

# UPORABA DRONOVA U PROCJENI POTRESNE OTPORNOSTI POSTOJEĆIH GRAĐEVINA

---

**Bajić, Lucijano**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:375461>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-12**

*Repository / Repozitorij:*

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





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Lucijano Bajić

**UPORABA DRONOVA U PROCJENI POTRESNE  
OTPORNOSTI POSTOJEĆIH GRAĐEVINA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Mislav Stepinac

Zagreb, godina 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Lucijano Bajić

**The use of UAVs in assessing seismic  
resistance of existing buildings**

MASTER THESIS

Supervisor: Associate Professor Mislav Stepinac

Zagreb, year 2024.



**OBRAZAC 3**

**POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA**

Student/ica :

(Ime i prezime)

(JMBAG)

zadovoljio/la je na pisanom dijelu diplomskog rada pod naslovom:

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

(Naslov teme diplomskog rada na engleskom jeziku)

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

(Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

(Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)

Datum:

Mentor:

Potpis mentora:

Komentor:



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja :

Lucijano Bajić, 0082065055

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio diplomskog rada pod naslovom:

UPORABA DRONOVA U PROCJENI POTRESNE OTPORNOSTI POSTOJEĆIH GRAĐEVINA

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum:

18.9.2024.

Potpis:



OBRAZAC 6

IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Ja :

Lucijano Bajić, 30934699222

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela diplomskog rada i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela diplomskog rada pod naslovom:

UPORABA DRONOVA U PROCJENI POTRESNE OTPORNOSTI POSTOJEĆIH GRAĐEVINA

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom diplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

izv. prof. dr. sc. Mislav Stepinac

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

26.9.2024.

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio diplomskog rada u cijelosti bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum:

18.9.2024.

Potpis:

## ZAHVALE

*Neizmjernu zahvalnost dugujem svom iznimnom mentoru, izv. prof. dr. sc. Mislavu Stepincu, čija je nesebična podrška i stručna pomoć kroz studij i tijekom pisanja ovog rada, bila neprocjenjiva.*

*Zahvaljujem svim profesorima i asistentima Građevinskog fakulteta na prenesenom znanju i iskustvima koja su mi omogućila da rastem, kako akademski, tako i osobno. Vaše lekcije nadilaze knjige i predavaonice – one su vodiči za budućnost.*

*Posebnu zahvalnost dugujem Milanu Domazetu i Ivanu Vidakoviću iz tvrtke Air-RMLD, čija je velikodušna pomoć omogućila snimanje dronom koje je bilo od velikog značaja za ovaj rad. Bez vas, ovo istraživanje ne bi bilo ovako uspješno.*

*Hvala svim svojim kolegicama i kolegama, kao i prijateljima, čije su šale, podrška i zajednički rad učinili ovo putovanje lakšim i zabavnijim.*

*Veliko hvala mojoj obitelji, koja je mudro odlučila ne provjeravati svaki moj akademski korak, ali je uvijek bila tu kad je trebalo pružiti podršku i vjerovati u mene.*

*Mom dragom prijatelju Ivanu Roku Draganu hvala na motivaciji i pravim riječima onda kad su bile najpotrebnije.*

*Na kraju, hvala mojoj predivnoj djevojci Marti na beskrajnom strpljenju i podršci. Tvoja ljubav i razumijevanje nemaju cijenu.*

## SAŽETAK

Ovaj rad istražuje uporabu dronova u procjeni potresne otpornosti postojećih građevina. Nakon potresa 2020. godine na području Zagreba i Siska, postaje ključno razviti sigurnije i učinkovitije metode prikupljanja podataka o građevinskim objektima. Primjena dronova, u kombinaciji s naprednim sustavima za obradu podataka, omogućuje daljinsku procjenu građevina. Značajna prednost primjene osobito je izražena prilikom procjene teško dostupnih dijelova, poput krovova i dimnjaka, čime se izbjegava izlaganje inženjera opasnim situacijama i ubrzava proces. U radu je napravljen kritički osvrt na izazove s kojima se suočava primjena dronova te je predložena daljnja optimizacija ovih metoda za budućnost. U drugom dijelu rada napravljena je studija slučaja u kojoj je prikazana praktična primjena nekih od metoda. Za snimanje i analizu 11 odabranih građevina korišten je dron opremljen RGB kamerom i LIDAR senzorom, pri čemu su dobiveni podaci obrađeni posebnim softverskim alatima. Također je napravljena makroseizmička analiza kako bi se utvrdila oštetljivost analiziranih građevina na potres. Rezultati rada pokazuju kako dronovi značajno pridonose procjeni potresnog rizika, omogućujući brži i sigurniji pristup, osobito u urbanim sredinama.

**Ključne riječi:** dronovi; makroseizmička analiza; LIDAR tehnologija; RGB kamera; seizmički rizik.



## SUMMARY

This paper explores the use of drones in assessing the seismic resistance of existing buildings. After the 2020 earthquakes in the Zagreb and Sisak regions, it became crucial to develop safer and more efficient methods for collecting data on buildings. The use of drones, combined with advanced data processing systems, enables remote assessment of structures. The significant advantage of this approach is particularly evident when evaluating hard-to-reach areas, such as roofs and chimneys, reducing the risk to engineers and accelerating the process. The paper provides a critical review of the challenges associated with drone application and proposes further optimization of these methods. In the second part of the paper, a case study is presented to demonstrate the practical application of some of these methods. A drone equipped with an RGB camera and a LIDAR sensor was used to capture and analyze 11 selected buildings, with the data processed using specialized software tools. A macroseismic analysis was also conducted to assess the vulnerability of the analyzed buildings to earthquakes. The results show that drones significantly contribute to seismic risk assessment, providing faster and safer access, especially in urban areas.

**Key words:** drones; macroseismic analysis; LIDAR technology; RGB camera; seismic risk;

**SADRŽAJ**

<b>ZAHVALE</b> .....	<b>v</b>
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>vi</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. METODE I TEHNIKE RADA</b> .....	<b>2</b>
2.1. Istraživačke aktivnosti .....	2
2.1.1. Proučavanje dostupne literature .....	2
2.1.2. Prikupljanje podataka pomoću drona.....	2
2.2. Programska rješenja .....	3
2.3. Postupak obrade podataka .....	4
<b>3. UPORABA DRONOVA U GRAĐEVINARSTVU</b> .....	<b>5</b>
3.1. Dronovi u projektiranju .....	5
3.1.1. Odabir odgovarajuće lokacije.....	5
3.1.2. Geodetsko snimanje i kartiranje terena.....	6
3.2. Dronovi u izvođenju građevinskih radova.....	8
3.2.1. Praćenje zemljanih radova .....	8
3.2.2. Kontrola kvalitete i praćenje vremenskog plana .....	9
3.2.3. Praćenje sigurnosti na gradilištu .....	10
3.3. Dronovi u održavanju .....	12
3.3.1. Dron opremljen kamerom visoke rezolucije .....	12
3.3.2. Dron opremljen LIDAR tehnologijom .....	15
3.3.3. Dron opremljen termalnom kamerom.....	17
3.4. Dronovi za procjenu seizmičke otpornosti postojećih građevina.....	18
3.4.1. Motivacija za primjenu dronova .....	18
3.4.2. Dronovi nakon potresa.....	21
3.4.3. Pregled algoritama i alata strojnog učenja za automatsku detekciju oštećenja .....	24
3.4.4. Izazovi u implementaciji dronova .....	28
3.4.5. Uporaba dronova u budućnosti – prevladavanje izazova .....	31
<b>4. SEIZMIČKI RIZIK</b> .....	<b>33</b>
4.1. Seizmički hazard .....	33
4.2. Izloženost.....	35
4.3. Oštetljivost građevina .....	36
4.4. Makroseizmička metoda .....	38
4.4.1. Procjena oštetljivosti samostojećih zgrada .....	38
4.4.2. Procjena oštetljivosti zgrada u nizu.....	43
4.4.3. Ukupna ocjena oštetljivosti.....	46

---

<b>5. STUDIJA SLUČAJA</b> .....	<b>47</b>
5.1. Korištena oprema.....	48
5.2. Planiranje i priprema za letenje.....	49
5.3. Postupak ocjenjivanja oštećljivosti.....	51
5.4. Definiranje parametara za makroseizmičku metodu.....	53
5.4.1. Organizacija i karakteristike vertikalnih konstrukcija.....	53
5.4.2. Lokacija građevine i temeljenje.....	54
5.4.3. Tlocrtna distribucija nosivih elemenata.....	55
5.4.4. Tlocrtna nepravilnost.....	55
5.4.5. Pravilnost po visini.....	55
5.4.6. Tip međukatne konstrukcije.....	56
5.4.7. Krovšte.....	56
5.4.8. Detalji.....	57
5.4.9. Stanje građevine.....	58
5.4.10. Prisutnost susjednih jedinica različite visine.....	59
5.4.11. Položaj promatrane jedinice u bloku.....	60
5.4.12. Broj razmještenih katova.....	61
5.4.13. Konstruktivna ili tipološka heterogenost.....	62
5.4.14. Postotak razlike ploština otvora između susjednih fasada.....	63
5.5. Makroseizmička analiza - južno pročelje 1. bloka.....	66
5.5.1. Ulica Augusta Šenoje 17.....	67
5.5.2. Ulica Augusta Šenoje 19.....	68
5.5.3. Ulica Augusta Šenoje 21.....	69
5.5.4. Ulica Augusta Šenoje 23.....	70
5.5.5. Ulica Augusta Šenoje 25.....	71
5.5.6. Ulica Augusta Šenoje 27.....	72
5.6. Makroseizmička analiza – sjeverno pročelje 2. bloka.....	73
5.6.1. Ulica Augusta Šenoje 22.....	74
5.6.2. Ulica Augusta Šenoje 24.....	75
5.6.3. Ulica Augusta Šenoje 26.....	76
5.6.4. Ulica Augusta Šenoje 28.....	77
5.6.5. Ulica Augusta Šenoje 32.....	78
5.7. Rekapitulacija rezultata.....	79
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>81</b>
<b>POPIS LITERATURE</b> .....	<b>83</b>
<b>POPIS SLIKA</b> .....	<b>89</b>
<b>POPIS TABLICA</b> .....	<b>92</b>

## 1. UVOD

U Hrvatskoj i svijetu potresi su se pokazali kao događaji koji uzrokuju znatne materijalne štete te odnose brojne ljudske živote. Zgrade su glavni uzročnici stradavanja i velikih ekonomskih gubitaka (1), jer otpornost na djelovanje seizmičkih sila nije oduvijek razmatrana tijekom njihova projektiranja i gradnje. Stoga se procjena potresne otpornosti građevina nameće kao ključni korak u smanjenju rizika od potresa. Ubrzani rast urbanizacije, kao i nedostatak kvalitetnih baza podataka o starijim građevinama, dodatno otežavaju efikasnu procjenu seizmičkog rizika. Tradicionalne metode terenskih istraživanja, iako precizne, često su opasne, skupe i zahtijevaju puno vremena.

Uvođenje novih tehnologija, poput upotrebe dronova, može značajno unaprijediti procese prikupljanja podataka o građevinama. Dronovi omogućuju brzo i sigurno snimanje teško dostupnih dijelova zgrada, kao što su krovovi i dimnjaci, bez potrebe za izlaganjem inženjera opasnosti. Korištenjem različite opreme poput LIDAR senzora (2), RGB i termalne kamere (3), dronovi pružaju detaljan uvid u stanje građevina, omogućujući preciznu analizu strukture i identifikaciju potencijalnih oštećenja.

Ovaj rad se fokusira na primjenu dronova u procjeni seizmičke otpornosti postojećih zidanih građevina. Prikazat će se prednosti primjene suvremenih tehnologija, metode prikupljanja i obrade podataka, te će se razmotriti kako primjena dronova može unaprijediti procese procjene rizika i smanjiti opasnosti povezane s tradicionalnim metodama inspekcije.

## 2. METODE I TEHNIKE RADA

U ovom poglavlju objašnjene su metode i tehnike korištene u razradi teme, uključujući istraživačke aktivnosti, postupak prikupljanja podataka, te programske alate koji su korišteni za obradu i analizu podataka.

### 2.1. Istraživačke aktivnosti

Istraživačke aktivnosti u ovom radu obuhvaćaju dva ključna segmenta: proučavanje dostupne literature i prikupljanje podataka uporabom drona.

#### 2.1.1. Proučavanje dostupne literature

Kako bi se stvorio teoretski okvir za istraživanje, proveden je detaljan pregled dostupne literature koja se odnosi na primjenu dronova u građevinarstvu, procjenu seizmičkog rizika, te tehnike prikupljanja podataka i njihove obrade. Pregledani su znanstveni članci, knjige, tehnički priručnici, kao i dostupni online video materijali poput vodiča vezanih uz obradu podataka i softverskih rješenja za 3D modeliranje. Posebna pažnja posvećena je novijim istraživanjima koja povezuju primjenu dronova sa seizmičkom analizom i procjenom otpornosti postojećih građevina.

#### 2.1.2. Prikupljanje podataka pomoću drona

Drugi segment istraživanja odnosi se na terenski rad i prikupljanje podataka primjenom drona. Dron je korišten za snimanje postojećih građevina, pri čemu je fokus bio na krovničnim plohamama i identifikaciji karakteristika koje utječu na oštetljivost i ponašanje zgrada u potresu. Snimanje je provedeno dronom opremljenim s

- RGB kamerom za snimanje fotografija zgrada u visokoj rezoluciji, omogućujući detaljne vizualne inspekcije i analizu površinskih oštećenja.
- LIDAR senzorom za prikupljanje podataka o geometriji zgrada i okoliša, te generiranje 3D modela kroz oblak točaka

Prikupljanje podataka provedeno je u skladu s unaprijed definiranim područjem i rutama letenja, planiranim uzimajući u obzir sigurnosne protokole i relevantne dozvole za letenje drona nad urbanim područjem. Rute i kutevi snimanja definirani su s fokusom na krovne površine građevina. Na temelju prikupljenih podataka napravljena je studija slučaja opisana u posebnom poglavlju ovoga rada.

## 2.2. Programska rješenja

Za obradu podataka prikupljenih putem drona korišteno je nekoliko specijaliziranih softverskih alata. Svaki od njih imao je specifičnu ulogu u analizi i obradi podataka, a u ovom poglavlju opisani su najvažniji alati korišteni u radu:

### **Autodesk ReCap**

Autodesk ReCap igra ključnu ulogu u obradi podataka prikupljenih pomoću LIDAR senzora na dronu. Podaci prikupljeni LIDAR-om izvorno dolaze u formatu .LAS, koji nije izravno kompatibilan s Autodesk Revitom, softverom korištenim za daljnju analizu građevinskih elemenata prema korištenoj makroseizmičkoj metodi. ReCap je omogućio konverziju podataka iz formata .LAS u .RCP datoteke pretvarajući na taj način oblak točaka u 3D model. Osim same konverzije formata, u Autodesk ReCap-u napravljena je redukcija većeg broja točaka, kako bi se optimizirala veličina datoteke bez gubitka značajnih informacija vezanih uz promatrane zgrade. Na ovaj način, omogućena je jednostavnija i učinkovitija obrada u daljnjim koracima analize.

### **Autodesk Revit 2024**

Autodesk Revit korišten je za obradu ključnih parametara makroseizmičke metode za procjenu potresne otpornosti. Iako izravno nije moguće odrediti makroseizmičke razrede oštećljivosti, softver je omogućio detaljno definiranje i analizu konstrukcijskih elemenata zgrade, kao što su međukatne konstrukcije i površine otvora. Značaj primjene Revita vidljiva je i je prilikom proračuna ukupne površine otvora i fasada pojedinih građevina, kao i prilikom vizualizacije istih.

### **Pix4D Mapper**

Pix4D Mapper je softver za fotogrametriju koji je korišten za obradu podataka prikupljenih RGB kamerom na dronu. Ovaj alat omogućio je pretvaranje fotografija visoke rezolucije u ortomozaike i 3D modele. Vrlo korisna mogućnost softvera je povezivanje pojedinih fotografija s pripadajućom geolokacijom što posebno dolazi do izražaja kada se radi o većem broju podataka, tj. snimljenih građevina.

### **Microsoft Excel**

MS Excel softver značajno je unaprijedio učinkovitost u određivanju razreda i indeksa oštećljivosti. Posebno je ubrzao proces izračuna postotka površine otvora pojedine građevine, razlike postotka površina otvora između susjednih građevina te klasifikaciju u makroseizmički razred oštećljivosti na temelju izračunatih i graničnih vrijednosti.

## 2.3. Postupak obrade podataka

Postupak obrade podataka obuhvatio je sljedeće korake:

### 1. Prikupljanje podataka

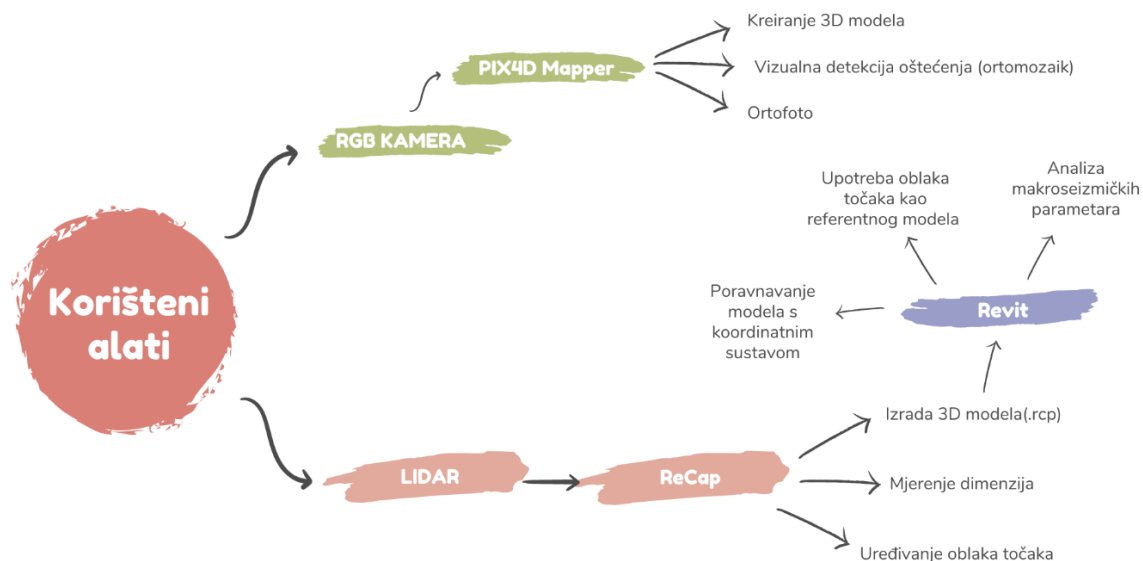
Dron je korišten za snimanje zgrada iz zraka uz pomoć RGB kamere i LIDAR senzora. Snimanje je izvršeno prema unaprijed definiranom planu rute, pokrivajući ključne dijelove građevina i njihov položaj u bloku.

