom ispitivanja pull off metodom na poziciji B-K-1-1 (ispitni uzorak broj 5)

Pri ovom ispitivanju dobivene su veće vrijednosti rezultata ispitivanja. Razlog tome može biti to što se na toj lokaciji nalaze stupovi koji su betonirani većim razredom čvrstoće betona nego što je to slučaj kod ostalih lokacija. Rezultati su vidljivi u *Tablica 18*.

**Tablica 18** Prikaz rezultata ispitivanja pull off metodom na lokaciji B-K-1-1

| Stup; kat -1; B-K-1-1 |        |       | TIP SLOMA (gdje se slom dogodio) |
|-----------------------|--------|-------|----------------------------------|
| Pozicija              | kN     | Mpa   |                                  |
| 1                     | 4,384  | 2,23  | beton                            |
| 2                     | 3,021  | 1,53  | beton                            |
| 3                     | 3,23   | 1,64  | beton                            |
| 4                     | 4,077  | 2,07  | beton                            |
| 5                     | 3,189  | 1,62  | beton                            |
| PROSJEK               | 3,5802 | 1,818 |                                  |

Dobivanjem većih rezultata prilikom ispitivanja može se zaključiti kako je na ovoj lokaciji uistinu ugrađen beton veće čvrstoće što svakako dokazuju i sva dosadašnja ispitivanja kako ona u ovlaštenoj instituciji tako i ona in situ.

### 3.7.4 Podna ploča prizemlja (B-P-1)

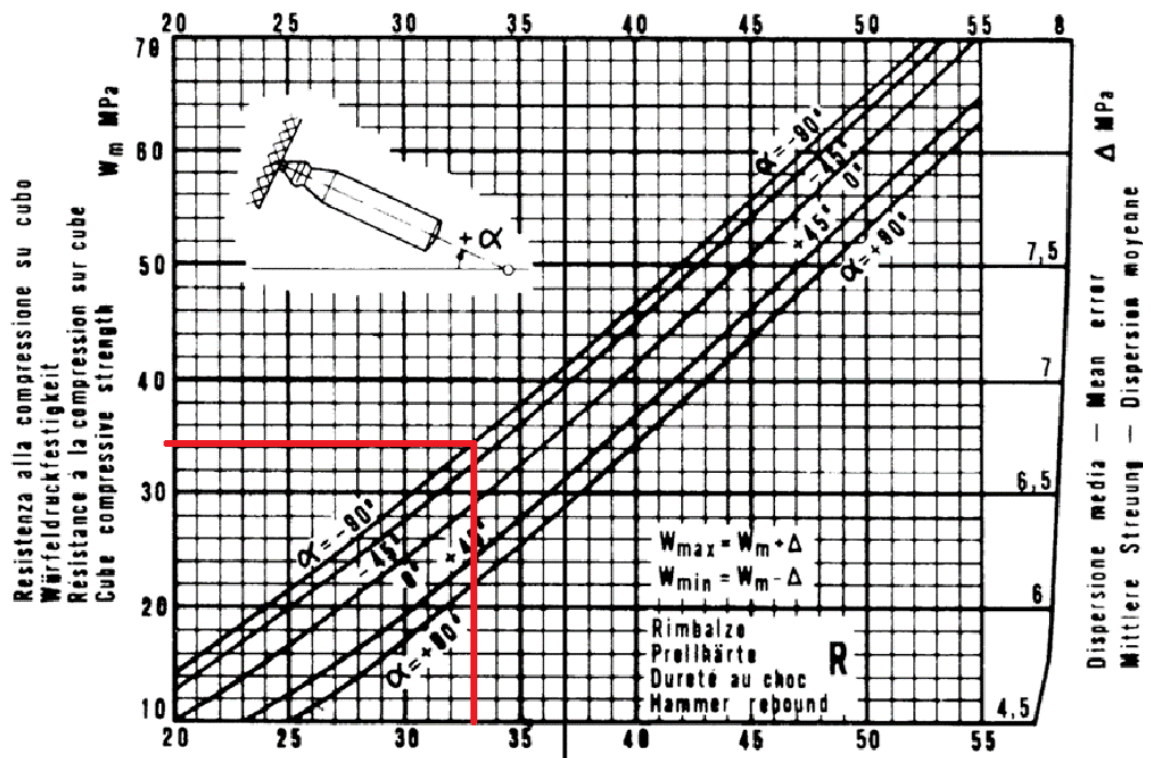


➤ SKLEROMETRIRANJE

U nastavku je prikaz dobivenih rezultata sklerometrom (*Tablica 19*). Na ovoj poziciji nije provedeno ispitivanje tlačne čvrstoće u laboratoriju od ovlaštene institucije.. Tlačna čvrstoća očitana je kako je prikazano na Slika 59)