### 2. Izrada 3D modela i ortomozaika

Korištenjem softverskih alata Autodesk ReCap i Pix4D Mapper, prikupljeni LIDAR podaci i fotogrametrija obrađeni su kako bi se stvorili reducirani 3D modeli (ReCap) i ortomozaici (Pix4D). Ovi modeli omogućili su detaljnu inspekciju i analizu građevina.

### 3. Analiza geometrijskih podataka

Podaci prikupljeni LIDAR-om analizirani su uz pomoć softvera Autodesk Revit 2024 kako bi se učitali „pročišćeni“ digitalni modeli građevina. Modeli pružaju precizne informacije o strukturi i u kombinaciji sa primjenjenim softverom omogućavaju izračune površina i ostalih parametara, ključnih za procjenu potresne otpornosti i oštetljivosti.



Slika 1. Metode obrade prikupljenih podataka

### **3. UPORABA DRONOVA U GRAĐEVINARSTVU**

Važno je, ne samo održavati postojeće graditeljsko nasljeđe, već i učiti iz njega kako bismo izbjegli ponavljanje grešaka i primijenili nove spoznaje na buduće građevine (4). Primjena suvremenih tehnologija u građevinarstvu bitna je za unapređenje seizmičke sigurnosti i otpornosti naših gradova, ali i sigurnosti tijekom gradnje, ispravnog odabira lokacije i mnogih drugih segmenata u svim fazama koje prate nastanak građevine, njezinu uporabu i održavanje. Više o primjeni dronova kroz navedene faze objašnjeno je u nastavku.

#### **3.1. Dronovi u projektiranju**

##### **3.1.1. Odabir odgovarajuće lokacije**

Iako je, u građevinarstvu, u većini slučajeva u središtu pozornosti projektiranje i izvođenje, vrlo važnu ulogu igra i izbor lokacije građevine. Odabir odgovarajuće lokacije može biti vrlo složen proces jer pozicija građevine mora omogućiti funkciju i zadovoljiti sve njezine potrebe. Iako u toj procjeni dronovi ne mogu u potpunosti (još uvijek) zamijeniti čovjeka, oni mogu igrati značajnu ulogu pružajući vrlo vrijedne uvide i podatke kroz snimke iz zraka. Snimke daju sveobuhvatan prikaz terena i na taj način omogućavaju svim sudionicima u planiranju procjenu karakteristika i potencijala lokacije (4).

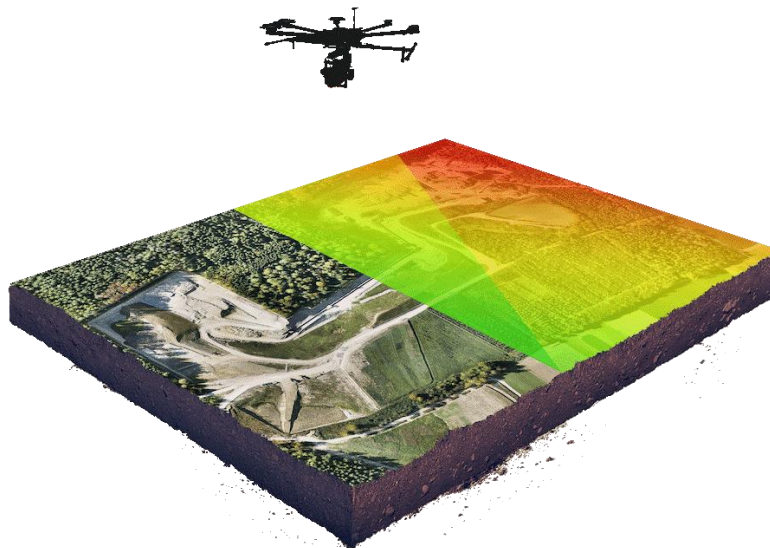
Neki od važnih faktora koji se efikasnije mogu odrediti iz takvih snimki zasigurno su uz pristupačnost i blizina prometnih mreža te susjedna infrastruktura čijom se analizom može procijeniti odgovara li promatrana lokacija logističkim zahtjevima projekta, ali i konačne građevine. Drugim riječima, moguće je efikasnije pravovremeno uočavanje eventualnih ograničenja pristupa koja se kasnije mogu odraziti na tijek radova i transport materijala na gradilište.



### 3.1.2. Geodetsko snimanje i kartiranje terena

Primjena dronova napravila je veliki odmak i u načinu obavljanja geodetskih radova (4). Iako možemo reći da je geodezija zasebna znanost i poslove koje podrazumijeva u većini slučajeva razdvajamo od onih građevinskih, u praksi su to dvije vrlo isprepletene i srodne struke pa je u nastavku dan pregled implementacije dronova u geodetsko snimanje.

Ranije je rečeno kako dronovi pružaju sveobuhvatan prikaz gradilišta iz ptičje perspektive. One u ovom slučaju mogu biti opremljene kamerama visoke rezolucije, LIDAR-om i termalnim sensorima omogućujući na taj način analizu topografije terena, objekata i međa. Sve to u visokoj preciznosti pa je tako vrlo jednostavno odrediti udaljenosti, nadmorske visine i konture objekata, pogotovo kada se one nalaze na nepristupačnim lokacijama. Primjena dronova opremljenih navedenim sustavima za posljedicu imaju mogućnost izrade detaljnih 3D modela terena i objekata (tzv. digitalnih blizanaca) kao i vjerodostojnije izračune koji slijede iz preciznijih mjerenja (4).



*Slika 2. Mapiranje terena dronom (5)*

Također, još jedna primjena dronova u ovoj domeni je ona pri definiranju kontrolnih točaka za georeferenciranje, osiguravajući na taj način pouzdanije obavljanje kartografskih aktivnosti u budućnosti.

Snimkama visoke rezolucije snimljenim dronovima vrijedi zahvaliti na efikasnoj pokrivenosti širokih područja, tj. na jasnom prikazu svih važnih značajki promatrane lokacije. Obradivanje fotografija moguće je upotrebom tzv. fotogrametrijskih algoritama<sup>1</sup> u svrhu izrade dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih karata (4). Karte dobivene pomoću ovakvih snimki mogu sadržavati bitne informacije kao što su nadmorske visine, konture terena, padine i druge važne topografske elemente. Osim izrade karata, podaci dobiveni iz snimki dronovima mogu se upotrijebiti za sastavljanje popisa imovine i upisivanja u inventar (inventarizaciju imovine).

Geodetsko snimanje i kartiranje dronovima podrazumijeva sljedeće korake (4):

- 1. Planiranje leta** – tu se određuje područje koje će se snimati, rute letenja uz sve potrebne dozvole i mjere sigurnosti koje moraju biti ispoštovane.
- 2. Letenje** – dronom se prikupljaju podaci u obliku snimki i točaka koristeći pritom ugrađenu opreme.
- 3. Obrada podataka** – specijaliziranim softverom vrši se obrada prikupljenih podataka.

Zadnji korak ujedno je i najzahtjevniji zbog velike količine i kompleksnosti podataka koju je potrebno obraditi. Takve obrade podataka uglavnom zahtijevaju primjenu posebnih softvera i znanje stručnjaka za njihovo korištenje. Upravo se u obradi podataka najviše očituju mogućnosti za napredak te primjenu strojnog učenja i umjetne inteligencije kao alata za efikasniju obradu podataka. Ne samo kada se radi o prikupljanju podataka u geodetske svrhe, nego u većini slučajeva u ovom radu, nerijetko će najveća prepreka biti obrada prikupljenih podataka o čemu će nešto više biti rečeno u idućim poglavljima.

Primjena dronova opremljenih odgovarajućom opremom donosi vrlo jasne prednosti, a neke od njih su brže i učinkovitije prikupljanje podataka zadovoljavajuće preciznosti i sveobuhvatne vizualne informacije što se u konačnici odražava i na bolje mogućnosti pri donošenju odluka jer takvi podaci doprinose zornijem shvaćanju problema. Neosporivo je da kombinacija svih navedenih tehnologija uistinu pruža vrlo vrijedne podatke primjenjive u planiranju, projektiranju, izvedbi, ali i upravljanju imovinom.

---

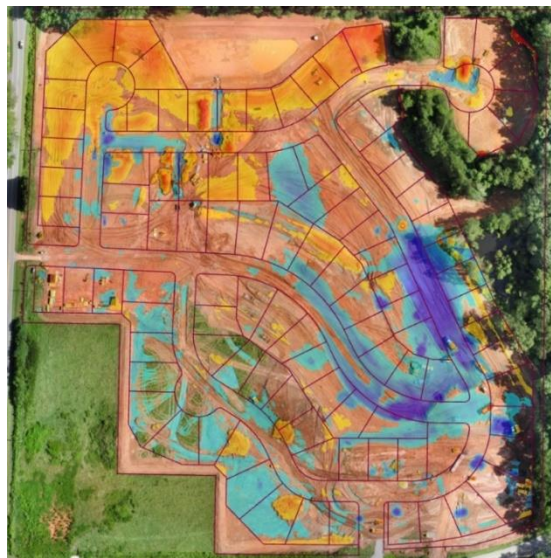
<sup>1</sup> najčešće korišteni algoritam je Levenberg–Marquardt

## 3.2. Dronovi u izvođenju građevinskih radova

### 3.2.1. Praćenje zemljanih radova

Za građevinske zemljane radove neophodno je provoditi česte i temeljite preglede gradilišta kako bi u svakom trenutku bili sigurni da se projektom upravlja kako je predviđeno. Takvo praćenje osigurat će sudionicima u gradnji da budu u tijeku s vremenskim planom projekta (6).

Može se reći kako je primjena dronova u praćenje zemljanih radova donijela pravu malu revoluciju u izvedbu i upravljanje građevinskim projektima. Takve letjelice, opremljene vrijednom opremom (visokorezolucijske kamere, LIDAR senzori i dr.) u fazu izvođenja građevinskih radova donose mnogobrojne prednosti poput povećanja efikasnosti i točnosti (6). U već objavljenim radovima na sličnu temu, izneseni su rezultati raznih analiza gdje su istraživane mogućnosti koje nam primjena ovakvih letjelica nudi u praksi i u stvarnim gradilišnim uvjetima. Samo neke od provedenih analiza istražuju automatizirano određivanje volumena na temelju informacija o iskopu i nasipu te usporedbu razlike u visini kada se radi o dva modela različitih vremenskih oznaka (6).



*Slika 3. Procjena usjeka (crveno) i nasipa (plavo) na gradilištu koristeći dron (6)*

Tradicionalno, praćenje zemljanih radova i niveliranja u praksi se uglavnom bazira na ručnim mjerenjima koja su sklona pogreškama. Metode su to koje će još uvijek dati zadovoljavajuće rezultate kada je riječ o manjim stambenim građevinama, poput obiteljskih kuća, nadzemnih garaža ili općenito objekata čija izgradnja ne obuhvaća velike zemljane zahvate.

Suprotno tradicionalnim metodama, dronovi će pružiti mjerenja i podatke znatno veće preciznosti koja su nužna pri izgradnji objekata znatno većih zemljanih radova, na primjer linijski objekti poput nasipa ili usjeka kod prometnica. Takvi podaci omogućit će točnije izračune volumena iskopa i/ili nasipa, ali i praćenje njihova nagiba. Navedena povećana točnost trebala bi smanjiti potrebu za ispravljanjem eventualnih pogrešaka čime je moguće optimizirati raspodjelu resursa i u konačnici postići veća kvaliteta izvedbe radova (6).

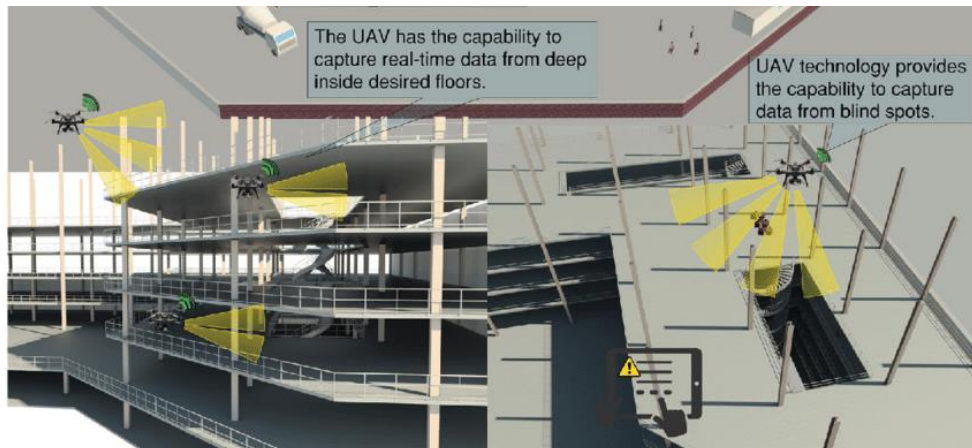
### **3.2.2. Kontrola kvalitete i praćenje vremenskog plana**

Kontrola kvalitete izvedbe vrlo je važna i nezaobilazna tema stoga ni u ovom radu nije preskočena. Primjena dronova može odigrati bitnu ulogu onda kada je potrebno provesti detaljne preglede i otkriti eventualne nedostatke, pogotovo kada je riječ o teško pristupačnim i nesigurnim mjestima. Podaci prikupljeni dronom mogu biti od velike pomoći inženjerima ne bi li prepoznali nepravilnosti (poput pukotina, korozije ili nekih drugih površinskih oštećenja koja bi mogla proći nezapaženo tijekom standardnih inspekcija na gradilištu (4).

Otkrivanje nedostataka u najranijim fazama omogućit će pravovremeno ispravljanje pogrešaka čime će se osigurati usklađenost projekta sa zahtijevanim standardima kvalitete po njihovom rješavanju. Nije ovdje riječ samo o otkrivanju nedostataka, već i o njihovom evidentiranju (7). Nerijetko se određeni nedostaci ne mogu riješiti odmah ili ih je jednostavno prikladnije riješiti u nekoj od idućih faza. Sustavno praćenje s naglaskom na evidentiranje identificiranih nedostataka ključno je jednako koliko i provedba kontrole kvalitete. Možemo reći kako je ono sastavni dio takve kontrole. Osim što upravo to nudi primjena dronova, takvi podaci omogućiti će odgovornim osobama na gradilištu jasnu sliku problema koji trebaju biti riješeni.

Također, pokazalo se kako primjena dronova pruža vrlo učinkovit način za praćenje napretka radova i usporedbu s vremenskim planom ukoliko se snimanje iz zraka i fotogrametrijska istraživanja vrše redovito. U izvedbi je vrijeme najdragocijeniji resurs, a često i razlog dodatnih troškova. Kvalitetnom interpretacijom sakupljenih podataka moguće je pravovremeno identificirati moguća kašnjenja i na vrijeme preraspodijeliti resurse kako bi projekt ostao u skladu s vremenskim planom te se kašnjenja u konačnici svela na minimum (4).

Jedna fotografija govori više od tisuću riječi, a skup kvalitetnih fotogrametrijskih podataka snimljenih iz zraka unosi dodatnu perspektivu svim sudionicima u projektu. Takvi podaci olakšati će komunikaciju unutar tima i omogućiti svim sudionicima bolju vizualizaciju i razumijevanje napredka i eventualnih problema koje je potrebno riješiti (4). Na taj se način koordinacija podiže na veću razinu smanjujući pritom rizike od nesporazuma.



Slika 4. Simbolički prikaz prednosti primjenom dronova za praćenje radova (7)

### 3.2.3. Praćenje sigurnosti na gradilištu

Do sada je navedena vrlo široka primjena dronova u fazi projektiranja i izvođenja građevinskih radova. Većina njih ima prednosti i nedostatke koji se odražavaju na kvalitetu konačnog proizvoda – građevine. Nažalost, u mnogim državama još uvijek ne usmjerava dovoljno pažnje sigurnosti radnika u gradnji. Ipak, postoje mnogi pozitivni primjeri uređenih i strogih pravila kada je riječ o sigurnosti na gradilištu te možemo reći da i u ovoj domeni dronovi pružaju brojne prednosti promičući ju na višu razinu. Napredovanjem umjetne inteligencije i strojnog učenja, uz primjenu fotografija i videozapisa visoke rezolucije kakve pružaju dronovi, moguće je automatski prepoznati cijeli spektar nesigurnih uvjeta (4,8). U današnje vrijeme već postoje primjeri iz prakse gdje takve letjelice vrlo učinkovito prepoznaju nepravilno korištenje zaštitne opreme, ali i nestabilnosti dijelova konstrukcije, kvarova opreme i slično.



Slika 5: Detekcija zaštitne opreme u stvarnom vremenu primjenom drona u kombinaciji s umjetnom inteligencijom/strojnim učenjem (9)

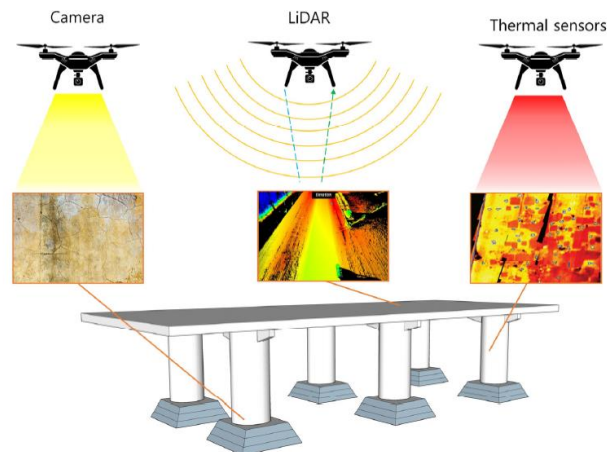
Kako je ranije već navedeno, perspektiva iz zraka omogućava odgovornim osobama da odmah i ispravno procijene opću sigurnost gradilišta. Pritom im pruža identifikaciju potencijalnih rizika kako bi u konačnici pravovremeno poduzeli potrebne mjere.

Nažalost, incidenti se na gradilištu ipak događaju i vjerojatno će se događati i dalje. Važno je imati uređeni princip sustavnog upravljanja u slučajevima nužde na gradilištu. Dronovi su u mogućnosti prenositi snimke „uživo“ i na taj način isporučiti važne informacije o incidentima u stvarnom vremenu. Dronovi će pomoći hitnim službama u procjeni situacije kako bi pravovremeno i ispravno isplanirali operacije spašavanja. U nekim izvanrednim okolnostima, npr. urušavanju dijela ili građevine u cijelosti na gradilištu, ukoliko su opremljeni termalnim kamerama, dronovi su u mogućnosti odigrati ključnu ulogu u pronalaženju nestalih radnika. Dakle, informacije koje pružaju odgovarajuće opremljeni dronovi primjetno će ubrzati hitne operacije (4,8).

Osim za sigurnost radnika na gradilištu, dronovi u kombinaciji s odgovarajućom opremom i softverima pružaju bolju sigurnost gradilišta. Ukoliko se koriste i u svrhu nadzora, moguće je koristiti dronove za otkrivanje neovlaštenog pristupa gradilištu i vrijednim gradilišnim resursima (4,8).

### 3.3. Dronovi u održavanju

Intuitivna mogućnost za primjenu dronova u građevinarstvu je upravo za održavanje građevina. Možda je upravo intuicija i razlog zašto je u toj domeni primjena dronova značajno porasla u prethodnih nekoliko godina. Kao i u ranije navedenim segmentima građevinarstva, primjena takvih letjelica “na stol” stavlja brojne prednosti. Glavne od njih su povećanje sigurnosti i učinkovitosti te smanjenje troškova. Pružajući informacije o stanju konstrukcije u stvarnom vremenu, omogućavaju timovima za održavanje donošenje pravovremenih odluka i prilagodbu planiranog održavanja stvarnom stanju na terenu. Osim što će omogućiti prístup čovjeku nepristupačnim ili teško pristupačnim dijelovima konstrukcije, dronovi opremljeni kamerama visoke rezolucije, LIDAR-om i termalnim kamerama vrlo efikasno otkrivaju i one nedostatke i oštećenja teško vidljiva golim okom. Na primjeru na slici ispod prikazani su tipovi podataka koje je moguće dobiti ovisno o opremi koja se primjenjuje na dronu. Primjena dronova za procjenu seizmičkog rizika u ovom je radu obrađena u zasebnim poglavljima (4).



*Slika 6. Razlika u podacima dobivenih kamerom visoke rezolucije, LIDAR-om i termalnom kamerom (4)*

#### 3.3.1. Dron opremljen kamerom visoke rezolucije

Isporučujući informacije iz zraka u svrhu inspekcije nosive konstrukcije, dronovi pomiču granice područja održavanja mostova. Takvi dronovi opremljeni kamerom visoke rezolucije pružaju visoko kvalitetne fotografije konstrukcije koje se potom upotrebljavaju za detaljne analize i procjene oštećenja. Njihova primjena omogućava kvalitetnu evidenciju napravljenih pregleda (10)(4).

Ipak, pored vrijednih informacija koje pružaju dronovi, ključna prednost njihovog korištenja je veća sigurnost za inženjera koji provodi pregled. Dronom je moguće, sa sigurne udaljenosti i u potpunosti daljinskim upravljanjem, pristupiti u ona najteže dostupna i najopasnija mjesta (poput donje strane rasponske konstrukcije mosta) ili onim dijelovima koji se nalaze visoko iznad tla (10). Iako dronovi, još uvijek, ne mogu umjesto nas obavljati radove popravaka, primjena drona smanjit će, ili u potpunosti eliminirati, potrebu za korištenjem posebnih vozila i slične opreme prilikom pregleda konstrukcije. Sve to rezultirat će nižim troškovima i smanjiti vrijeme obavljanja pregleda.

Dodatno, vrijeme koje je potrebno za inspekciju mosta znatno se smanjuje upotrebom drona obzirom da takve letjelice s odgovarajućom opremom imaju mogućnost vrlo brzog leta, snimajući pritom visokokvalitetne snimke koje je moguće analizirati u stvarnom vremenu. Ta prednost pruža bržu isporuku izvještaja o inspekciji mosta, ali i smanjuje vrijeme tijekom kojega će most biti izvan prometa.



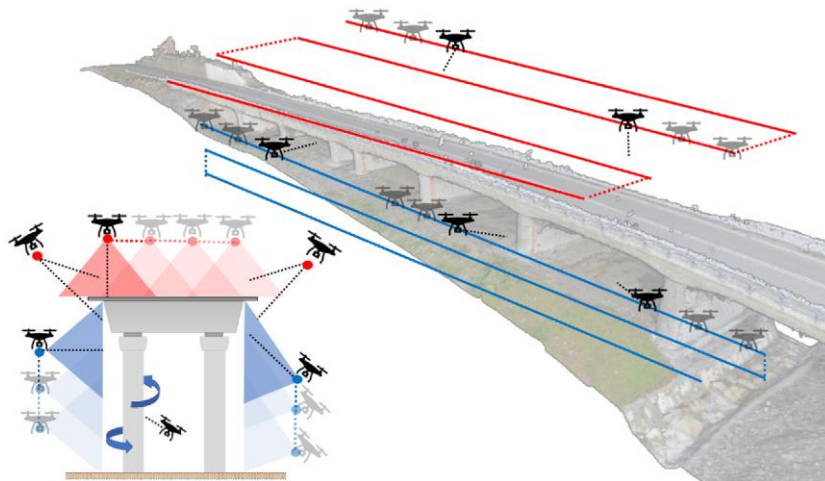
Slika 7. Suvremeno vozilo za pregled rasponske konstrukcije negativno utječe na odvijanje prometa preko mosta (11)

Osim što olakšavaju pregled teško pristupačnim dijelovima konstrukcije, u mnogim slučajevima primjena dronova podiže kvalitetu istih na višu razinu. Tako se pomoću snimki visoke kvalitete, u kombinaciji s odgovarajućim softverom za njihovu obradu, mogu identificirati pukotine ili druga oštećenja koja bi ljudskom oku mogla promaknuti. Takvi obrađeni podaci pružaju timovima za održavanje uvid u stvarno stanje mosta, ali i mogućnost predviđanja potencijalnih problema te pravovremeno provođenje preventivnih mjera (10).



Interesantna je primjena dronova za kontinuirani monitoring stanja mosta. Uz postojeću mogućnost programiranja takvih letjelica za redovito letenje i prikupljanje podataka o konstrukciji tijekom određenog vremena, moguće ih je koristiti i nakon izvanrednih događaja poput potresa, poplava ili okupljanja velikog broja ljudi (10).

Koraci u primjeni drona s visokorezolucijskom kamerom je sljedeći: Prije polijetanja, ukoliko je potrebno, ishoditi sve potvrde i dozvole za let te provjeriti ispravnost letjelice i svih pripadnih dodataka uključujući opremu tj. kameru. Nakon što je let gotov i snimke su snimljene, potrebno ih je prenijeti na računalo nakon čega slijedi obrada podataka. U određenim situacijama je potrebno povećati kvalitetu fotografije prilikom njezine obrade (povećati kontrast, smanjiti šum i sl.). Ranije je rečeno kako je obrada podataka najzahtjevniji zadatak. Obrada podrazumijeva sve korake, od prijenosa snimki na računalo preko dorade fotografija do interpretacije istih. Obzirom da se nerijetko radi o većoj količini podataka, često se primjenjuju različiti algoritmi za njihovu analizu, kao na primjer algoritmi za automatsko otkrivanje i lociranje pukotina. Potom je identificirane pukotine moguće klasificirati prema svojim karakteristikama (poput dužine, širine, orijentacije i ozbiljnosti)(10).



*Slika 8. Prikaz predložene rute letenja za pregled mostova uz pomoć drona (10)*

### 3.3.2. Dron opremljen LIDAR tehnologijom

LIDAR (eng. *Light Detection and Ranging*) naziv je za tehnologiju koja upotrebljava mjerenje vremena prolaska laserske svjetlosti u svrhu mjerenja udaljenosti. Definiran je kao optička inačica radara, jer umjesto radio valova primjenjuje svjetlost. U nekom tipičnom slučaju, sustav funkcionira na način da laser isijava periodičke impulse svjetlosti usmjeravajući ih prema ciljnom objektu (12). Nakon što se dio emitirane svjetlosti reflektira od objekta natrag prema LIDAR-u, na temelju vremena koje je bilo potrebno svjetlosti da prijeđe put od objekta i natrag, izračunava se udaljenost pojedinih točaka :

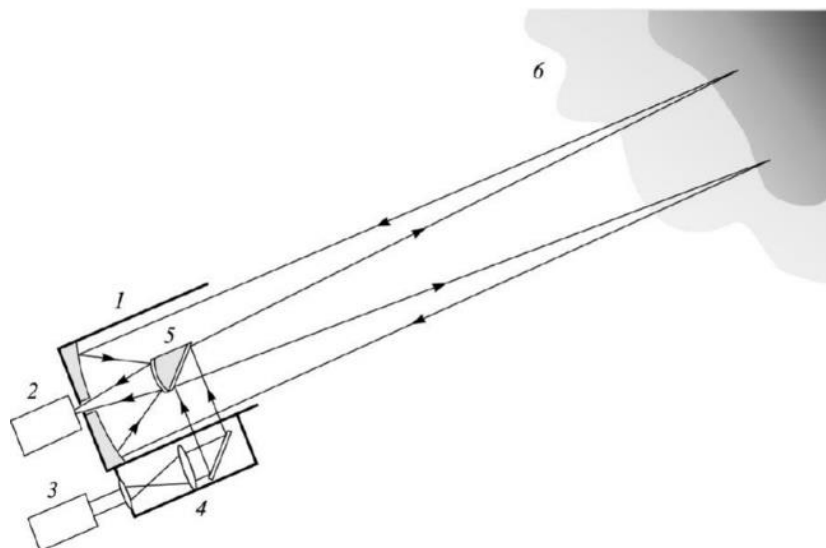
$$d = \frac{c \cdot t}{2}$$

gdje je:

c – brzina svjetlosti [m/s],

t – vrijeme [s] i

d – udaljenost [m].



Slika 9. Način funkcioniranja LIDAR senzora (1. teleskop, 2. detektor, 3. laser, 4. sustav za širenje laserskih zraka, 5. zrcalo, 6. objekt)(12)

Primjena LIDAR sustava u kombinaciji s modernim sensorima koristi se za generiranje tzv. oblaka točaka u prostoru. Sensori sadržavaju RTK<sup>2</sup>, GNSS<sup>3</sup> i IMU<sup>4</sup>. Nakon toga moguće je iz oblaka točaka izraditi 3D model objekata u stvarnom vremenu i dobiti uvid u procjenu postojećeg stanja i planiranje održavanja. Također, osim za procjenu postojećeg, ova se tehnologija može koristiti za usporedbu više prethodnih stanja sa sadašnjim, naravno, ukoliko postoje prethodni skenovi. Na taj način moguće je pratiti promjene u stanju konstrukcije i po potrebi pravovremeno intervenirati odgovarajućom mjerom održavanja. Nastavno na sve već ranije navedeno, primjena LIDAR-a na dronovima obećava veliki potencijal i brojne prednosti.

Međutim, vrlo je važno biti svjestan i nedostataka koje ovakva tehnologija donosi. Jedan od izazova je, kako je već rečeno, složenost obrade podataka. No, ovdje nije riječ o količini, već prvenstveno o vrsti i složenosti podataka koje dobivamo takvim snimkama. Za njihovu obradu potreban je specijalizirani softver i stručnost osoblja kako bi se podaci pretvorili u korisne informacije. Izazov su i vremenski uvjeti kao što su kiša, magla ili snijeg. Pribavljanje visokokvalitetnih podataka zahtijeva pažljivo planiranje letenja. Nepovoljni vremenski uvjeti i složenost podataka nisu jedini izazovi koji stoje na putu. Pouzdanost i preciznost mjerenja uvjetovani su redovitim održavanjem i kalibracijom LIDAR sustava (4).

---

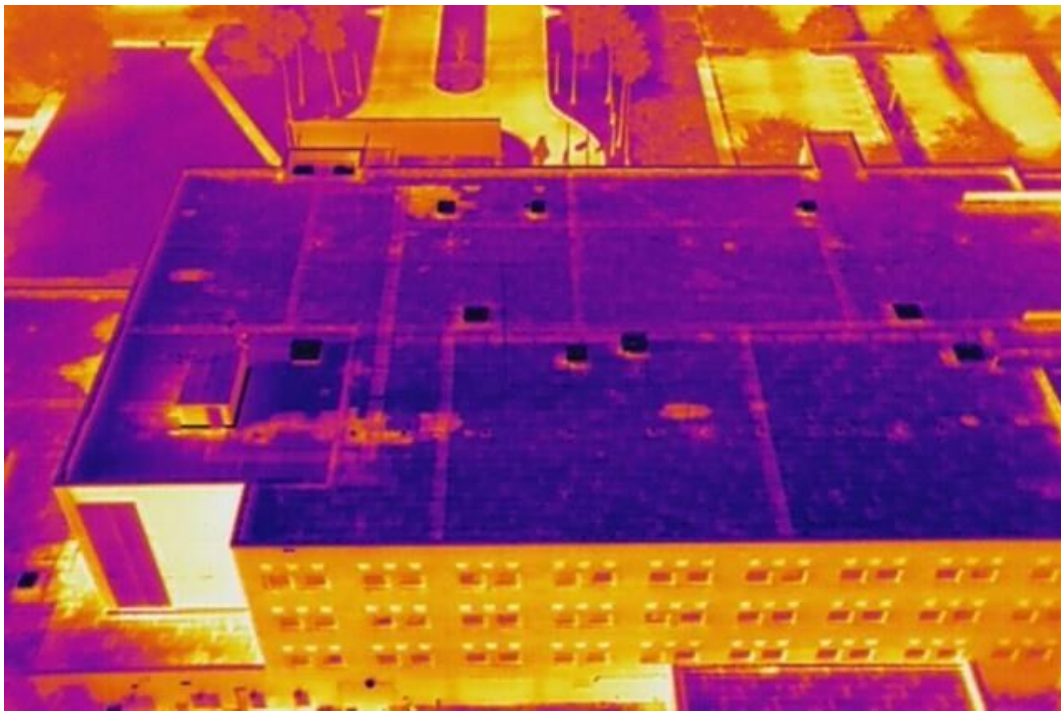
<sup>2</sup> RTK (Real-Time Kinematic) služi za primjenu geodetskih metoda za ispravljanje pogršaka u GNSS-u

<sup>3</sup> GNSS - globalni navigacijski satelitski sustav

<sup>4</sup> IMU (Inertial Measurement Unit) – sustav senzora za mjerenje ubrzanja, kutne brzine i magnetnog polja te određivanje položaja

### 3.3.3. Dron opremljen termalnom kamerom

Već je ranije objašnjeno na koji način implementacija visokorezolucijskih kamera i LIDAR sustava u primjenu dronova može doprinijeti prikupljanju raznih podataka. Osim njih, dronovi mogu biti opremljene i termalnim (infracrvenim) kamerama. To su kamere koje registriraju infracrveno zračenje koje isijavaju objekti te je zahvaljujući takvim kamerama moguće je dobiti informacije o promjenama temperature te identificirati eventualne nedostatke u izolaciji, detektirati kvarove na instalacijama te identificirati toplinske mostove i prodiranje vlage. Drugim riječima, termalne kamere čine "nevidljivo vidljivim". Već postoje primjeri i studije slučaja koje su dokazale efikasnost dronova opremljenih termalnim kamerama u održavanju građevina. Primjenjivani su i u svrhu praćenja energetske učinkovitosti zgrada, pregledu sustava solarnih panela, ali i za detekciju neispravnosti rada HVAC sustava (4).



*Slika 10. Primjer snimke dobivene termalnom kamerom (13)*

### **3.4. Dronovi za procjenu seizmičke otpornosti postojećih građevina**

Ponašanje građevina tijekom potresa je vrlo kompleksan problem te je za njegovo izučavanje, uz građevinarstvo, potrebno poznavati širok spektar znanstvenih područja poput seizmologije, geologije, matematike, statistike, ali i psihologije i njoj srodne znanosti. Tehnologija se, iako vrlo sporo, implementira u građevinarstvo te je sve češće potrebno znanje iz područja informatike i programiranja (1).

Potres je pojava koju možemo i trebamo očekivati, ali ju još uvijek ne možemo predvidjeti (14). Osim pojačanja postojećih građevina, važno je pripremiti siguran i održiv sustav za procjenu postojećeg stanja. U vrijeme nastupanja potresa izrazito je bitno djelovati brzo i efikasno. Budući da se prilikom većih potresa povećava i opseg područja koje se pregledava, dronovi opremljeni odgovarajućom opremom ubrzavaju pregled velikih površina u značajno kraćem vremenu i čine postupak sigurnijim. Treba napomenuti i da su u većini slučajeva najkritičniji dijelovi konstrukcije upravo dimnjaci i krovništa što nam daje još jedan razlog da njihovo stanje utvrđujemo upravo pomoću dronova (15). Iako potres ostaje nepredvidiva pojava na koju ne možemo utjecati, dužnost inženjera je učiniti sve kako bismo njegove posljedice sveli na zadovoljavajuće nisku razinu.

#### **3.4.1. Motivacija za primjenu dronova**

Već je ranije u radu spomenuto kako su osnovne prednosti primjene dronova u građevinarstvu vrijeme, efikasnost i sigurnost. Isti slučaj vrijedi i kada se dronovi primjenjuju za detekciju oštećenja, procjenu postojećeg stanja i seizmičkog rizika.

Na prostoru grada Zagreba, tradicionalne nearmirane zidane zgrade prevladavaju u uskom povijesnom centru (3). Do početka primjene armiranobetonskih stropnih ploča, međukatne konstrukcije izvođene kao drveni grednici položeni na uzdužne zidove (zidovi paralelni s ulicom). Sustav međukatne konstrukcije uglavnom je problematičan jer ne omogućava željen prijenos horizontalnih opterećenja, tzv. efekt kutije (3,15). Osim navedenog, glavni uzroci oštećenja su manjak nosivih zidova u poprečnom smjeru zgrade, visoki konzolni dimnjaci, nedostatak serklaža (nepovezano ziđe) i nedovoljna nosivost krovne konstrukcije (15).

Najčešća oštećenja takvih zgrada odnose se na one dijelove pri samom vrhu zgrade:

- rušenja i oštećenja dimnjaka,
- rušenja i oštećenja tavanskih zabatnih zidova,
- oštećenja krovišta,
- oštećenja drugih konzolnih elemenata poput parapeta, atika, istaka i ukrasa
- te odvajanje zabatnih zidova.

Kako bi se dobila cjelovita slika o prednosti primjene dronova u navedene svrhe, u nastavku je dan pregled nekih uobičajenih oštećenja zgrada od djelovanja potresa i mogućnosti za prepoznavanjem istih primjenom dronova.

#### 3.4.1.1. Dimnjaci

Dimnjaci su visoki, često preko 5 metara i nepridržani (ili slabo pridržani) za konstrukciju krovišta (zbog straha od vatre iz dimnjaka). Zidani su od opeke i morta, uglavnom od poda na tavanu uz zanemarivu otpornost na horizontalna opterećenja. Najčešće su otkazali na mjestu spoja s krovnom konstrukcijom jer je slabo pridržanje ipak umanjilo pomake konzole tijekom potresa. Uzrok oštećenja povezan je s pogrešnim projektiranjem i propadanjem veznog sredstva (morta) tijekom vremena (15).



*Slika 11. Prikaz tipičnih oštećenja na nepridržanim dimnjacima (15)*

### 3.4.1.2. Zabatni zidovi

Veliki broj zgrada oštećen je upravo na način da su se djelomično ili u potpunosti urušili tavanski zidovi, a u ponekim i oni nepridržani zidovi okomiti na zabatne. Glavni razlog je ušteta na debljini zida i nikakva (ili neadekvatna) povezanost sa krovnom konstrukcijom (konzolni sustav zida) (15).



*Slika 12. Urušeni zabatni zid (RGB kamera na dronu)*

### 3.4.1.3. Krovšte i pokrov

Uglavnom su oštećenja na opisanoj tipologiji građevina uzrokovana urušavanjem dimnjaka i zabatnih zidova čija je masa uzrokovala oštećenja na pokrovu i krovnoj konstrukciji (15).