*Tablica 19* Prikaz rezultata dobiveni in situ sklerometrom; pozicija B-P-1

|                          |  | PRIZEMLJE; podna ploča B-P-1 |          |          |          |          |          |          |          |           |
|--------------------------|--|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
|                          |  | 28                           | 30       | 28       | 30       | 30       | 26       | 28       | 26       | 34        |
|                          |  | 32                           | 28       | 30       | 32       | 42       | 32       | 32       | 34       | 40        |
|                          |  | 32                           | 32       | 30       | 36       | 42       | 32       | 36       | 38       | 42        |
|                          |  | 30                           | 32       |          | 36       | 40       |          | 36       | 38       | 36        |
|                          |  |                              |          |          |          |          |          |          | PROSJEK  | 33        |
| STANDARDNA<br>DEVIJACIJA |  | 1,658312                     | 1,658312 | 0,942809 | 2,598076 | 4,974937 | 2,828427 | 3,316625 | 4,898979 | 3,1622766 |



Slika 59 Postupak iščitavanja tlačne čvrstoće preko prosječne vrijednosti dobivene sklerometrom; pozicija B-P-1

Iz prikaza rezultata može se vidjeti kako je tlačna čvrstoća na tom mjestu približno 34 MPa (Slika 59).

➤ PULL OFF

Na lokaciji B-P-1 (Slika 32) postavljeno je 5 ispitnih uzoraka. Na svi ispitnim uzorcima dogodio se slom u betonu (Slika 60).



Slika 60 Prikaz sloma prilikom ispitivanja pull off metodom na lokaciji B-P-1

Prilikom ispitivanja na ovoj lokaciji dobivene su iznimno male vrijednosti čvrstoće. Jedan od razloga tome je to što je na poziciji podloga bila neravna te je pri lijepljenju lijepilo otišlo u pore betona a nije se jednoliko raširilo po površini ispitnih pločica. Na uzorcima je vidljivo kako je iz betona izvučen dio agregata međutim to se dogodilo pri vrlo malim silama (Tablica 20).

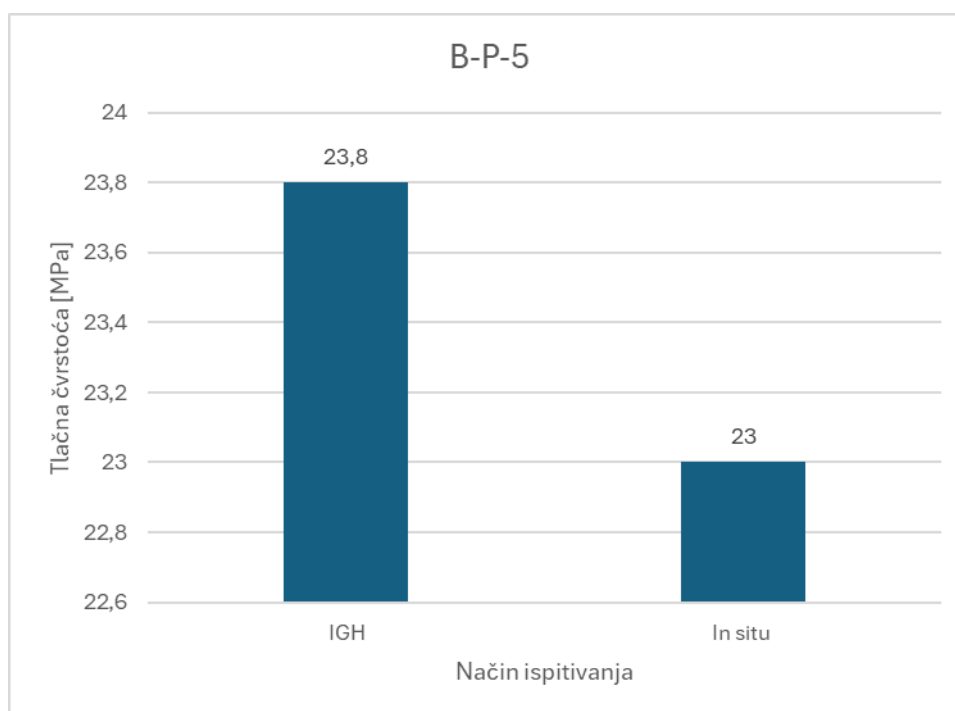
Tablica 20 Prikaz rezultata ispitivanja pull off metodom na lokaciji B-P-1

| Stropna ploča prizemlja; B-P-1 |        |      | TIP SLOMA (gdje se slom dogodio) |
|--------------------------------|--------|------|----------------------------------|
| Pozicija                       | kN     | Mpa  |                                  |
| 1                              | 0,252  | 0,12 | beton                            |
| 2                              | 0,349  | 0,17 | beton                            |
| 3                              | 0,6    | 0,3  | beton                            |
| 4                              | 0,706  | 0,35 | beton                            |
| 5                              | 0,609  | 0,31 | beton                            |
| PROSJEK                        | 0,5032 | 0,25 |                                  |

### 3.7.5 Zid prizemlja (B-P-5)

#### ➤ SKLEROMETRIRANJE

U nastavku je prikazan graf koji prikazuje usporedbu rezultata dobivenih ispitivanjem ovlaštene institucije i in situ ispitivanjem (Slika 61)