*Slika 13. Oštećenja pokrova i krovne konstrukcije iz ptičje perspektive (16)*

#### 3.4.1.4. Oštećenja konzolnih elemenata

To su elementi koji su, uz krovšta i dimnjake, izvorno koncipirani pogrešno ne uzimajući u obzir djelovanje potresa. Osim toga, kombinacija vanjskih utjecaja (atmosferilija) i neodržavanja dodatno je pogoršala materijal ovih elemenata (15).



*Slika 14. Primjer oštećenja konzolnih elemenata koji prijete urušavanjem (15)*

#### 3.4.2. Dronovi nakon potresa

Zahvaljujući opsežnim aktivnostima inženjera nakon potresa u Zagrebu i Petrinji 2020. godine, smjernice za procjenu uporabljivosti i stanja građevina nakon potresa vrlo su dobro definirane. Međutim, to su postupci koji se temelje na vizualnim pregledima inženjera uključujući ulazak u zgradu i odlazak na više etaže u svrhu ocjene stanja, izlažući se pritom neposrednim opasnostima. Značajan dio opasnosti nije moguće pravovremeno i na siguran način uočiti bez korištenja posebnih skela ili – dronova. Nažalost, trenutno usvojeni postupci ne opisuju postupak primjene dronova u navedene svrhe, iako istu ne isključuju.

Postoje faze pregleda u kojima bi primjena dronova bila prikladnija od izlaska inženjera na teren. Kao odgovor na probleme koji se mogu javiti prilikom inicijalnih i spasilačkih pregleda, dronovi pružaju značajan potencijal za unaprjeđenje sigurnosti te skraćivanje vremena koje je potrebno za provedbu takvog pregleda. Suvremene smjernice nalažu odustanak od ulaska u zgradu u slučaju uočene opasnosti od urušavanja zgrade u cijelosti ili nekog njezinog dijela (3).

Prethodno su identificirana neka od uobičajenih oštećenja koja također služe kao indikatori nesigurnih uvjeta, a najčešće su povezana s dimnjacima i krovštima. U slučaju uočavanja navedenih vrsta oštećenja ili bilo kojih drugih znakova nesigurnih uvjeta, smjernice preporučuju prekid pregleda i izbjegavanje ulaska u zgradu radi sigurnosti (3). Suprotno, ako navedene opasnosti nisu uočene, pregled se nastavlja ulaskom u zgradu, pri čemu se stanje procjenjuje od najnižih do najviših etaža, uključujući potkrovlje. Problem nastaje u situacijama



kada je gotovo nemoguće na temelju vizualnog pregleda s tla iz ograničene perspektive uočiti takve indikatore.



*Slika 15. Prikaz ograničene perspektive inženjera koji provodi vizualni pregled građevine tradicionalnim pristupom (17)*

Na fotografiji iznad, vidljiva je vrlo ograničena perspektiva osobe koja provodi vizualni pregled. U slučajevima u kojima su značajnija oštećenja prisutna na pročelju zgrade, znakovi koji upućuju na neuporabljivost će uglavnom biti vidljivi i s ulice. Ipak, uglavnom se radi o ranije opisanim oštećenjima koje je gotovo nemoguće uočiti bez izlaganja potencijalnoj opasnosti ili eventualne primjene posebne skele. Suprotno, podaci snimljeni dronom pružaju cjeloviti pregled situacije i time postaju nezaobilazna stavka za provođenje vizualnog pregleda vanjskih površina zgrade. Zanimajući zračnu komponentu potencijalno se zanemaruju i značajna oštećenja dimnjaka i krovništva. Primjenu dronova u navedene svrhe dodatno potiče i činjenica da su takva oštećenja ujedno i najčešće posljedice neuporabivosti građevina.



*Slika 16. Mjesta uobičajenih oštećenja (RGB kamera na dronu)*

Primjena dronova nije bila nepoznanica niti nakon potresa u Zagrebu i Petrinji 2020. godine, ali njezin potencijal još uvijek nije na pravi način prepoznat od nadležnih institucija. Osim što suvremene metode treba prihvatiti, važno je postupke sistematizirati i regulirati, kako bi se razvio stabilan sustav za pravovremeno i efikasno funkcioniranje u slučaju potresa. Definiranje aktivnosti i matrice odgovornosti značajno bi unaprijedila sustav upravljanja kriznim situacijama. Postupak procjene postojećeg stanja dronom vrlo je širok pojam, a obuhvaća: ishođenje potrebnih dozvola, planiranje leta, kalibraciju i odabir potrebne opreme, prikupljanje i obradu snimljenih podataka te u konačnici njihovu interpretaciju. Stoga je od značaja unaprijed definirati i testirati te optimizirati sve korake. Definiranje matrice odgovornosti značilo bi dodijeliti svaki od navedenih koraka (aktivnosti) odgovornoj osobi, tijelu ili instituciji. U praksi bi to značilo da se zna tko je točno zadužen za pojedine korake i na kojem području. Odgovornost za pojedine aktivnosti moguće je dodijeliti i prema gradskim četvrtima (tablica 1).

Tablica 1: Primjer matrice odgovornosti za aktivnosti vezane uz primjenu dronova

AKTIVNOSTI >>>	PRIPREMNE AKTIVNOSTI KOJE SE OBAVLJAJU PERIODIČKI			AKTIVNOSTI NEPOSREDNO NAKON POTRESA		
	Održavanje i kalibracija opreme	Planiranje rute letenja	Ishođenje dozvola	Prikupljanje podataka	Obrada podataka	Ocjena uporabivosti/postojećeg stanja
PODRUČJE SNIMANJA	Črnomerec					
	Donji Grad					
	Gornji Grad - Medveščak					
	Maksimir					
	Novi Zagreb - zapad					
	Novi Zagreb - istok					
	Podsused - Vrapče					
	Stenjevec - Trnje					
	Donja Dubrava					
	Gornja Dubrava					
	Peščenica - Žitnjak					
	Sesvete					
	Trešnjevka - sjever					
	Trešnjevka - jug					

Iako zadiranje u primjenu strojnog učenja u svrhu analize podataka snimljenih dronom zahtijeva napredno znanje iz područja programiranja i informatike, prednosti takvog pristupa su mnogobrojne. Postoji mogućnost ponavljajućeg redovnog prikupljanja podataka pomoću dronova (primjerice svakih 6 mjeseci) kako bi se isti podaci mogli usporediti sa snimkama netom nakon potresa. Osim što bi takva usporedba omogućila učinkovitiju i precizniju procjenu štete, primjenom strojnog učenja i umjetne inteligencije još bi lakše bilo uspostaviti sustav za automatsku detekciju novih oštećenja na temelju usporedbe s prijašnjim snimkama. Za takva ponavljajuća snimanja matrica odgovornosti mogla bi biti značajno manja, obzirom da bi se radilo o uvjetima u kojima nije nužno postupati u što kraćem roku.

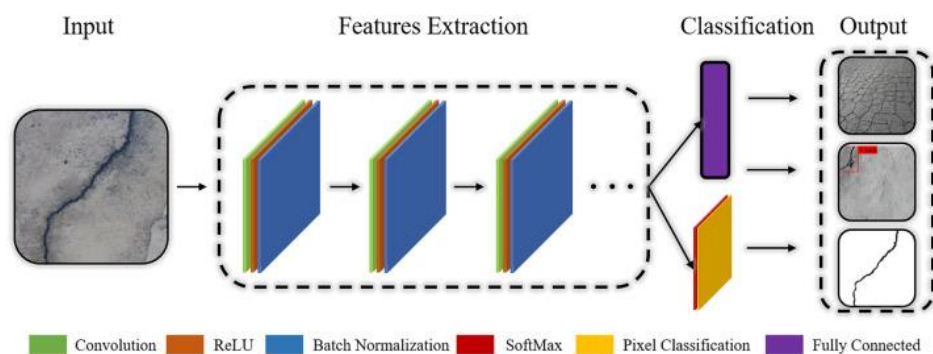
### 3.4.3. Pregled algoritama i alata strojnog učenja za automatsku detekciju oštećenja

Automatizacija analize podataka, a time i automatsko prepoznavanje oštećenja moguće je zahvaljujući razvoju strojnog učenja i umjetne inteligencije. Alati koji rade na navedenim principima primjenjuju algoritme kako bi detektirali pukotine na promatranim građevinama i tako ubrzali proces, što može biti od značaja poglavito u kriznim situacijama poput potresa. U ovom poglavlju navedeni su i ukratko opisani neki od najraširenijih alata i algoritama:

- Konvolucijske neuronske mreže (CNN),
- TensorFlow (Deep Learning),
- YOLO (You Only Look Once),
- Mask R-CNN,
- U-Net arhitektura,
- Support Vector Machine (SVM).

#### 3.4.3.1. Konvolucijske neuronske mreže (CNN)

Konvolucijske neuronske mreže jedan su od najraširenijih alata za analizu vizualnih podataka prikupljenih dronovim. Funkcioniraju na način da analiziraju fotografije u “slojevima” i imaju mogućnost prepoznavanja kompleksnih obrazaca (poput pukotina, deformacija ili kolapsa konstrukcije). Ovakve modele potrebno je trenirati na velikim bazama podataka koje sadrže fotografije oštećenih građevina, čime postižu visoku točnost u identifikaciji specifičnih vrsta oštećenja (18).



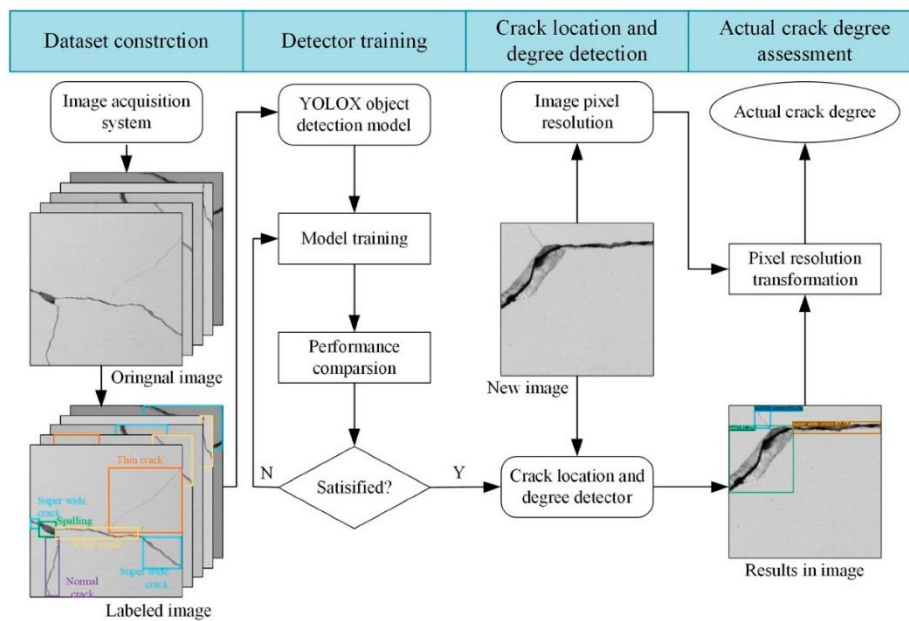
Slika 17. Radni tijek detekcije oštećenja primjenom alata CNN (19)

### 3.4.3.2. TensorFlow

TensorFlow je otvoren deep learning alat koji pruža platformu za kreiranje modela, koji rade na principima umjetne inteligencije i strojnog učenja, u svrhu prepoznavanja oštećenja. Ovaj alat koristi se za treniranje CNN modela na slikama oštećenih zgrada i infrastrukture kako bi se automatiziralo prepoznavanje pukotina i drugih oštećenja (20).

### 3.4.3.3. YOLO (You Only Look Once)

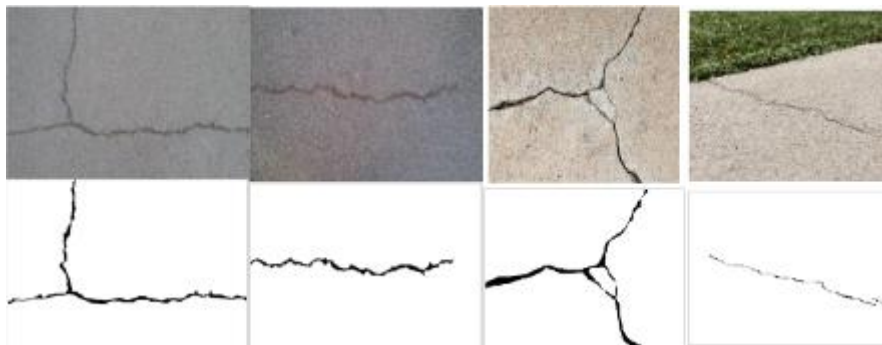
Algoritam YOLO koristi se za prepoznavanje objekata na slikama, a primjenjiv je i za analiziranje onih slika snimljenih dronom. Ima mogućnost u stvarnom vremenu identificirati oštećenja na građevinama pa mu je osnovna prednost brzina i sposobnost obrade velikog broja podataka u vrlo kratkom vremenskom razdoblju (21). Osim toga, ima mogućnost raspoznavanja kuta pod kojim se pukotina proširila (22).



Slika 18. Radni tijek detekcije oštećenja primjenom algoritma YOLO (21)

### 3.4.3.4. Mask R-CNN (Region-Based Convolutional Neural Network)

Mask R-CNN je napredni algoritam za prepoznavanje i segmentaciju objekata unutar slika. Objekti unutar slika koje algoritam raspoznaje također mogu biti i oštećenja građevina. Navedeni algoritam raspoznaje pukotine i druga oštećenja kroz preciznu lokalizaciju. Lokalizacija u ovom kontekstu ne znači samo identifikaciju oštećenja, već i izdvajanje dijelova slike na kojima su ta oštećenja prisutna, čime se olakšava procjena stanja građevine nakon potresa (23).



Slika 19. Primjer treniranja modela za prepoznavanje pukotina primjenom Mask R-CNN (24)

### 3.4.3.5.

### 3.4.3.6. U-Net arhitektura

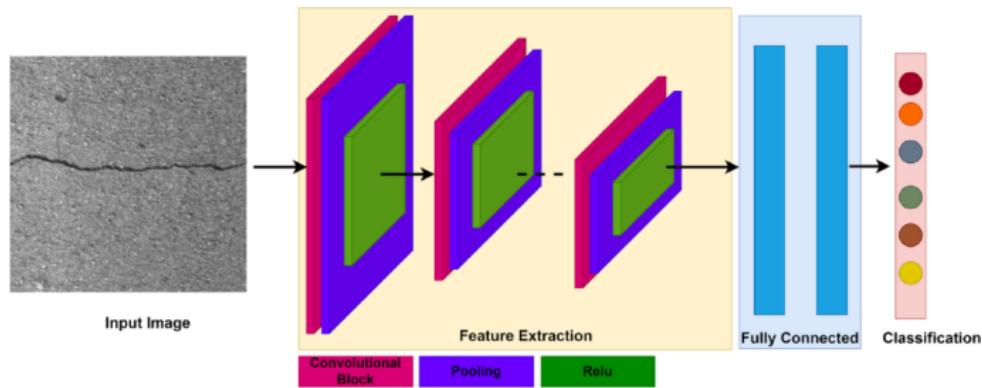
Vrlo popularan alat koji se primjenjuje za prepoznavanje pukotina na temelju slika, a vrhunac učinkovitosti u segmentaciji pukotina pokazuje na slikama visoke rezolucije. U-Net je alat koji je posebno osmišljen za segmentaciju slikovnih podataka, što omogućuje i analizu podataka vezanih uz oštećenja građevina. Velika prednost ovoga alata je mogućnost primjene za detekciju oku nevidljivih mikro-pukotina (25).



Slika 20: Detekcija pukotina primjenom U-Net alata (26)

### 3.4.3.7. Support Vector Machine (SVM)

Alat koji služi za prepoznavanje oštećenja, ali i klasifikaciju istih prema obilježjima poput oblika, teksture, širine pukotine i sl. SVM alat često se koristi za analizu podataka prema teksturi jer na taj način klasificira oštećenja različitih intenziteta (27).



Slika 21. Klasifikacija oštećenja primjenom SVM alata (28)

### 3.4.3.8. Zaključak

Upotreba navedenih alata u prepoznavanju oštećenja značajno poboljšava učinkovitost obrade podataka. Primjena konvolucijskih neuronskih mreža, YOLO-a, Mask R-CNN-a, te algoritama poput SVM-a omogućit će brzu analizu te smanjiti vrijeme reakcije u situacijama nakon potresa. Korištenje bilo kojih od navedenih alata pruža značajne prednosti u upravljanju krizama uključujući automatizaciju procesa i povećanje efikasnosti procjene.

### 3.4.4. Izazovi u implementaciji dronova

Iako tehnologija dronova kontinuirano napreduje, njihova primjena u ovako zahtjevnim situacijama suočava se s brojnim izazovima. U radu su ranije spomenute pojedine prepreke, ali izazovi nisu samo tehničke prirode, već obuhvaćaju i regulatorne, operativne i društvene aspekte. Razumijevanje i prevladavanje ovih prepreka ključno je za učinkovitu i sigurnu primjenu dronova u potresom pogođenom području kako bi se osiguralo da njihova upotreba bude u potpunosti iskorištena za spašavanje života i procjenu stanja i uporabivosti postojećih građevina. U nastavku su opisani izazovi s kojima se suočava implementacija primjene dronova nakon potresa.

#### 3.4.4.1. Regulatorni okviri i dozvole

Primjena dronova u urbanim područjima, pa tako i nakon potresa podliježe strogoj regulativi koja se razlikuje u pojedinim zemljama. U većini slučajeva, pravila za letenje dronovima postavljaju nadležne zrakoplovne vlasti kako bi se osigurala sigurnost svih sudionika u zračnom prostoru. Dronovi moraju poštovati ograničenja zračnog prostora, posebno u blizini zračnih luka, bolnica ili vojnih objekata (29). Regulativa također uključuje pravila o visini leta, vidljivosti drona i udaljenosti od osoba ili objekata. U Hrvatskoj upotrebu dronova nadzire Agencija za civilno zrakoplovstvo (CCAA) (30,31). Prema važećim propisima, komercijalna i profesionalna upotreba dronova zahtijeva posebne dozvole. Postupak dobivanja uključuje prijavu operatera drona, prijavu letenja s planiranim područjem i vremenom letenja, dokaz o osiguranju od odgovornosti i poštivanje pravila o privatnosti. Osim što je potrebno dokazati tehničku ispravnost drona, operateri moraju imati valjanu licencu i potvrdu o osposobljenosti za upravljanje dronovima. Dodatno, potrebno je osigurati odobrenje za letenje u urbanim područjima što može biti dugotrajan proces, posebno u situacijama kada je brzina reakcije ključna (31).