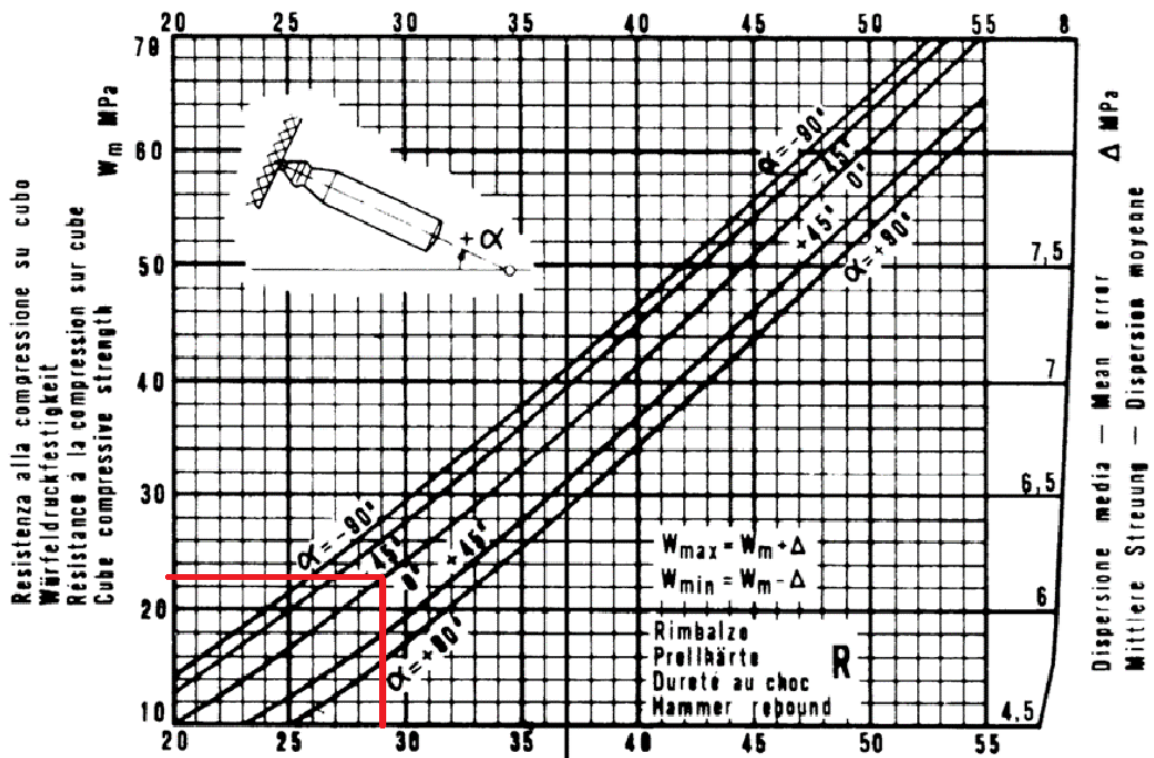
Slika 61 Graf prikazuje usporedbu rezultata ovlaštene institucije i in situ rezultata (B-P-5)

Podatak o in situ tlačnoj čvrstoći dobiven je na način da se izračunao prosjek očitanih indeksa sklerometra (Tablica 21) te se na temelju dobivene prosječne vrijednosti i odgovarajućeg dijagrama prikazanog na Slika 61 očitala tlačna čvrstoća

betona. Tlačna čvrstoća i pozicija sklerometra u odnosu na betonsku konstrukciju vidljivi su na Slika 62.

Tablica 21 Prikaz rezultata dobiveni in situ sklerometrom; pozicija B-P-5

|                          | PRIZEMLJA; zid B-P-5 |          |          |          |          |    |          |          |            |  |
|--------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----|----------|----------|------------|--|
|                          | 26                   | 28       | 32       | 26       | 22       | 22 | 28       | 30       | 26         |  |
|                          | 24                   | 30       | 34       | 20       | 30       | 28 | 32       | 30       | 28         |  |
|                          | 32                   | 36       | 38       | 26       | 30       | 26 | 32       | 28       | 30         |  |
|                          | 34                   | 36       |          |          | 36       | 20 | 36       |          | 26         |  |
|                          |                      |          |          |          |          | 28 |          |          | 22         |  |
|                          |                      |          |          |          |          | 32 |          |          |            |  |
|                          |                      |          |          |          |          |    |          |          |            |  |
|                          |                      |          |          |          |          |    |          | PROSJEK  | 29         |  |
| STANDARDNA<br>DEVIJACIJA | 4,123106             | 3,570714 | 2,494438 | 2,828427 | 4,974937 | 4  | 2,828427 | 0,942809 | 2,65329983 |  |



Slika 62 Postupak iščitavanja tlačne čvrstoće preko prosječne vrijednosti dobivene sklerometrom; pozicija B-P-5

Možemo vidjeti kako je ispitivanjem u laboratoriju dobivena vrijednost tlačne čvrstoće 23,8 MPa (Tablica 10) dok je ispitivanjem in situ pomoću sklerometra dobiveno približno 23 MPa. Time se može zaključiti kako je na ovoj poziciji podudarnost primijenjenih metoda ispitivanja za određivanje tlačne čvrstoće vrlo dobra.



### 3.8 Prijedlog sanacije na temelju rezultata ispitivanja

#### 3.8.1 Stropna ploča depadanse

Depadansa je tlocrtno pravilnog oblika visine 2 etaže odnosno prizemlje i kat (Slika 63).



Slika 63 Satelitski snimak hotela Panorama (žuta oznaka=depadansa) [13]



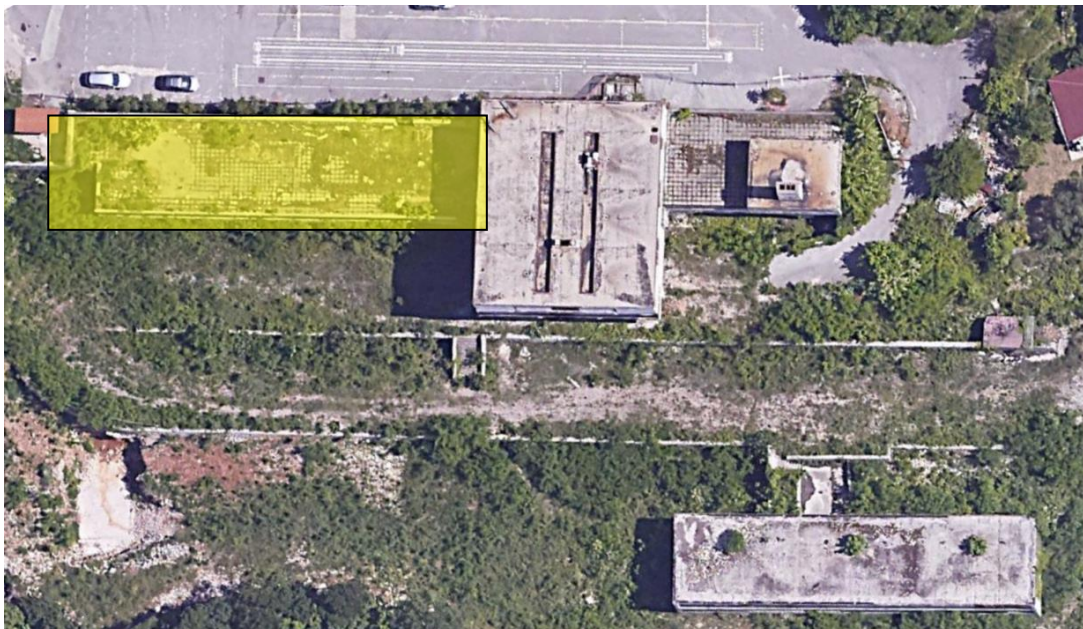
Slika 64 Depadansa , pogled prema jugu [13]

Na depadansi (Slika 64) provedena su ispitivanja ovlaštene institucije gdje su određivali tlačnu čvrstoću, dubinu karbonatizacije te prolaz klorida u beton. Ispitivanja su se provela na način da je u krovnoj gredi visine 106mm probušen valjak promjera 105mm te je valjak uzet u laboratorij. U laboratoriju je izmjera tlačna čvrstoća valjka od 16 MPa te dubina karbonatizacije koja je iznosila 225-235mm što

je zapravo predstavljalo cijelu dužinu izvađenog uzorka. Jedinim pozitivnim prikazan je sadržaj klorida u betonu koji nije bio u kritičnom području sa vrijednosti 0,06% u odnosu na masu betona. Iz svih navedenih ispitivanja krovne grede koja nosi krovnu ploču depadanse može se zaključiti kako je najbolje rješenje zamjena cijele krovne ploče kao i greda koje ju nose. Razlog tome su premala tlačna nosivost greda te prevelik prolazak karbonata kroz gredu koji utječe na koroziju armature.

### 3.8.2 Zapadne sobe- terasa

Ploča terase u vremenu kad je hotel bio u funkciji bila je dio ugostiteljskog djela gdje su bili postavljeni stolovi za goste restorana (Slika 65). Ploča tijekom vremena nije bila na nikakav način zaštićena te je kroz godine obrasla zelenilom (Slika 66).



Slika 65 Satelitski snimak hotela Panorama (žuta oznaka=ploča terase) [13]





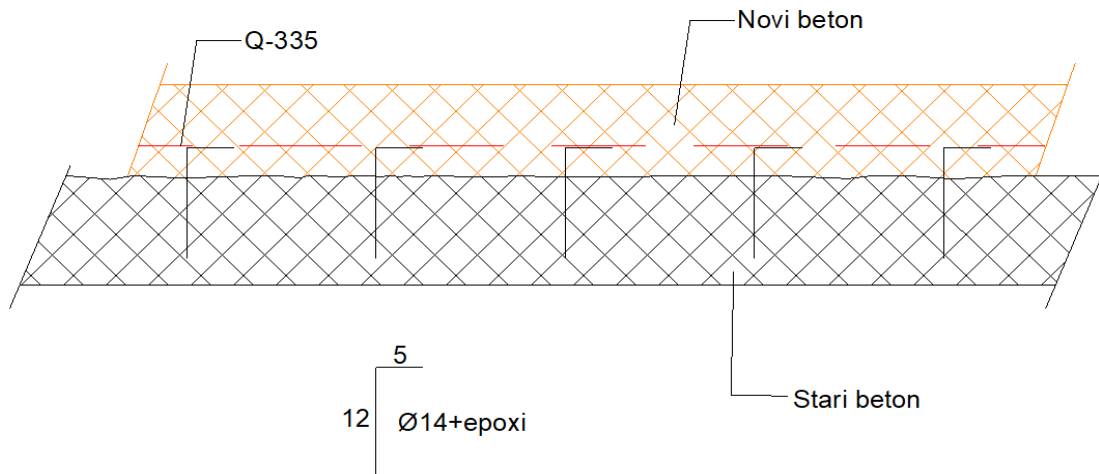
Slika 66 Pogled sa terase prema glavnom objektu [13]

Ploča je na nekoliko mjesta izbušena kako bi se voda koja se na njoj skupljala mogla negdje otjecati (Slika 67). Voda koja je stajala na ploči ostavila je posljedice. Ispitivanjem je utvrđeno kako je tlačna čvrstoća ploča 48 MPa, a dubina karbonatizacije je 24mm mjereno od gornje strane ploče te 30mm mjereno sa donje strane ploča.