#### 3.4.4.2. Tehnička ograničenja

Tehnologija dronova značajno je napredovala, ali još uvijek postoje ograničenja koja mogu utjecati na njihovu učinkovitost u kriznim situacijama. Trajanje baterije jedno je od glavnih, a većina komercijalnih dronova ne može letjeti preko 30 minuta (32,33) prije nego što im je potrebno punjenje ili zamjena baterije (32–34). Osim baterije, ograničenje za primjenu može predstavljati i nosivost drona koja će utjecati na vrste senzora i kamera kojima je moguće opremiti dron (31). Visokorezolucijska RGB kamera, LIDAR i termalna kamera čine osnovnu potrebnu opremu za dron koji se koristi za detaljnu procjenu štete nakon potresa, a kod manjih dronova nosivost može biti prepreka korištenju iste (1). Također, u urbanim područjima može doći do gubitka signala zbog zgrada, električnih smetnji ili drugih prepreka, što može otežati kontrolu nad dronom i onemogućiti prijenos podataka u stvarnom vremenu (35).

#### 3.4.4.3. Vremenski uvjeti

Vremenski uvjeti igraju značajnu ulogu u upotrebi dronova jer pod utjecajem jakih vjetrova, kiše, magle i snijega mogu narušiti stabilnost i upravljanje dronom (36). Obzirom da su dronovi relativno lagani čini ih osjetljivima na klimatske promjene (poput intenziteta i smjera puhanja vjetra i slično), što može uzrokovati poteškoće u letu ili u najgorem slučaju - nesreće. Magla, kiša i snijeg utjecati će na kvalitetu sakupljenih podataka jer ometaju vidljivost (33), a dopiranje vode do elektroničkih komponenti drona može uzrokovati dodatna oštećenja senzora (37) i gubitak kontrole. Nakon potresa zračni prostor može biti zagađen prašinom, dimom ili drugim česticama koje ometaju vidljivost (33) i mogu oštetiti senzore drona.

#### 3.4.4.4. Sigurnost i operativni rizik

Glavna motivacija primjene dronova u situacijama nakon potresa te ujedno i prioritet mora biti sigurnost. Iako je do sada u radu sigurnost razmatrana kao razlog za implementaciju dronova, u ovom poglavlju nameće se rizik od pada drona zbog tehničkog kvara, gubitka signala ili ljudske pogreške. Osim što može uzrokovati dodatnu štetu na građevinama, takav pad drona može biti prijetnja za ljude. Također, letenje dronom u blizini oštećenih građevina predstavlja opasnost jer postoji mogućnost od daljnjeg urušavanja konstrukcije u cijelosti ili njezina dijela.

Osim navedenih problema, elektronska interferencija može predstavljati operativni rizik jer ruševine mogu stvoriti magnetne smetnje ili čak blokirati signale, što može ometati upravljanje dronom i prijenos podataka (38).



#### 3.4.4.5. Interpretacija prikupljenih podataka

Suprotno mnogim prednostima navedenim ranije u ovome radu, obrada i interpretacija velike količine podataka prikupljenih pomoću dronova predstavlja vodeći izazov. Opremljeni naprednim senzorima i kamerama, dronovi mogu prikupiti veliku količinu raznih podataka, uključujući fotografije, oblake točaka, videozapise, termalne slike i slično. Obrada ovih podataka i donošenje zaključaka na temelju istih zahtijeva primjenu znanja iz programiranja i informatike kroz algoritme strojnog učenja i slično (39,40). Kako je ranije navedeno, snimke iz ptičje perspektive pružaju brzo i sigurno otkrivanje važne informacije, ali njihova pravilna interpretacija zahtijeva visoku razinu stručnosti (1).

#### 3.4.4.6. Troškovi i resursi

Primjena dronova za procjenu postojećeg stanja i seizmičkog rizika zahtijeva znatna financijska ulaganja. Za primjenu dronova u kriznim situacijama, poput potresa, potrebni su dronovi opremljeni senzorima i kamerama vrhunske kvalitete. Osim inicijalnih troškova opreme, potrebno je uzeti u obzir redovito održavanje, kalibraciju komponenti, nadogradnju i eventualnu zamjenu dotrajalih dijelova (41). Ne treba zaboraviti niti na troškove osiguranja od odgovornosti za letenje dronova u urbanim područjima koji također mogu biti značajni (31,40).

Navedeni troškovi uzimaju u obzir isključivo dron i popratnu opremu, zanemarujući potrebu za obukom operatera dronovima. Upravljanje dronovima u složenim uvjetima zahtijeva visoku razinu vještina, ali i stručnosti. Prikupljanje i analiza podataka te postupanje u hitnim situacijama samo su neki od znanja koja operateri dronovima moraju poznavati. Iako je u potpunosti opravdana, takva obuka može biti skupa i dugotrajna. Osim obuke operatera, javlja se potreba za informatičkim doškolovanjem inženjera u svrhu učinkovitije interpretacije podataka (42).

#### 3.4.4.7. Društveni aspekti

Primjena dronova u blizini urbanih područja može izazvati zabrinutost lokalnog stanovništva. Pitanje koje se često nameće u takvim situacijama je pitanje privatnosti, obzirom da dronovi mogu snimati privatne posjede (43). Određena istraživanja pokazala su kako buka koju stvaraju dronovi može ma ljude djelovati uznemirujuće, posebno u stresnim situacijama poput potresa (44).

### 3.4.5. Uporaba dronova u budućnosti – prevladavanje izazova

Upotreba dronova za procjenu stanja građevina nakon potresa donosi brojne prednosti, kao što su brza i detaljna analiza oštećenja, svođenje opasnih uvjeta vizualnog pregleda na minimum i mogućnost prikupljanja podataka iz teško dostupnih područja. U prethodnom poglavlju su prikazani temeljni nedostaci primjene dronova, a u nastavku je dan pregled mogućnosti za prevladavanje opisanih izazova.

Razvijanjem hitnih protokola za brže izdavanje dozvola za let dronova i odobrenje planova letenja u slučaju potresa omogućila bi se brža procjena. Definiranje odgovornih subjekata koji bi bili odgovorni za snimanje dronovima u situacijama potresa dodatno bi reguliralo cijeli proces. Kako bi se ostvarila sigurnost u zračnom prostoru i osiguralo poštivanje zakonskih okvira, predlaže se implementacija i razvoj "geofencing" tehnologije koja bi omogućila automatsko izbjegavanje unaprijed definiranih područja (45).

Vrijeme letenja dronova uvelike ovisi i o inovacijama u svijetu baterijskih napajanja. Primjena solarnog napajanja ili hibridnih sustava eventualno bi produžila vrijeme leta dronova i na taj način omogućila snimanje većeg broja građevina (46). Obratno, moglo bi se utjecati na sporiju potrošnju energije smanjenjem mase opreme koju dronovi nose. Takva ušteda baterije ostvariva je razvijanjem dronova kod kojih je moguće brzo i jednostavno mijenjanje opreme ovisno o specifičnosti zadatka i vremenskim uvjetima. Također, razvijanjem novih i lakših materijala za izradu dronova također bi unaprijedilo trajanje baterije (47). Još jedno od mogućih rješenja je primjena većeg broja dronova koji imaju mogućnost međusobne komunikacije i koordinacije (48). Kontinuirano prikupljanje podataka u tom bi slučaju bilo omogućeno na način da drugi dron automatski nastavlja snimanje dok se prvi vraća na stanicu za punjenje kada mu razina baterije padne ispod minimalne.

Rizik od gubitka GPS signala i kontrole drona moguće je svesti na prihvatljivu razinu primjenom redundantnih sustava za kontrolu i navigaciju (49). Drugim riječima, korištenje višestrukih GPS modula smanjilo bi vjerojatnost pojave tehničkih pogrešaka jer bi se prilikom gubitka signala na jednom modulu sustav povezo preko drugog GPS modula i na taj način ostvarivao konstantnu povezanost s operatorom.

Najveći razvoj potreban je u obradi podataka, a moguće ga je ostvariti razvijanjem softverskih rješenja koja koriste umjetnu inteligenciju za automatsku obradu i analizu podataka (50). Primjenom takvih rješenja omogućilo bi se automatsko prepoznavanje oštećenja, a samim time i ubrzao proces u kojem je vrijeme najdragocijeniji resurs. Od ranije su poznata razna rješenja koja funkcioniraju na principu strojnog učenja, ali takav pristup usporava primjenu jer zahtijeva puno vremena i napredna znanja iz programiranja (51). Implementacija umjetne inteligencije u softvere za obradu podataka približila bi primjenu većem broju korisnika.

Troškovi primjene dronova značajno bi se smanjili iznajmljivanjem dronova od provjerenih dobavljača, umjesto da se isti kupuju (52). Dronovi u građevinskoj industriji postaju svakodnevica te je njihova primjena sve šira. To je dodatan razlog za prihvaćanje modela u kojem se dron iznajmljuje te koji bi smanjio početne troškove, ali i omogućio pristup najnovijoj tehnologiji bez potrebe za velikim ulaganjima. Dodatan razlog za primjenu ovakvog modela je što je potres izvanredna pojava što znači da do njegova nastupanja može proći i duži period.

Prepreke vezane za društveno prihvaćanje moguće je premostiti, ali ono može biti dugotrajan proces. U tome može pomoći provođenje kampanja za informiranje javnosti o prednostima primjene dronova nakon potresa (53). Znanja iz područja psihologije neophodna su kako bi građanstvo prihvatilo suvremene metode, a pri tome ne treba umanjiti ni važnost demonstracija metoda kako bi u iste steklo povjerenje. Kako bi se povećao angažman i razumijevanje tehnologije, moguće je lokalnim volonterima pružiti obuku za rad s dronovima te na taj način uspostaviti različite programe koji uključuju lokalnu zajednicu u proces procjene stanja pomoću dronova (54,55). Primarno bi se trebali primjenjivati softveri koji automatski zamućuju lica, registarske oznake i druge privatne podatke te o tome obavijestiti građanstvo kako bi stekli dodatno povjerenje u primjenu takve tehnologije (56).

## 4. SEIZMIČKI RIZIK

Potresi su uzrokovani aktivnostima vezanim uz tektonske ploče, a Hrvatska je po tom pitanju pozicionirana u mediteransko-transazijski pojas. Kao posljedica kretanja afričke ploče u odnosu na euroazijsku, jadranska mikroploča podvlači se pod dinaride definirajući na taj način pojas visoke potresne aktivnosti (57).

Seizmički rizik građevine poznaje nekoliko definicija. Međutim, najprihvaćenija predstavlja kombinaciju između očekivane štete od potresa i vjerojatnosti njegova nastupanja. Može se reći da je potresni rizik mjera očekivane buduće štete uzrokovane potresom za koji se očekuje da će se dogoditi na promatranoj lokaciji. Stoga, on ovisi o vjerojatnosti premašivanja određene razine podrhtavanja tla uslijed očekivanih potresa u budućnosti. Također, važno je uključiti i utjecaj izloženosti izgrađenog okoliša, ali i pridodati mu mjeru oštetljivosti svakom pojedinom tipu građevine (57). Konačno, za procjenu seizmičkog rizika, potrebno je obuhvatiti tri važna pojma:

- seizmički hazard,
- izloženost i
- oštetljivost.

### 4.1. Seizmički hazard

Još se naziva i potresna opasnost, a podrazumijeva razorne učinke potresa na promatranoj lokaciji. Hazard se izražava statističkom vjerojatnošću da će određeni parametar (na primjer akceleracija tla, intezitet potresa i slično) u zadanom razdoblju biti premašen (3,57). Seizmički hazard moguće je procijenjivati determinističkom DSHA<sup>5</sup> ili probabilističkom PSHA<sup>6</sup> metodom. Za iskazivanje seizmičkog hazarda dobro prihvaćen pristup je onaj preko referentnog vremenskog perioda. U tom slučaju se prethodno definira prihvatljiva razina rizika kako bismo odredili vjerojatnost da će se premašiti granična vrijednost, primjerice ubrzanja tla. Jasno je da prihvatljiv stupanj rizika nije jednak za nuklearnu elektranu i obiteljsku kuću. Dakle, razina rizika određuje se u ovisnosti o važnosti građevine, ali i o nekim drugim parametrima, poput vrijednosti građevina i eksploatacijskom razdoblju. Uobičajeno je, za standardne građevine poput kuća i zgrada, koristiti referentno razdoblje  $t_{ref} = 50$  godina uz vjerojatnost promašaja granične vrijednosti,  $p = 10\%$ . Izlazni parametar navedene formulacije može biti ubrzanje tla,  $a_g$ , za koje se očekuje da će biti premašen s  $p$ -postotnom vjerojatnošću tijekom  $t_{ref}$  godina.

<sup>5</sup> DSHA –engl. Deterministic Seismic Hazard Assessment

<sup>6</sup> PSHA – engl. Probabilistic Seismic Hazard Assessment

Osim referentnog, često se koristi i tzv. povratno razoblje,  $T_{pov}$ . Povratno razdoblje je aproksimirana vrijednost perioda između dva premašivanja granične vrijednosti,  $a_g$  (3,57):

$$p = 100 \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1}{T_{pov}} \right)^{t_{ref}} \right].$$

Uvrštavajući vrijednosti  $t_{ref} = 50$  godina i  $p = 10\%$  u gornji izraz, dobiva se vrijednost povratnog razdoblja od 475 godina. Osim preko ubrzanja tla, seizmičku opasnost moguće je definirati preko intenziteta potresa (uz primjenu empirijskih jednadžbi) (3,57):

$$I_{MAX} = I_0 - 3 \cdot \log \frac{r}{h} - 3 \cdot \mu \cdot \alpha \cdot (r - h).$$

U gornjem izrazu značenje pojedinih oznaka je sljedeće:

- $I_{MAX}$  – procjenjena vrijednost intenziteta potresa na hipocentralnoj udaljenosti  $r$
- $r$  – hipocentralna udaljenost u kilometrima
- $h$  – dubina žarišta u kilometrima
- $\alpha$  – koeficijent apsorpcije (za područje Dinarida)
- $\mu = 04343$  – dekadski logaritam broja  $e$ .

Godine 2011. objavljena je digitalna karta potresne opasnosti Hrvatske i uvrštena u hrvatski Nacionalni dodatak europskih normi te je dostupna na adresi <http://seizkarta.gfz.hr>.



Slika 22: Interaktivna karta seizmičkog hazarda (58)

Kako je navedeno, postoji nekoliko različitih pristupa te se oni mogu kombinirati ili primjenjivati zasebno. Istovremeno, treba uzimati podatke s dozom opreza jer oni nekada ne moraju odgovarati stanju na terenu. Primjerice, česta je pojava neusklađenosti projektne dokumentacije i izvedenog stanja što može značiti da se tijekom izgradnje odstupilo od projekta ili da je riječ o naknadnim rekonstrukcijama koje su često vrlo nepovoljne. U tim situacijama je potrebno prije procjene rizika prikupiti podatke o stvarnom stanju jer takve neusklađenosti mogu značajno utjecati na ponašanje konstrukcije u potresnim uvjetima (57). Sustavno prikupljanje podataka i njihova obrada dugotrajan je proces kojim većini slučajeva iziskuje izlazak inženjera na teren (često i po nekoliko puta kada je riječ o tradicionalnom pristupu).

## 4.2. Izloženost

Izloženost građevina definira se kao razmjer prisutnosti građevina i aktivnosti ljudi u područjima izloženim seizmičkom hazardu. Vrlo brzo se dolazi do zaključka da su za definiranje izloženosti ključni podaci o građevinama, tj. popis zgrada uz koji su vezani i podaci o stanovništvu, načinu uporabe, trošku zamjene zgrada i slično. U svrhu provođenja jednoznačne klasifikacije potrebno je odabrati odgovarajuću taksonomiju kako bi se značajke, poput godine izgradnje, konstrukcijskog sustava i katnosti, obuhvatile na jednak način. Postoje inicijative prikupljanja podataka o zgradama, ali one još uvijek nisu regulirane zakonom već su prepuštene volji građana. Postoji ideja i da se sustavno prikupljanje takvih podataka o građevinama vrši kao sastavni dio popisa stanovništva, te na taj način postane obavezno, ali nažalost do sada takva ideja nije ugledala „svjetlo dana“. Zaključuje se, stoga, kako u Hrvatskoj postoji veliki nedostatak podataka o zgradama (zajedno s karakteristikama istih) što dovodi do toga da je izloženost, kao jedan od tri ključna parametra za pouzdano definiranje seizmičkog rizika, vrlo slabo definirana (57).

Upitni su i oni podaci o zgradama koje imamo te na njih moramo računati s velikom količinom opreza. Naime, još je manje dokumentiranih rekonstrukcija zgrada koje mogu značajno promijeniti ponašanje građevine u uvjetima seizmičke aktivnosti. Dodatno situaciju otežava vrlo velik broj ilegalno izgrađenih odnosno rekonstruiranih objekata (57). Sustavno prikupljanje podataka o građevinama veliki je izazov koji treba shvatiti ozbiljno i posvetiti mu pažnju kakvu zaslužuje. U ovom je radu u narednim poglavljima dan pregled metoda za učinkovito prikupljanje podataka o građevinama primjenom dronova.

### 4.3. Oštetljivost građevina


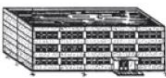







Oštetljivost građevina definira se kao mjera očekivanog oštećenja građevine<sup>7</sup> pri pojavi potresa predviđenog inteziteta na promatranoj lokaciji (59). Iako su dva srodna pojma, oštećenje i oštetljivost potrebno je vrlo dobro razlikovati. Drugim riječima, može se reći da građevina čija je oštetljivost vrlo visoka ima vrlo nisku potresnu otpornost (57). Ta su dva pojma, stoga, obrnuto proporcionalna. Pojam oštetljivosti vezan je za ponašanje građevine pri budućem očekivanom potresu te je kao takav vrlo značajan za procjenu ekonomskih i društvenih gubitaka u budućnosti (3).

Oštetljivost se u suvremenim metodama za procjenu seizmičkog rizika uzima u obzir preko:

- krivulja oštetljivosti – predstavljaju vjerojatnost gubitaka pri određenoj razini seizmičke aktivnosti
- krivulja vjerojatnosti oštećenja (krivulja ranjivosti) – definiranih kao vjerojatnost prekoračenja zadanih graničnih stanja pri određenoj razini seizmičke aktivnosti.

Krivulju oštetljivosti moguće je definirati poznavajući krivulju vjerojatnosti oštećenja, odnosno povezujući stvarnu nastalu štetu s onom očekivanom. Postupci za procjenu oštetljivosti zgrada kroz povijest su napredovali te se danas mogu podijeliti na empirijske, analitičke i na one postupke koji se temelje na procjeni stručnjaka. U većini slučajeva, procjena oštetljivosti primjenjuje se u svrhu modeliranja oštećenja dok je najraširenija primjena upravo EMS-98 ljestvice koja ima kategorije oštećenja od I do V (57).