Slika 67 Prikaz zadržavanja vode na ploči terase [13]

Novim projektom ploča bi kao i u davnim vremenima služila kao dio restorana te je zaključeno kako bi najbolje rješenje s obzirom na potrebu veće nosivosti bilo hidrodemoliranje postojeće ploče te postavljanje nove armature i betoniranje nove tlačne ploče debljine 5-10 cm pri čemu bi se nova armatura povezala sa starom armaturom (Slika 68).



Slika 68 Prijedlog izrade nove betonske ploče na postojećoj ploči te povezivanje armature



## 4. ZAKLJUČAK

Ovim radom detaljno se analizirala trajnost betonskih konstrukcija mogući uzroci oštećenja, metode ispitivanja, sanacija te različite pristupe projektiranju i održavanju konstrukcija. Kroz teorijski dio, rad objašnjava osnovne pojmove trajnosti, utjecaj vanjskih čimbenika koji degradiraju betonsku konstrukciju kao što su karbonatizacija, kloridna korozija i segregacija, te tehničke propise i norme koje reguliraju da se konstrukcija izvede na pravilan i siguran način.

Praktični dio rada usmjeren je na primjer hotela Panorama gdje su prikazana postojeća oštećenja betonske konstrukcije, provedena ispitivanja, ocjena postojećeg stanja konstrukcije te prijedlog sanacije. U tu svrhu provedena su ispitivanja tlačne čvrstoće betona, dubine karbonatizacije i sadržaja kloride. Analiza svih rezultata pokazala je određene nedostatke i propadanje materijala uslijed dugotrajne izloženosti vanjskim uvjetima. Beton na mjestima pokazuje značajne znakove oštećenja, što je posebno vidljivo na pločama koje su bile izložene vodi i vlazi. Usporedbom rezultata ispitivanja dobivenih od ovlaštene institucije i rezultata vlastitih in situ ispitivanja dobivena je dobra korelacija između indeksa sklerometra i tlačne čvrstoće određene na valjcima izvađenim iz konstrukcije na temelju čega je zaključeno da je korištena nerazorna metoda ispitivanja dovoljno pouzdana za procjenu tlačne čvrstoće betona u konstrukciji. Time se može potvrditi pouzdanost in situ metoda ispitivanja.

Identificirana oštećenja betonskih konstrukcija hotela uključuju pukotine i koroziju armature, uzrokovane prvenstveno utjecajem klorida i karbonata. Predložene metode sanacije uključuju primjenu inhibitora korozija, premaza i popravke strukturnih oštećenja, uz korištenje suvremenih materijala i tehnologija.

Zaključno, trajnosti betonskih konstrukcija može se značajno poboljšati kombinacijom pravilnog projektiranja, kvalitete izvedbe i redovitog nadzora. Moraju se poštivati tehnički propisi i norme te se na taj način osigurava kvaliteta i sigurnost betonskih konstrukcija.

## LITERATURA

- [1] J. Radić i suradnici, Betonske konstrukcije 4, Sanacija, Zagreb, 2010.
- [2] J. Radić, J. Bleiziffer, I. Kalafatić, Novi pristup osiguranju trajnosti konstrukcije, Građevinar 62, 2010.
- [3] J. Radić , Trajnost konstrukcija 1, Zagreb, 2010.
- [4] M. Šahinagić-Isović, G .Markovski, M. Čećež , Deformacije skupljanja betona-uzroci i vrste, Građevinar 9/2012.
- [5] <https://www.ultratehcement.com/>
- [6] J. Šelih, Procesi propadanja betona, 1.dio, Zagreb 2006
- [7] I. Jurga, V. Šimunović, I. Stojanović, V. Alar, Mehanizmi zaštite od korozije, Zagreb, 2012.
- [8] D. Bjegović, N. Štrimer, Teorija i tehnologija betona, Mjerne metode, Zagreb, 2022.
- [9] A. Radević Teorija i tehnologija betona , Ispitivanje betona metodama bez razaranja, Beograd, 2020.
- [10] I. Gukov; Betonske konstrukcije I, Zagreb, 2022.
- [11] Institut IGH , Izvještaji o ispitivanju, 2024.
- [12] F. Radić; Uzroci oštećenja betonskih konstrukcija ; Završni rad; Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek ; 2021
- [13] B. Kirinčić ; P.Mrak; Elaborat analize postojeće nosive konstrukcije u pogledu mehaničke otpornosti i stabilnosti zgrade , Njivice, 2024.
- [14] Časopis m-Kvadrat ;Građevinarstvo i arhitektura, 2023.

## PRILOZI

### Zakonska regulativa

#### *Tehnički propisi:*

- Tehnički propis za građevinske konstrukcije (NN 17/17, 75/20, 07/22)
- Tehnički propis o građevnim proizvodima ( NN 35/2018, 104/19)
- Tehnički propis kojim se utvrđuju tehničke specifikacije za građevne proizvode u usklađenom području ( NN 4/15, 24/15, 93/15, 133/15, 36/16, 58/16, 104/16, 28/17, 88/17, 29/18, 43/19)
- Tehnički propis za betonske konstrukcije (NN139/2009, 136/2012, 85/2006, 14/2010, 125/2010, 101/2005, 64/2007)

#### *Zakoni:*

- Zakon o gradnji (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19)
- Zakon o tehničkim zahtjevima za proizvode i ocjenjivanje sukladnosti (NN 126/21, 80/13, 14/14)
- Zakon o građevnim proizvodima (NN 118/20, 130/17, 39/19, 76/13, 30/14)
- Zakon o poslovima i djelatnostima prostornog uređenja i gradnje (NN 78/15, 118/18, 110/19)
- Zakon o prostornom uređenju (NN 153/13, 65/17, 114/18, 39/19, 98/19, 67/23)
- Zakon o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara ( NN 69/99, 151/03, 157/03)

#### *Pravilnici:*

- Pravilnik o kontroli projekata (NN 32/14)
- Pravilnik o nostrifikaciji projekata (NN 98/99, 29/03, 20/17)
- Pravilnik o tehničkom pregledu građevine ( NN )
- Pravilnik o obveznom sadržaju i opremanju projekata građevine (NN 118/19, 65/20)
- Pravilnik o održavanju građevine (NN 122/2014)

## Osnovni propisi

### *Europske norme:*

- HRN EN 1990 Eurokod 0: Osnove projektiranja konstrukcija
- HRN EN 1991-1-1:2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-1: Opća djelovanja – Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja zgrada
- HRN EN 1991-1-1:2012/NA:2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-1: Opća djelovanja – Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja za zgrade – Nacionalni dodatak
- HRN EN 1991-1-4:2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanja vjetra (EN 1991-1-4:2005+AC:2010+A1:2010)
- HRN EN 1991-1-4:2012/NA:2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanja vjetra – Nacionalni dodatak
- HRN EN 1991-1-3:2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-3: Opća djelovanja -- Opterećenja snijegom (EN 1991-1-3)
- HRN EN 1991-1-3:2012/NA:2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-3: Opća djelovanja -- Opterećenja snijegom -- Nacionalni dodatak
- HRN EN 1998-1:2011/A1:2014 Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (EN 1998-1:2004/A1:2013)
- HRN EN 1998-1:2011/NA:2011 Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade -- Nacionalni dodatak
- HRN EN 1992-1-1 Eurokod 2: Projektiranje betonski konstrukcija – dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade
- HRN EN 1992-1-1/NA Eurokod 2: Projektiranje betonski konstrukcija – dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade – Nacionalni dodatak
- HRN EN 1992-1-2 Eurokod 2: Projektiranje betonski konstrukcija – dio 1-2: Opća pravila – Proračun konstrukcija na djelovanje požara

- HRN EN 1992-1-2/NA Eurokod 2: Projektiranje betonski konstrukcija – dio 1-2: Opća pravila – Proračun konstrukcija na djelovanje požara – Nacionalni dodatak
- HRN EN 1504-10 Proizvodi i sustavi za zaštitu i popravak betonski konstrukcija – definicije, zahtjevi, kontrola kvalitete i vrednovanje sukladnosti – 10. dio: Primjena proizvoda i sustava na gradilištu i kontrola kvalitete radova
- HRN EN 1766:2017 Proizvodi i sustavi za zaštitu i popravak betonskih konstrukcija -- Metode ispitivanja -- Referentni betoni za ispitivanje

*Međunarodne norme:*

- HRN ISO 15686-1 Planiranje uporabnog vijeka konstrukcije
- HRN ISO 15686-5 Planiranje uporabnog vijeka – 5.dio: Trošak životnog ciklusa
- HRN ISO 15686-8 Planiranje uporabnog životnog vijeka—8.dio: Referentni uporabni vijek i njegova procjena