Tablica 2: Kategorije oštećenja prema EMS98 ljestvici (57)

Kategorizacija	I	II	III	IV	V
	Blago oštećenje	Umjereno oštećenje	Značajno oštećenje	Vrlo teško oštećenje	Otkazivanje
AB					
zidane					
opis	zanemarivo konstrukcijsko oštećenje i blago nekonstrukcijsko oštećenje	blago konstrukcijsko oštećenje i umjereno nekonstrukcijsko oštećenje	umjereno konstrukcijsko oštećenje i teško nekonstrukcijsko oštećenje	teško konstrukcijsko oštećenje i vrlo teško nekonstrukcijsko oštećenje	vrlo teško konstrukcijsko oštećenje

<sup>7</sup> Drugim riječima, podložnost određenoj razini oštećenja promatrane zgrade

Kao rezultat brojnih istraživanja na temu procjene fizičke oštećljivosti zgrada u današnje vrijeme na raspolaganju jesu razni postupci i metode u tu svrhu. Međutim, važno je biti dobro upoznat s lokalnim uvjetima u kojima se one primjenjuju. Osim što je bitno biti „u tijeku“ s aktualnim istraživanjima i rezultatima istih, potrebno je poznavati i fond građevina te utjecaje prošlih potresa na iste. Uglavnom se različiti pristupi primjenjuju ovisno o tipologiji građevina (57). U svrhu svrstavanja građevina u vlastitu kategoriju, uglavnom su ključni parametri

- materijal iz kojeg su izvedene – npr. čelične, zidane, AB zgrade i sl.
- konstrukcijski sustav – okviri, zidni sustavi, mješoviti i sl.
- te katnost.

Pristupe koje primjenjujemo za određivanje seizmičkog rizika dijelimo na empirijske, analitičke i one koji se temelje na mišljenju stručnjaka.

Za slučajeve u kojima se raspoložuje bogatom i pouzdanom bazom podataka primjereno će biti upotrebljavati **empirijske pristupe**. Važno je napomenuti kako je za odgovarajuće određivanje oštećljivosti preko empirijskih metoda neophodna baza podataka dobivena statističkim analizama podataka proizašlih iz sustavnih i kontinuiranih praćenja te istražnih radova nakon potresa s velikim obujmom posljedica (razorni potresi) (57). Takve metode omogućavaju primjenu različitih tablica i matrica oštećenja jer su bazirane na podacima poput indeksa i krivulje oštećljivosti, informacijama o ranijim oštećenjima i održavanju građevine kroz njezin uporabni vijek.

Ipak, za ostale slučajeve, u kojima nije dostupna kvalitetna i pouzdana baza podataka, prednost će imati metode temeljene na **analitičkim postupcima**. Ti su postupci primjenjivi bez obzira postoje li zabilješke o pretrpljenim oštećenjima nastalih uslijed prošlih potresa. Takvo što je moguće jer su kod analitičkih postupaka skale oštećenja bazirane na mehaničkim svojstvima građevine koja su u vezi s njezinim graničnim stanjima (57). Odgovor konstrukcije na seizmička djelovanja simulira se uz pomoć numeričkih modela.

Analitički postupci obuhvaćaju:

- metode bazirane na mehanizmu sloma
- pristupe temeljene na spektru kapaciteta
- u potpunosti na pomacima temeljene postupke
- krivulje oštećljivosti te matrice vjerojatnosti nastanka oštećenja izvedene analitičkim postupcima.



#### 4.4. Makroseizmička metoda

Makroseizmički pristup primjenjuje se za procjenu oštećljivosti većeg broja građevina, a osim samostojećih ima mogućnost procjene zgrada u nizu (bloku) (3). Pomoću ovog pristupa se u vrlo kratkom roku i na vrlo jednostavan način dolazi do dovoljno točnih rezultata, tj. prikaza oštećljivosti.

Ulazni podatci dobivaju se primjenom:

- zapažanja na temelju vizualnog pregleda,
- projektna dokumentacija građevine,
- zaključci i bilješke s pregleda provedenog nakon eventualnog potresa.

Glavna prednost navedenog pristupa je, uz efikasnost primjene, ta što makroseizmička metoda daje sasvim dovoljno točne izlazne podatke čak i onda kada su informacije o povijesti oštećenja i projektna dokumentacija građevine (ulazni podaci) manjkave (3,59).

##### 4.4.1. Procjena oštećljivosti samostojećih zgrada

Za procjenu samostojećih zgrada u okviru makroseizmičke metode se primjenjuje obrazac od 10 parametara koji su prvi put predstavili Benedetti i Petrini 1984. godine. U nastavku su ukratko opisani razredi u koje se svrstavaju pojedine građevine. Osim to da su svi parametri podijeljeni u četiri razreda gdje svaki od njih „nosi“ određeni broj bodova, treba spomenuti i to da nemaju svi parametri jednak utjecaj na ukupni odziv zgrade zbog čega se koriste težinski faktori (59).

Tablica 3. Obrazac za procjenu oštećljivosti građevina (59)

Parametri	Razred				Težinski faktor
	A	B	C	D	
1. Povezanost međusobno okomitih zidova	0	5	20	45	1
2. Tip zidanih elemenata	0	5	25	45	0.25
3. Tlo i temeljenje	0	5	25	45	0.75
4. Raspodjela nosivih elemenata	0	5	25	45	1.5
5. Pravilnost tlocrta	0	5	25	45	0.5
6. Raspodjela mase po visini	0	5	25	45	0.8
7. Tip međukatne konstrukcije	0	5	25	45	0.8
8. Krovšte	0	5	25	45	1
9. Detalji	0	5	25	45	0.25
10. Stanje građevine	0	5	25	45	1
Σ(10 parametara)					

#### 4.4.1.1. Povezanost zidova

Ovisno o tome je li građevina izgrađena u skladu s važećim propisom koji uzima u obzir seizmička djelovanja, zgradu svrstavamo u razrede (60):

- RAZRED A – građevine koje su projektirane i izvedene uzimajući u obzir seizmička djelovanja na konstrukciju prema važećem seizmičkom propisu
- RAZRED B – zidane građevine s AB međukatnom konstrukcijom i AB gredama,
- RAZRED C – zidane građevine s AB međukatnom konstrukcijom,
- RAZRED D – zidane građevine kojima međukatna konstrukcija nije izvedena od armiranog betona.

#### 4.4.1.2. Tip zidanih elemenata

Primjena blokova standardnih dimenzija, oblika i kvalitete, odnosno ziđa sa serklažima pokazala se značajno povoljnijom od onih koji to nisu. Ziđe sačinjeno od standardnih blokova i povezano serklažima ima predvidljivije i povoljnije mehaničke karakteristike. Ovaj važan učinak vrste zidanog elementa i postojanje serklaža uzima se u obzir kroz razrede (60):

- RAZRED A – pravilna blok opeka (homogeni vez) ili ziđe s horizontalnim vezama
- RAZRED B – pravilna blok opeka (nehomogena) ili nehomogeno ziđe s horizontalnim vezama
- RAZRED C – poluobrađena blok opeka loše kvalitete bez horizontalnih serklaža
- RAZRED D – nepravilni vez blok opeke loše kvalitete bez horizontalnih serklaža

#### 4.4.1.3. Tlo i temeljenje

Poseban učinak na ponašanje građevine u potresu ima tip tla na kojem je ona temeljena i način odnosno kvaliteta temeljenja. Osim tipa tla, na ponašanje konstrukcije učinak će imati i nagib tla. Utjecaj veze između nadzemne konstrukcije i tla uzima se u obzir preko razreda (60):

- RAZRED A – građevine s AB trakastim temeljima: stabilna tla s nagibom manjim od 5°
- RAZRED B – građevine s AB trakastim temeljima: stabilna tla s nagibom manjim od 15° ili bez AB trakastih temelja na lošijoj stijeni s nagibom manjim od 10°
- RAZRED C – građevine na AB trakastim temeljima na tlu nagiba većeg od 15° ili bez AB trakastih temelja na glinenom tlu nagiba manjeg od 15°
- RAZRED D – građevine bez AB trakastih temelja na glinenom tlu nagiba većeg od 15° ili na lošijoj stijeni nagiba većeg od 25°

#### 4.4.1.4. Tlocrtna raspodjela nosivih elemenata

U razrede se svrstava ovisno o postotku površine nosivih zidova u dva međusobno okomita pravca. Ovaj parametar najznačajnije utječe na ukupno ponašanje zgrade što se može primijetiti i iz činjenice da ima najveći težinski faktor (60):

- RAZRED A – Postotak zidova u x i y smjeru veći od 12%
- RAZRED B – Postotak zidova u x i y smjeru veći od 10%
- RAZRED C – Postotak zidova u x i y smjeru manji od 8%
- RAZRED D – Postotak zidova u barem jednom smjeru manji od 6%

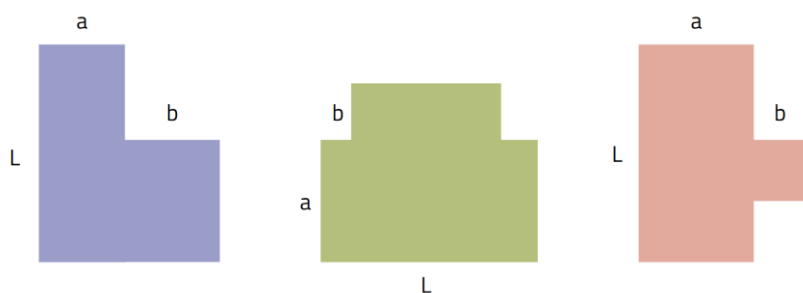
#### 4.4.1.5. Pravilnost tlocrta

Razred se određuje matematički, ovisno o omjeru dimenzija građevine u tlocrtu (60).

- RAZRED A –  $\beta_1 \geq 0.8$ ;  $\beta_2 \leq 0.1$ ,
- RAZRED B –  $0.8 > \beta_1 \geq 0.6$ ;  $0.1 < \beta_2 \leq 0.2$ ,
- RAZRED C –  $0.6 > \beta_1 \geq 0.4$ ;  $0.2 < \beta_2 \leq 0.3$ ,
- RAZRED D –  $0.4 > \beta_1$ ;  $0.3 < \beta_2$ .

Omjeri  $\beta_1$  i  $\beta_2$  određuju se prema izrazima:

$$\beta_1 = \frac{a}{L}; \beta_2 = \frac{b}{L}$$

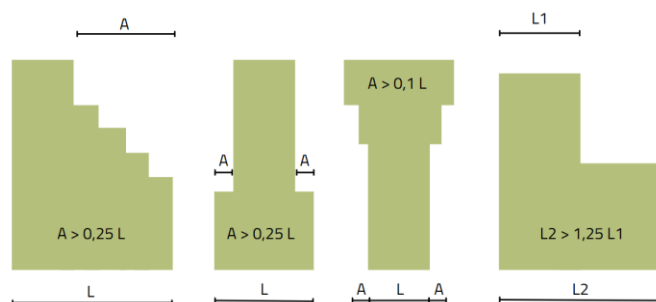


Slika 23. Klasifikacija tlocrtne nepravilnosti

#### 4.4.1.6. Pravilnost po visini

Postojanje arkada ili npr. svodova utjecati će također na ponašanje zgrade u potresu, stoga se pravilnost po visini uzima u obzir uvažavajući razrede (60):

- RAZRED A – zgrade s jednolikom raspodjelom mase po visini,
- RAZRED B – zgrade koje imaju arkade, svodove i/ili „ulične“ otvore prihvatljivo malih dimenzija,
- RAZRED C – zgrade s arkadama veličine 10% do 20% ukupne tlocrtne površine,
- RAZRED D – zgrade s arkadama veličine veće od 20% ukupne tlocrtne površine.



Slika 24. Klasifikacija visinske nepravilnosti zgrade

#### 4.4.1.7. Tip međukatne konstrukcije

Jedan od najznačajnijih utjecaja na ponašanje zgrade pri horizontalnim opterećenjima ima upravo krutost međukatne konstrukcije, odnosno njezina povezanost sa zidovima. Stoga, učinak se uzima kroz razrede opisane ispod (60):

- RAZRED A – zgrade s međukatnim konstrukcijama koje zadovoljavaju kriterije:
  - a) kruta dijafragma i
  - b) odgovarajuća povezanost sa zidovima.
- RAZRED B – zgrade s krutim međukatnim konstrukcijama,
- RAZRED C – zgrade s deformabilnim međukatnim konstrukcijama dobro povezanim sa zidovima,
- RAZRED D – zgrade s raznim fleksibilnim međukatnim konstrukcijama loše povezanim sa zidovima.

#### 4.4.1.8. Krovište

Važno je uključiti utjecaj krovne konstrukcije na ponašanje zgrade, stoga će uz vrstu krovišta prisusto veznih greda i zatega biti uzete kroz razrede (60):

- RAZRED A – krovna konstrukcija s veznim gredama ili prstenastim AB gredama
- RAZRED B – nepotisnuta krovna konstrukcija bez veznih greda ili prstenastih AB greda
- RAZRED C – slabo potisnuta krovna konstrukcija bez veznih greda ili prstenastih AB greda
- RAZRED D – potisnuta krovna konstrukcija bez veznih greda ili prstenastih AB greda

#### 4.4.1.9. Detalji

Kvaliteta detalja spojeva okvira, balkona, dimnjaka i slično uzeta je u obzir preko razreda (60):

- RAZRED A – zgrade s dobro povezanim okvirima, niskim dimnjacima i dobro povezanim balkonima
- RAZRED B – zgrade s dobro povezanim okvirima i balkonima, srednje niskim dimnjacima i dobro povezanim balkonima
- RAZRED C – zgrade s istakama loše povezanim na zidove
- RAZRED D – zgrade s loše povezanim okvirima i visokim dimnjacima

#### 4.4.1.10. Stanje građevine

Osim što vodeći problem predstavljaju izvorni nedostaci građevine, velik utjecaj može imati i stanje građevine. Primjerice, zgrade bez odgovarajuće fasade izloženije su prodiranju atmosferilija u strukturu koje potom uzrokuju daljnje propadanje materijala iz kojeg je zgrada izvedena. Ovisno o stanju u kojem se zgrada nalazi, svrstavamo ju u jedan od četiri razreda (60):

- RAZRED A – vrlo dobro stanje,
- RAZRED B – dobro stanje,
- RAZRED C – loše stanje,
- RAZRED D – vrlo loše stanje građevine.

#### 4.4.2. Procjena oštećljivosti zgrada u nizu

Zgrade u nizu mogu imati znatno kompleksniji problem ponašanja prilikom potresa u odnosu na samostojeće jedinice. Obzirom da su takve zgrade u interakciji sa susjednim zgradama, potrebno je uz ranije navedene učinke na odgovarajuć način uzeti u obzir njihovo međudjelovanje. Obzirom na različito razdoblje u kojem su izgrađeni, susjedni objekti često imaju različita materijalna svojstva, otvore te različite visine na kojima se nalaze međukatne konstrukcije što dodatno komplicira ovaj problem (3,59). Kao dodatak na standardni formular od 10 parametara, uvodeći dodatnih 5 parametara moguće je u okvirima makroseizmičkog pristupa procijeniti utjecaj bloka na oštećljivost zgrade (61). U nastavku je opisano dodatnih 5 parametara.

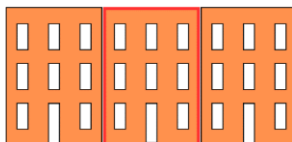
Tablica 4. Obrazac za ocjenu oštećljivosti zgrada u bloku (61)

Parametri	Razred				Težinski faktor	I <sub>v</sub>
	A	B	C	D		
11. Prisutnost susjednih jedinica različite visine	-20	0	15	45	1	15
12. Pozicija jedinice u nizu građevina	-45	-25	-15	0	1.5	-22.5
13. Broj razmještenih katova	0	15	25	45	0.5	22.5
14. Konstruktivna ili tipološka heterogenost između susjednih jedinica	-15	-10	0	45	1.2	-12
15. Postotak razlike ploština otvora između susjednih fasada	-20	0	25	45	1	45

## 4.4.2.1. Prisutnost susjednih jedinica različite visine

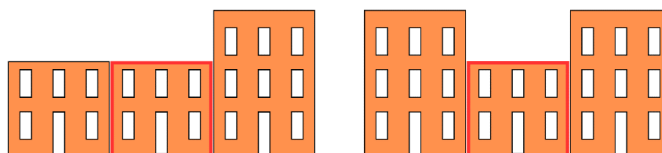
Učinak bloka bit će povoljan u slučaju da su susjedne zgrade jednake visine kao i promatrana zgrada. Ukoliko sve tri zgrade nisu jednake visine, ovisno o različitim slučajevima prikazanim ispod, uzima se kao nepovoljan utjecaj (3,60,61):

- RAZRED A:



Slika 25. Utjecaj visine susjednih jedinica - razred A

- RAZRED B:



Slika 26. Utjecaj visine susjednih jedinica - razred B

- RAZRED C:



Slika 27. Utjecaj visine susjednih jedinica - razred C

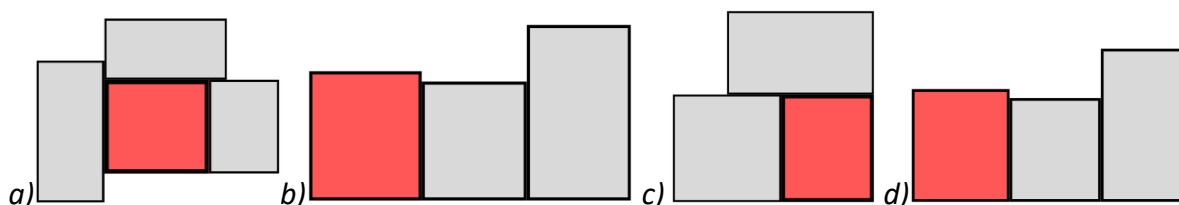
- RAZRED D:



Slika 28. Utjecaj visine susjednih jedinica - razred D

## 4.4.2.2. Pozicija jedinice u bloku

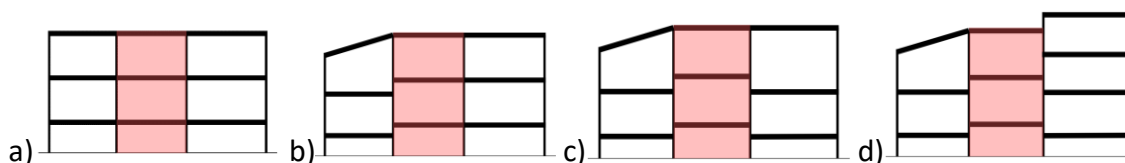
Dosadašnja istraživanja su pokazala da su jedinice na krajevima bloka oštetljivije od ostalih. Ovisno o položaju promatrane zgrade u bloku, učinak niza građevina može biti i povoljan i nepovoljan te ga je potrebno uzeti pomoću razreda (3,60,61):



Slika 29. Položaj jedinice u bloku (a) razred A; (b) razred B, (c) razred C; (d) razred D

## 4.4.2.3. Broj razmještenih katova

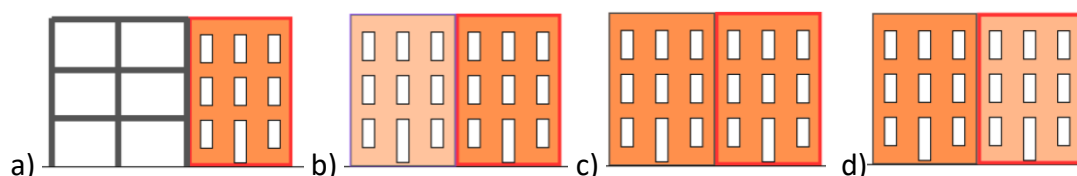
Iako ima najmanji utjecaj na ponašanje zgrade u bloku, potrebno je uzeti u obzir razmještene katove. Što je takvih katova više, to je zgrada podložna većim oštećenjima. Kroz ilustracije ispod opisana je klasifikacija po razredima (3,60,61):



Slika 30. Razmješteni katovi (a) razred A; (b) razred B, (c) razred C; (d) razred D

## 4.4.2.4. Konstruktivna ili tipološka heterogenost

Na temelju dosadašnjih istraživanja, zaključeno je kako gotovo najnepovoljniji utjecaj na oštetljivost (težinski faktor 1.2) ima upravo konstruktivna i tipološka heterogenost. U tom kontekstu, najgori će slučaj biti onda kada se promatrana zgrada nalazi do objekta koji ima veću čvrstoću (3,60). Međutim, iskustveno se došlo i do zaključka da susjedna zgrada od armiranog betona ima pozitivan učinak na ponašanje (3). U makroseizmičkoj metodi, navedeni učinci uzimaju se u obzir kroz razrede:

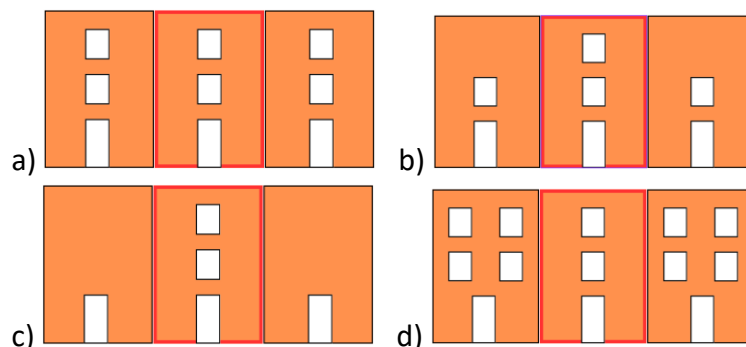


Slika 31. Heterogenost (a) razred A; (b) razred B, (c) razred C; (d) razred D



#### 4.4.2.5. Postotak razlike ploštine otvora

Onda kada su otvori između susjednih fasada jednaki, učinak je najpovoljniji (razred A), a najnepovoljniji onda kada promatrana zgrada ima manje otvora od susjednih (3).