## POPIS SLIKA I TABLICA

### POPIS SLIKA:

|   |    |
|---|----|
| Slika 1 Mjerodavni razredi izloženosti višekratne zgrade.....   | 7  |
| Slika 2 Održivi vijek korištenja građevina [1] .....  | 10 |
| Slika 3 Skupljanje cementnog morta uslijed sušenja i karbonatizacije pri različitim vlažnostima [3].....                          | 19 |
| Slika 4 Objašnjenje kemijske reakcije u odnosu na vrijeme [13].....   | 20 |
| Slika 5 Objašnjenje kemijske reakcije kojom dolazi do korozije armature [1].....  | 21 |
| Slika 6 Utjecaj kvalitete betona i okoliša na kritičnu koncentraciju klorida [1] .....  | 23 |
| Slika 7 Plastične pukotine [14] .....   | 25 |
| Slika 8 Mrežaste pukotine [14] .....  | 25 |
| Slika 9 Pukotine uslijed temperaturnih promjena ili dugotrajnog skupljanja [14] .....   | 26 |
| Slika 10 Konstrukcijske pukotine [14].....  | 27 |
| Slika 11 Pukotine uslijed korozije armature [14] .....  | 27 |
| Slika 12 Segregacija betona .....   | 28 |
| Slika 13 Pravilan odabir za sanaciju i zaštitu AB konstrukcija .....  | 35 |
| Slika 14 Satelitska snimka hotela Panorama .....  | 37 |
| Slika 15 Centralni objekt hotela Panorama .....   | 37 |
| Slika 16 Karakteristični presjek hotela Panorama .....  | 38 |
| Slika 17 Odnos marke betona i razreda tlačne čvrstoće [1].....  | 38 |
| Slika 18 Korišteni stil zidanja [13].....   | 39 |
| Slika 19 Propisi u vrijeme građenja [13] .....  | 39 |
| Slika 20 Kvaliteta i parametri čelika [13].....   | 40 |
| Slika 21 Radni dijagram čelika č37 [13] .....   | 41 |
| Slika 22 Usporedba radnih dijagrama čelika č37 i ga 240/360 [13] .....  | 41 |
| Slika 23 Porobeton ili plinobeton .....   | 42 |
| Slika 24 Na suterenskoj etaži vidljivo kako voda prodire kroz ploču te dolazi do opadanja žbuke [13].....                         | 44 |
| Slika 25 Čelični stup i greda koji se nalaze u prizemlju i na prvom katu konstrukcije te je vidljivo listanje čelika [13].....    | 44 |
| Slika 26 Vanjski dijelovi konstrukcije na kojima je vidljiva armatura koja je korodirala i nema zaštitnog sloja betona [13] ..... | 45 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 27 Vidljiva korozija armature u stropnoj ploči te opadanje zaštitnog sloja betona zbog velike količine vlage [13] .....                             | 45 |
| Slika 28 Pogleda na konstrukcije sa vanjske strane gdje je vidljivo korodiranje armature i čeličnih dijelova konstrukcije [13] .....                      | 46 |
| Slika 29 Ploča terase koja je pod stalnih utjecajem atmosferilija i na kojoj se zadržava voda koja utječe na armaturu ploče ali i na sami beton [13]..... | 46 |
| Slika 30 Karakteristični presjek hotela Panorama [13].....  | 47 |
| Slika 31 Tlocrt 1 kata centralnog objekta [13].....   | 48 |
| Slika 32 Tlocrt prizemlja centralnog objekta te pomoćnog objekta dućana [13].....   | 49 |
| Slika 33 Tlocrt etaže -1 centralnog objekta [13].....   | 49 |
| Slika 34 Tlocrt etaže -2 centralog objekta te prvog kata pomoćnog objekta „depadanse“ [13] .....  | 50 |
| Slika 35 Tlocrt prizemlja pomoćnog objekta „depadanse“ [13] .....   | 50 |
| Slika 36 Prikaz prolaska karbonata kroz cijeli ispitani uzorak [11] .....   | 52 |
| Slika 37 Prikaz dijela uzorka koji sadrži karbonate te dijela uzorka koji je zaštićen od karbonata (obojano crveno) [11] .....                            | 53 |
| Slika 38 Terenska ispitivanja karakteristika armature [13].....   | 55 |
| Slika 39 Sklerometar [9].....   | 56 |
| Slika 40 In situ ispitivanje pull off metodom [9].....  | 57 |
| Slika 41 Odnos tlačne čvrstoće i čvrstoće prionjivosti [8] .....  | 58 |
| Slika 42 Prikaz pripremljenih mjernih alata za ispitivanje pull off metodom (B-P-1) .....   | 59 |
| Slika 43 Prikaz pripremljenih mjernih alata za ispitivanje pull off metodom (B-P-4) .....   | 59 |
| Slika 44 Prikaz pripremljenih mjernih alata za ispitivanje pull off metodom (B-K-1) .....   | 60 |
| Slika 45 Prikaz pripremljenih mjernih alata za ispitivanje pull off metodom (B-K-1-1).....  | 60 |
| Slika 46 Graf prikazuje usporedbu rezultata ovlaštene institucije i in situ rezultata (B-P-4) .....   | 61 |
| Slika 47 Postupak iščitavanja tlačne čvrstoće preko prosječne vrijednosti dobivene sklerometrom; pozicija B-P-4 .....                                     | 62 |
| Slika 48 Prikaz sloma uslijed pull off ispitivanja.....   | 63 |
| Slika 49 Graf prikazuje usporedbu rezultata ovlaštene institucije i in situ rezultata (B-K1-1) .....  | 64 |
| Slika 50 Postupak iščitavanja tlačne čvrstoće preko prosječne vrijednosti dobivene sklerometrom; pozicija B-K1-1 .....                                    | 65 |
| Slika 51 Prikaz sloma uslijed ispitivanja pull off metodom na lokaciji B-K1-1.....  | 66 |
| Slika 52 Graf prikazuje usporedbu rezultata ovlaštene institucije i in situ rezultata (B-K-1-1) .....   | 68 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 53 Postupak iščitavanja tlačne čvrstoće preko prosječne vrijednosti dobivene sklerometrom; pozicija B-K-1-1 ..... | 69 |
| Slika 54 Prikaz sloma prilikom ispitivanja pull off metodom na poziciji B-K-1-1 (ispitni uzorak broj 1) .....           | 70 |
| Slika 55 Prikaz sloma prilikom ispitivanja pull off metodom na poziciji B-K-1-1 (ispitni uzorak broj 2) .....           | 70 |
| Slika 56 Prikaz sloma prilikom ispitivanja pull off metodom na poziciji B-K-1-1 (ispitni uzorak broj 3) .....           | 71 |
| Slika 57 Prikaz sloma prilikom ispitivanja pull off metodom na poziciji B-K-1-1 (ispitni uzorak broj 4) .....           | 71 |
| Slika 58 Prikaz sloma prilikom ispitivanja pull off metodom na poziciji B-K-1-1 (ispitni uzorak broj 5) .....           | 72 |
| Slika 59 Postupak iščitavanja tlačne čvrstoće preko prosječne vrijednosti dobivene sklerometrom; pozicija B-P-1 .....   | 73 |
| Slika 60 Prikaz sloma prilikom ispitivanja pull off metodom na lokaciji B-P-1 .....                                     | 74 |
| Slika 61 Graf prikazuje usporedbu rezultata ovlaštene institucije i in situ rezultata (B-P-5) .....                     | 75 |
| Slika 62 Postupak iščitavanja tlačne čvrstoće preko prosječne vrijednosti dobivene sklerometrom; pozicija B-P-5 .....   | 76 |
| Slika 63 Satelitski snimak hotela Panorama (žuta oznaka=depadansa).....   | 77 |
| Slika 64 Depadansa , pogled prema jugu.....   | 77 |
| Slika 65 Satelitski snimak hotela Panorama (žuta oznaka=ploča terase) .....   | 78 |
| Slika 66 Pogled sa terase prema glavnom objektu.....  | 79 |
| Slika 67 Prikaz zadržavanja vode na ploči terase .....  | 79 |
| Slika 68 Prijedlog izrade nove betonske ploče na postojećoj ploči te povezivanje armature .....                         | 80 |