Slika 32. Površine otvora (a) razred A; (b) razred B, (c) razred C; (d) razred D

#### 4.4.3. Ukupna ocjena oštećljivosti

Ovisno o razredu, slijedi ocjena pojedine kategorije. Svaka kategorija (npr. pozicija jedinice u bloku) ima odgovarajući težinski faktor koji je dobiven iskustveno te ovisi o utjecaju pojedine kategorije na ukupno ponašanje građevine u potresu (59). Ukupna ocjena oštećljivosti izračunava se pomoću izraza:

$$I_V = \sum_{i=1}^n s_i \cdot w_i$$

pri čemu je:

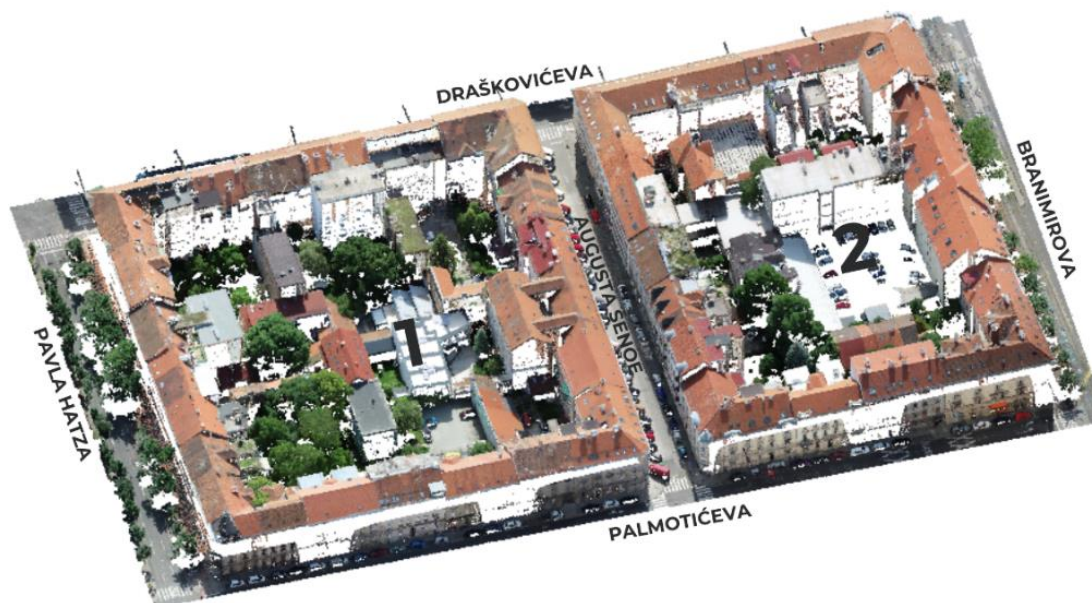
- $s_i$  - vrijednost razreda parametra
- $w_i$  – težinski faktor parametra.

Primjena navedene metode upotrebljava se za ukupnu ocjenu oštećljivosti, uzimajući u obzir svih 15 parametara za zgrade u bloku. Međutim, kod zgrada u bloku je također zanimljivo promotriti oštećljivost dobivenu na temelju dodatnih 5 parametara. Na taj način moguće je analizirati učinak bloka na promatranu zgradu (3,59).

## 5. STUDIJA SLUČAJA

Kao primjer mogućnosti koje nudi primjena dronova za procjenu seizmičke oštetljivosti postojećih građevina, odabrano je 11 zidanih građevina u nizu. Korištena je makroseizmička metoda, a parametri za analizu određeni su na temelju zračnih snimki dobivenih dronom. Kako bi se u obzir uzeli utjecaji koje blok ima na ponašanje zgrade prilikom potresa, uz izvornih 10 parametara, primijenjena je proširena analiza s dodatnih 5 parametara.

Građevine razmatrane u ovoj studiji slučaja nalaze se unutar dva susjedna bloka na slici ispod. Blokove karakteriziraju ukrasni elementi na pročeljima te visoki stropovi promatranih građevina izgrađenih u 19. i u prvoj polovici 20. stoljeća. Sjeverni blok (blok br. 1) omeđen je ulicom Pavla Hatza sa sjeverne strane, ulicom Augusta Šenoae s južne, Palmotićevo ulicom sa zapadne te Draškovićevom ulicom s istočne strane. Južni blok (blok br. 2) osim Ulicom Augusta Šenoae na sjeveru, Palmotićevo i Draškovićevom na zapadu i istoku, omeđen je Ulicom Kneza Branimira na jugu. Razmatrane građevine čine južno pročelje bloka br. 1 (6 zgrada), odnosno sjeverno pročelje bloka br. 2 (5 zgrada). Odabrane građevine nalaze se na suprotnim stranama Ulice Augusta Šenoae i kućnih su brojeva 17, 19, 21, 23, 25 i 27 u bloku 1, odnosno 22, 24, 26, 28 te 32. Građevine na adresi Ulica Augusta Šenoae 30 i 34 nisu predmet u ovoj analizi obzirom da se radi o armiranobetonskim objektima, ali je njihov utjecaj na susjedne građevine uzet u obzir.



*Slika 33. 3D model snimljenih zgrada (LIDAR)*

Sve analizirane zgrade zidane su s drvenim međukatnim konstrukcijama karakterističnim za razdoblje izgradnje (3). U analizi su razmatrane kao fleksibilne obzirom da ne omogućavaju tzv. efekt "kutije". Razlozi tome su što nisu dovoljno krute u svojoj ravnini i što nisu povezane sa vertikalnim elementima na odgovarajući način (uglavnom slobodno oslonjene na nosive zidove i obzidane opekom) (15). Zgrade navedenih blokova se sastoje od prizemlja i dvije do najviše pet nadzemnih etaža, a imaju stambenu, poslovnu i kombiniranu namjenu. Sve predmetne zgrade dio su blokova povijesne urbane cjeline grada Zagreba te su zaštićeno kulturno dobro (62).

### 5.1. Korištena oprema

U ovom radu korišten je dron DJI Matrice 300 RTK opremljen senzorom Zenmuse L1 i naprednim RTK (Real-Time Kinematic) navigacijskim sustavom koji omogućuje prikupljanje podataka s centimetarskom preciznošću (63). Također, korišteno je prijenosno računalo s instaliranim odgovarajućim softverima za obradu podataka.



Slika 34. Dijelovi korištenog Zenmuse L1 senzora

Općenito, LIDAR senzor i RGB kamera dvije su odvojene komponente i osim što funkcioniraju na potpuno različite načine, formati podataka prikupljenih njihovom primjenom također su različiti. Korišteni Zenmuse L1 integrira LIDAR tehnologiju i RGB kameru omogućujući njihov istovremen rad. Dakle, omogućava simultano prikupljanje oblaka točaka visoke gustoće i fotografija visoke rezolucije te u konačnici njihovo objedinjavanje. Zenmuse L1 pričvršćen je na konstrukciju drona preko rotacijskog mehanizma (eng. „gimbal“). Na taj način omogućuje široko vidno polje i visoku učinkovitost u analizi složenih struktura poput složenih objekata (npr. povijesne zgrade). Korisno je što LIDAR može prikupljati podatke kroz vegetaciju te na taj način

omogućuje detaljnu analizu i onih dijelova građevina koji su konvencionalnim metodama nedostupne (63).

Primjenom ovog sustava u radu demonstrirana je mogućnost sigurne i brze inspekcije teže dostupnih dijelova građevina, bez potrebe za skelama ili angažiranjem radnika u potencijalno opasnim uvjetima. Nadalje, sposobnost prikupljanja podataka u realnom vremenu omogućila je procjenu promatranih 11 građevina na temelju aktualnih ulaznih podataka.

Korištenje drona omogućilo je digitalnu dokumentaciju informacija i preciznu procjenu građevina prema visokim tehničkim standardima. Važno je učiti iz graditeljskog naslijeđa, ali i očuvati ga, a primjenom drona olakšano je očuvanje kulturne baštine i dokumentiranje vrijednih podataka kroz vrijeme.

## **5.2. Planiranje i priprema za letenje**

Prije početka letenja, proveden je niz pripremnih radnji kako bi se osigurala sigurnost prilikom snimanja i kvaliteta prikupljenih podataka.

### **1. Analiza lokacije i okoliša**

Prvo je provedena analiza lokacije i područja na kojoj će se vršiti snimanje. Provjereni su i meteorološki uvjeti na dan leta, uključujući brzinu vjetra i padaline, kako bi se procijenili potencijalni rizici za stabilnost drona.

### **2. Definiranje ciljeva operacije**

Nakon analize lokacije, definirani su ciljevi operacije. Određena je visina i brzina letenja te područje koje će biti pokriveno kako bi prikupljeni podaci zadovoljili potrebe istraživanja. Parametri su postavljeni na način da optimiziraju gustoću i veličinu prikupljenih LiDAR podataka.

### **3. Kreiranje plana leta**

Kreiran je plan letenja pomoću aplikacije DJI Pilot 2 instaliranog na daljinski upravljač drona. Postavljena je ruta leta s visinom i brzinom kretanja.

#### 4. Provjera opreme i postavljanje Zenmuse L1 senzora

Prije leta nije bilo potrebno ručno izvršiti kalibraciju opreme jer korišteni dron ima mogućnost samo-kalibriranja. Prije nego je dron počeo s prikupljanjem podataka, u zraku je samostalno napravio sve potrebne radnje vezane za kalibriranje senzora, kako bi se osigurala preciznost navigacije i pozicioniranja u prostoru.

#### 5. Postavke kamere i senzora

Postavljeni su parametri vezani za:

- RGB kameru: određena je razlučivost, brzina zatvarača<sup>8</sup> i ISO vrijednost.
- LIDAR senzor: postavljena je gustoća točaka<sup>9</sup> i frekvencija skeniranja<sup>10</sup>.

#### 6. Sigurnosne provjere

Provjereno je stanje baterija, GPS signal i cjelovitost i ispravnost drona. Osigurano je i slobodno područje za polijetanje i slijetanje. Također, pomoću mobilne aplikacije AMC Portali „rezerviran“ je zračni prostor za letenje u odabranom terminu i području te su za iste ishođene sve potrebne dozvole.



*Slika 35. Podešavanje postavki opreme i rute letenja*

<sup>8</sup> Parametar koji kontrolira koliko dugo je senzor kamere izložen svjetlu tijekom snimanja

<sup>9</sup> Broj točaka koje su prikupljene po kvadratnom metru. Izražava se u pts/m<sup>2</sup>

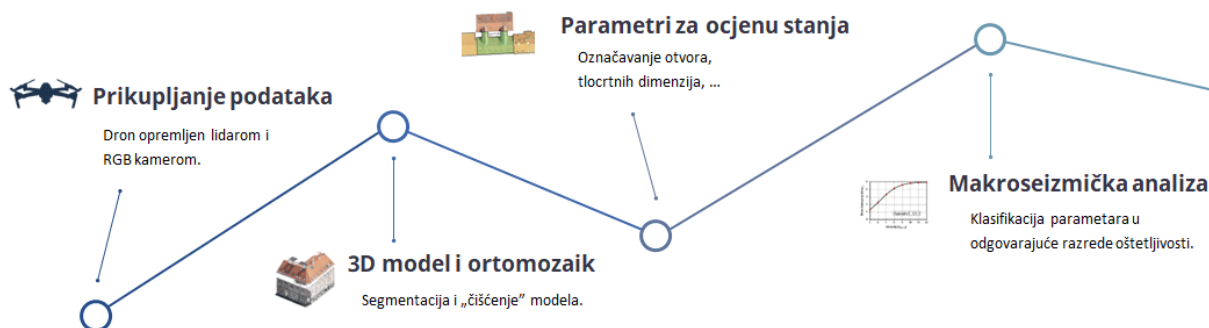
<sup>10</sup> Broj mjerenja (uzoraka) koje LIDAR senzor prikuplja u sekundi

Tablica 5. Vrsta podataka ovisno o tipu korištene opreme

PARAMETAR ZA ANALIZU	OPREMA NA DRONU
Lokacija građevine	GNSS
Tlocrtna nepravilnost	LIDAR, RGB kamera
Pravilnost po visini	RGB kamera
Krovište	RGB kamera
Detalji	RGB kamera
Stanje konstrukcije	RGB kamera
Visine susjednih jedinica	LIDAR
Položaj građevine u bloku	LIDAR, RGB kamera
Broj razmaknutih katova	LIDAR, RGB kamera
Konstruktivska i strukturalna heterogenost	RGB kamera
Postotak otvora	LIDAR

### 5.3. Postupak ocjenjivanja oštetljivosti

Obrada podataka najzahtjevniji je dio procjene seizmičkog rizika, stoga je važno u početku odabrati odgovarajuće programske alate i rješenja koja će učiniti proces učinkovitim. U ovome radu obrađen je cijeli postupak – od prikupljanja podataka do njihove obrade i u konačnici ocjenjivanja oštetljivosti. Obrada podataka napravljena je ručno, ali ističe se mogućnost primjene umjetne inteligencije i strojnog učenja kako bi se dodatno ubrzali i automatizirali repetitivni procesi.



Slika 36. Dijagram tijeka ocjene oštetljivosti

Obrada podataka u ovome radu podijeljena je u četiri složena koraka:

1. Prikupljanje podataka

- dronom su prikupljeni vrlo precizni 3D podaci pomoću LIDAR-a i 2D fotografije pomoću RGB kamere. Osnovna razlika je što LIDAR podaci pružaju informacije o geometriji građevina u obliku točaka vrlo visoke preciznosti, dok RGB kamere bilježe vizualne karakteristike poput boja i tekstura snimljenih objekata.

2. Izrada modela i ortomozaika

- na temelju prikupljenih LIDAR podataka kreiran je model snimljenih zgrada - oblak točaka. Obzirom da je za makroseizmičku analizu dovoljno poznavati geometriju zgrade i njezin položaj u bloku, izdvojene su razmatrane zgrade te su izbačene točke okolnih građevina i objekata koji nisu tema ovoga rada.
- 2D podaci dobiveni RGB kamerom objedinjeni su u tzv. ortomozaik. Korištenjem softverskog rješenja, veća količina fotografija objedinjena je u mozaik - jednu fotografiju dobivenu na temelju svih fotografija.

3. Definiranje parametara za makroseizmičku analizu

- na temelju oblaka točaka s izdvojenim razmatranim dijelovima, u Revit-u 2024 su ručno definirani položaji otvora, međukatnih konstrukcija i ostalih parametara koji se u analizi svrstavaju u razrede.

4. Klasifikacija parametara u razrede prema pravilima makroseizmičke analize

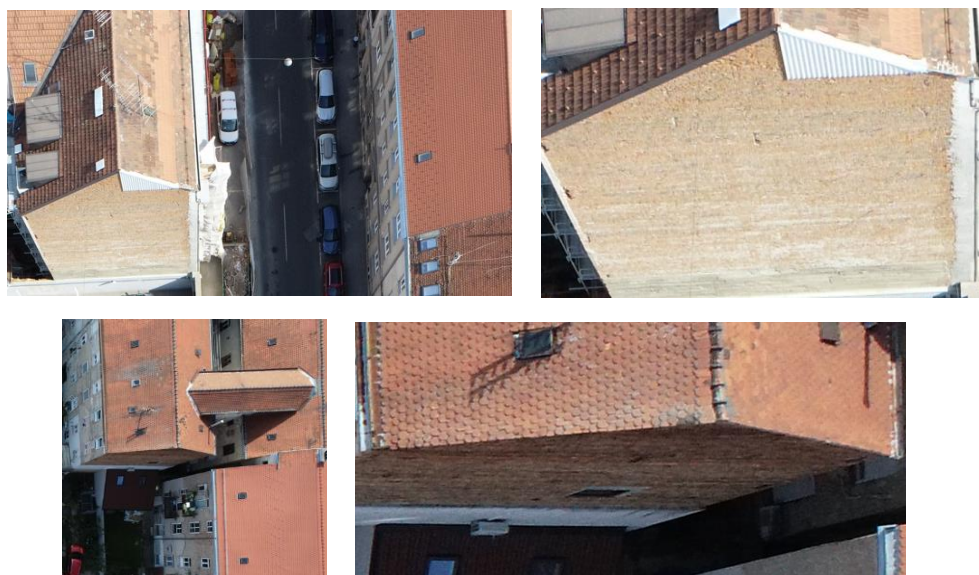
- razredi definiranih parametara u prethodnom koraku izračunati su matematički (npr. postotak ploštine prozora) ili su konceptualno određeni (npr. pravilnost zgrade po visini). Na temelju određenih razreda s pripadajućim težinskim faktorom određena je seizmička oštetljivost 11 zgrada.