## **POPIS TABLICA:**

|  |          |
|--|----------|
| <i>Tablica 1 Razredi izloženosti prema HRN EN 1992-1-1:2013 i HRN EN 206:2014 i HRN 1128:2007 [3].....</i> | <i>5</i> |
| <i>Tablica 2 Prikaz odabira cementa ovisno o razredu izloženosti [3].....</i>                              | <i>7</i> |
| <i>Tablica 3 Debljina zaštitnog sloja .....</i>  | <i>8</i> |



|  |           |
|--|-----------|
| <i>Tablica 4 Kategorije proračunskog uporabnog vijeka .....</i>                            | <i>9</i>  |
| <i>Tablica 5 Prikaz razine oštećenja prema CEB-u [2] .....</i>                             | <i>11</i> |
| <i>Tablica 6 Prikaz kategorije oštećenja [2] .....</i>                                     | <i>11</i> |
| <i>Tablica 7 Načela i postupci sanacije i zaštite [3] .....</i>                            | <i>12</i> |
| <i>Tablica 8 Utjecaj vlažnosti na brzinu različitih procesa propadanja betona .....</i>    | <i>16</i> |
| <i>Tablica 9 Klasifikacija pukotina [1] .....</i>  | <i>24</i> |
| <i>Tablica 10 Tabelarni prikaz rezultata ispitivanja tlačne čvrstoće i gustoće .....</i>   | <i>51</i> |
| <i>Tablica 11 Prikaz sadržaja klorida u ispitnim uzorcima uzetim na konstrukciji .....</i> | <i>54</i> |
| <i>Tablica 12 Nalaz armature u konstrukciji .....</i>                                      | <i>55</i> |
| <i>Tablica 13 Prikaz rezultata dobiveni in situ sklerometrom; pozicija B-P-4 .....</i>     | <i>62</i> |
| <i>Tablica 14 Prikaz rezultata ispitivanja na poziciji B-P-4 .....</i>                     | <i>63</i> |
| <i>Tablica 15 Prikaz rezultata dobiveni in situ sklerometrom; pozicija B-K1-1 .....</i>    | <i>65</i> |
| <i>Tablica 16 Prikaz rezultata ispitivanja pull off metodom na lokaciji B-K1-1 .....</i>   | <i>67</i> |
| <i>Tablica 17 Prikaz rezultata dobiveni in situ sklerometrom; pozicija B-K-1-1 .....</i>   | <i>68</i> |
| <i>Tablica 18 Prikaz rezultata ispitivanja pull off metodom na lokaciji B-K-1-1 .....</i>  | <i>72</i> |
| <i>Tablica 19 Prikaz rezultata dobiveni in situ sklerometrom; pozicija B-P-1 .....</i>     | <i>73</i> |
| <i>Tablica 20 Prikaz rezultata ispitivanja pull off metodom na lokaciji B-P-1 .....</i>    | <i>75</i> |
| <i>Tablica 21 Prikaz rezultata dobiveni in situ sklerometrom; pozicija B-P-5 .....</i>     | <i>76</i> |