## 5.4. Definiranje parametara za makroseizmičku metodu

U nastavku je opisan korišteni postupak za određivanje parametara kao ulaznih parametara za makroseizmičku analizu. Naglasak je stavljen je na parametre koje je bilo moguće procijeniti na temelju snimki iz drona i eventualnih informacija dostupnih na internetu. Točnija klasifikacija ostalih parametara zahtijeva vizualni pregled i dodatne istražne radove te je za iste parametre u radu napravljena gruba procjena na temelju dosadašnjih saznanja i dostupne literature.

### 5.4.1. Organizacija i karakteristike vertikalnih konstrukcija

Ukoliko je potrebno točnije definiranje ovog parametra, prikladno je napraviti vizualni pregled i po potrebi istražne radove. U svrhu studije slučaja u ovom radu, procjena je provedena na temelju opće pretpostavke o vremenu izgradnje zgrade te na temelju podataka prikupljenih s RGB kamere na dronu. Pretpostavljeno je da su blokovi analiziranih objekata izgrađeni u 19. stoljeću, zbog čega se za sve građevine usvaja pretpostavka da su izvedene korištenjem opeke, bez armiranobetonskih stropnih konstrukcija i horizontalnih AB serklaža (nepovezano ziđe). Na temelju navedenoga, objekti su klasificirani u razred D za organizaciju vertikalnih konstrukcija. Uglavnom se radi o nearmiranom ziđu bez serklaža. Na temelju navedenoga, pretpostavljaju se nepovezani zidovi od poluzavršene opeke, stoga su karakteristike vertikalnih konstrukcija svrstane kod svih objekata u razred C.



*Slika 37. Nema vidljivih znakova koji bi upućivali na postojanje AB međukatnih konstrukcija (RGB kamera na dronu)*



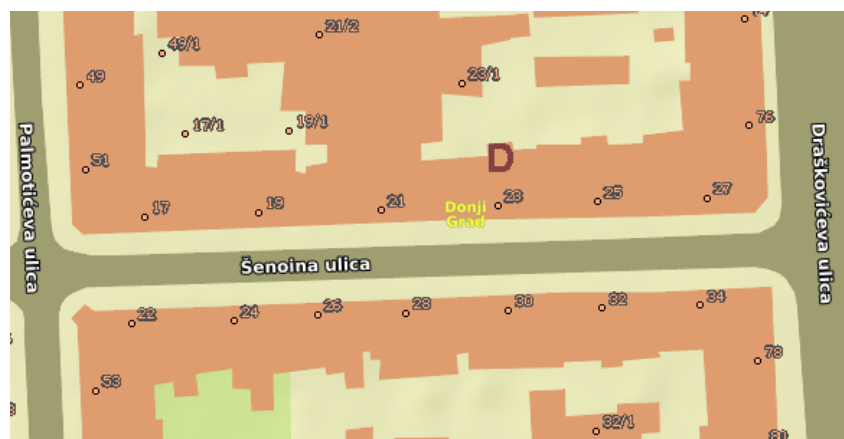
Moguće je dobiti detaljniji uvid u korištene materijale prilagodbom visine letenja i usredotočavanjem RGB kamere ka pročelju zgrade kao što je vidljivo na fotografiji ispod.



Slika 38. Mogućnost detekcije primjenjenog materijala (17)

#### 5.4.2. Lokacija građevine i temeljenje

Obzirom da tijekom pisanja ovog rada nije bilo dostupnih podataka o temeljenju predmetnih objekata, u svrhu makroseizmičke analize svi objekti se klasificiraju u razred C. Također, primijenjena je online karta geoportala za prikupljanje dodatnih informacija o tektonski aktivnim dijelovima tla na lokaciji analiziranih blokova u svrhu boljeg razumijevanja očekivanog ponašanja tla.



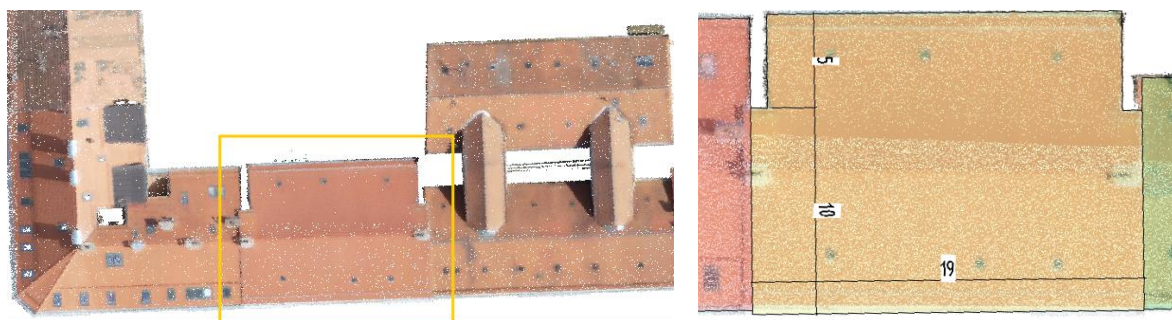
Slika 39. Zona D (dijagonalni tektonski pomaci amplituda između 1 mm i 4,1 mm) (62)

### 5.4.3. Tlocrtna distribucija nosivih elemenata

Za točnu klasifikaciju objekata prema tlocrtnoj distribuciji nosivih elemenata, potrebno je poznavati aktualne tlocrte analiziranih građevina te informacije o eventualnim rekonstrukcijama i nadogradnjama. Obzirom na manjak takvih informacija, u ovome radu pretpostavlja se za sve građevine razred C. Pretpostavka se temelji na razdoblju izgradnje i saznanju da većina zgrada ima 6-10 % nosivih zidova u oba međusobno okomita smjera. Podatak je dobiven preko radova (3,59,64,65).

### 5.4.4. Tlocrtna nepravilnost

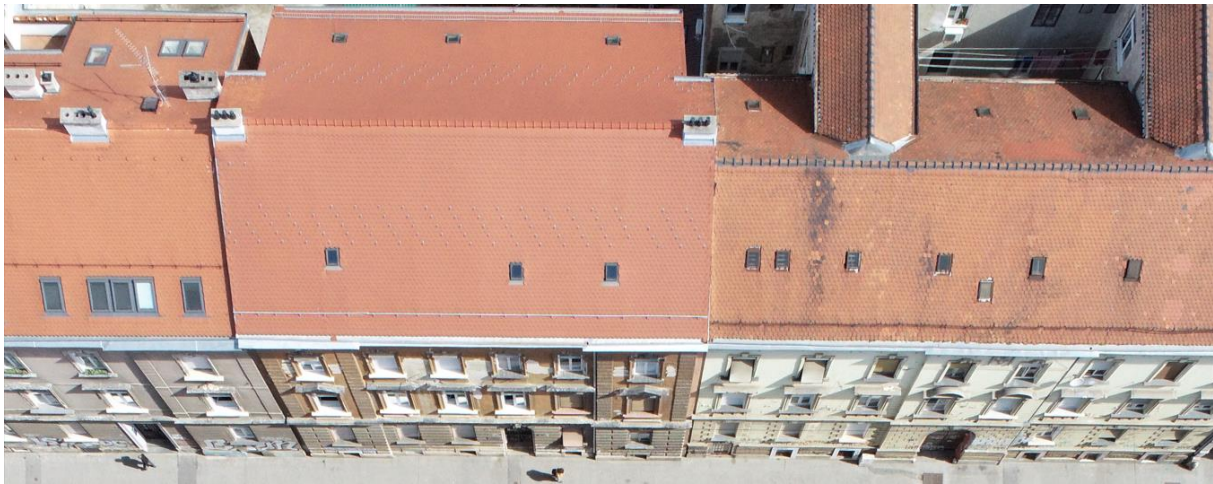
Klasifikacija objekta u razrede prema tlocrtnoj nepravilnosti ovisi o omjerima tlocrtnih dimenzija. Veći ekscentriciteti centara krutosti i mase uzrokuju torziju i u nekim slučajevima značajna oštećenja. Klasifikacija je prema (60) definirana matematički te je za potrebe određivanja dimenzija u tlocrtu korišten računalni program Autodesk Revit 2024 . U Revitu su ručno ocrtane obrisne linije svih pojedinih objekata te određeni omjeri dimenzija stranica. Dimenzije u tlocrtu dobivene su koristeći naredbu „dimension line“.



Slika 40. Označene mjere tlocrtnih dimenzija korištenjem naredbe dimension u Revitu

### 5.4.5. Pravilnost po visini

Klasificiranje objekata prema njihovoj visinskoj pravilnosti napravljeno je interpretacijom snimki s RGB kamere. Obzirom na postavke leta i usmjerenje RGB kamere prema tlu, tj. krovu, pojedine građevine dodatno su analizirane koristeći alat Google Earth. U svrhu kvalitetnijih podataka o pravilnosti po visini, predlaže se dodatno snimanje građevina na smanjenoj visini letenja i s odgovarajućim kutom kamere usmjerenom na pročelja zgrade.



*Slika 41. Pravilnost po visini (RGB kamera na dronu)*

#### 5.4.6. Tip međukatne konstrukcije

Na temelju pretpostavke o vremenu izgradnje (19. stoljeće), podataka s RGB kamere i poznatim dosadašnjim istraživanjima, uglavnom se radi o drvenim grednicima položenim u poprečnom smjeru (okomito na ulicu). Uobičajeno je da su takvi grednici slobodno položeni na nosive zidove i njima povezani obzidavanjem stoga ih tretiramo kao nepovezane jer ne omogućavaju "efekt kutije" tj. prijenos horizontalnih opterećenja na zidove prema omjerima krutosti (3). Iz navedenog razloga sve analizirane zgrade svrstavaju u najnepovoljniji razred D.

#### 5.4.7. Krovište

Krovnu konstrukciju nije moguće adekvatno ocijeniti isključivo na temelju RGB kamere i LIDAR-a, već je neophodno provesti detaljan pregled konstrukcije i prema potrebi provesti dodatne istražne radove. Uglavnom se radi o krovnim konstrukcijama u sustavu visulje oslonjenih na obodne zidove tj. na krajeve stropnih greda. Zajednički im je glavni nedostatak koji predstavljaju spojevi čija je nosivost neusporedivo manja sa suvremenim vezama (3). Uzimajući u obzir dosadašnja iskustva i RGB fotografije, sve krovne konstrukcije grubo su procijenjene te su svrstane u razrede C i D.



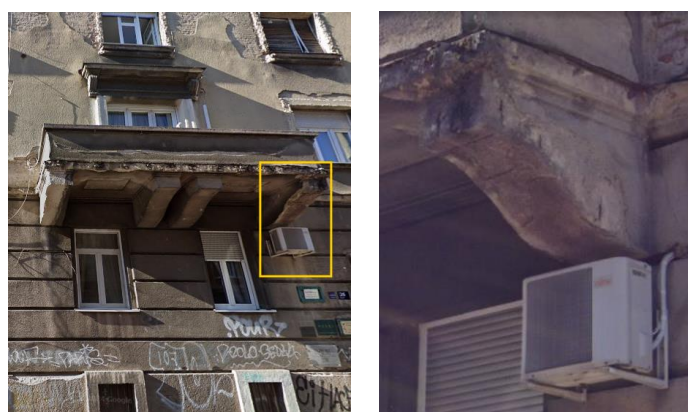
*Slika 42. Vidljivi elementi krovne konstrukcije (RGB kamera na dronu)*

### 5.4.8. Detalji

Klasifikacija detalja se u makroseizmičkoj analizi odnosi na veličinu dimnjaka, povezanost vanjskih instalacija sa zidovima, povezanost balkona sa građevinom i slično. Takve informacije su vrlo lako vidljive iz zračnih snimki dobivenih pomoću RGB kamere te su za potrebe ovog rada takvi podaci korišteni za analizu detalja na gornjoj plohi građevina. Za analizu detalja vezanih uz pročelja (primjerice balkone, instalacije i slično) u ovom je radu korišten alat Google Earth. Treba napomenuti kako je uz odgovarajuću prilagodbu postavki letenja moguće prikupiti i snimke pročelja, odnosno klasificirati objekte prema detaljima na temelju istih, što uvelike donosi prednost primjene dronova, pogotovo kada je riječ o područjima gdje ne postoje "Street view" podaci.



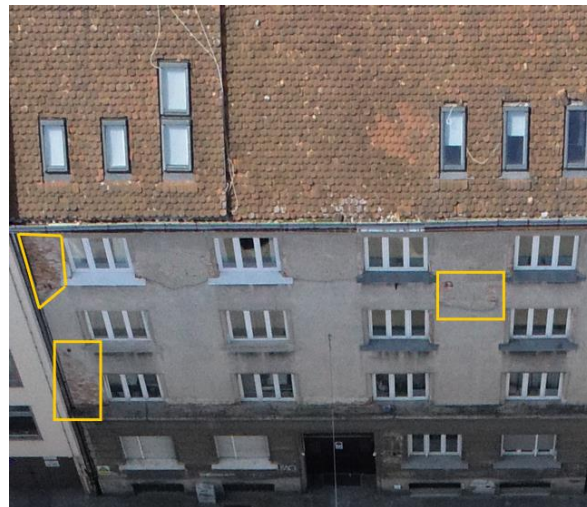
*Slika 43. (a) Opći pogled na promatrani objekt ; (b) Instalacije neadekvatno pričvršćene na krovnu konstrukciju na visini iznad prolaza i balkona; (c) Visoki dimnjak (konzola) s neprikladnom količinom instalacija*



*Slika 44. Detalj povezivanja balkona i opreme s građevinom (17)*

### 5.4.9. Stanje građevine

Pregled stanja građevine i njezina održavanja u radu je napravljen koristeći snimke RGB kamere, uz dodatnu komponentu primjenom Google Earth-a. Iako je aktualnost snimki snimljenih dronom neusporediva prednost naspram Google-ove baze podataka koju pruža kroz alate poput Google Earth-a, u razmatranom slučaju takvi Google-ovi podaci daju dodatnu perspektivu obzirom na početne postavke letenja (visoko iznad građevine s okomitim pogledom na krovišta). Istu je moguće ostvariti i pažljivijom prilagodbom postavki prilikom planiranja leta.



*Slika 45. Podaci s RGB kamere na dronu*



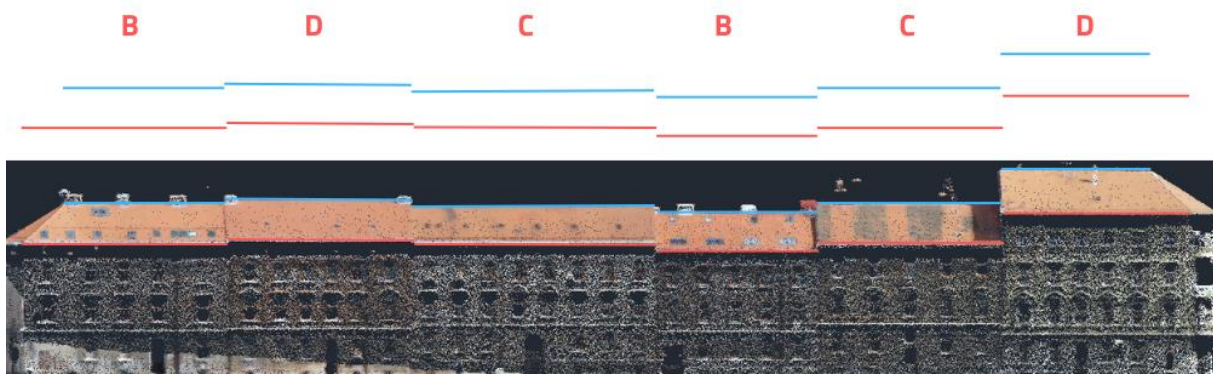
*Slika 46. Prikaz oštećenja (Google Earth) (17)*

#### 5.4.10. Prisutnost susjednih jedinica različite visine

Za određivanje razreda parametra koji opisuje utjecaj visine promatrane građevine i njoj susjednih jedinica na ponašanje u potresu, u ovom je radu korišten oblak točaka dobiven pomoću LIDAR senzora na dronu. Takva datoteka izvorno ima nastavak .LAS koji nije moguće izravno učitati u Autodesk Revit 2024. Kako je detaljno objašnjeno ranije, bilo je potrebno prethodno .LAS datoteku učitati u Autodesk ReCap gdje je nakon reduciranja veličine datoteke oblak točaka izvezen u datoteku .RCP koja je nadalje učitana u Autodesk Revit 2024. U Revitu je na temelju učitanih oblaka točaka iscrtavanjem obrisnih linija izrađen prikaz iz kojeg se jasno mogu izmjeriti sve visine te odrediti parametar za makroseizmičku analizu. Obzirom da je za klasifikaciju navedenog parametra dovoljno poznavati odnos visina građevina, ne i njihove egzaktnu vrijednost, navedenu je procjenu bilo moguće odrediti i na temelju fotogrametrije dobivene RGB kamerom.



Slika 47. (a) Prikaz s RGB kamere; (b) oblak točaka (LIDAR)



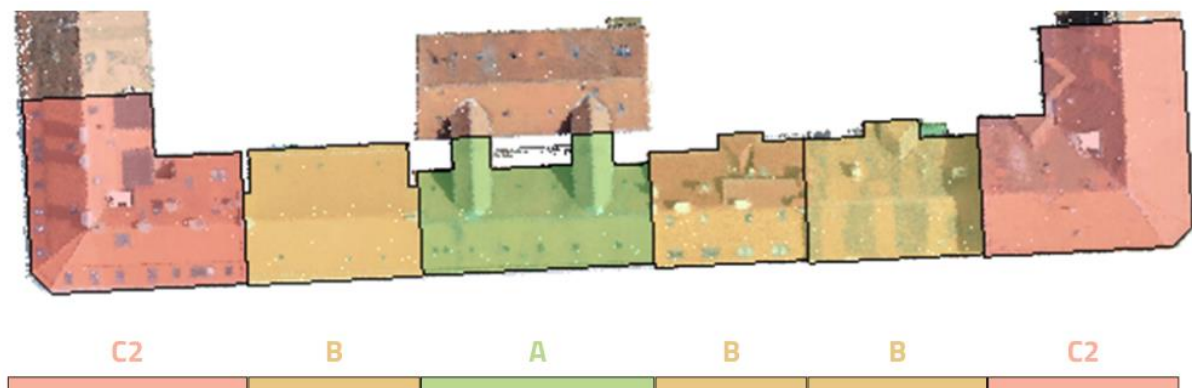
Slika 48. Klasifikacija građevina prema susjednim jedinicama različite visine

#### 5.4.11. Položaj promatrane jedinice u bloku

Položaj građevine u nizu može djelovati nepovoljno, ali može imati i povoljan učinak na ponašanje zgrade u potresu. To je razlog postojanja negativnih bodova prilikom ocjene oštetljivosti. Osim predznaka, vidljivo je i kako taj parametar ima najveći težinski faktor, što znači da će njegova klasifikacija i najviše utjecati na konačnu ocjenu. Iz navedenog je razloga posebna pozornost usmjerena na određivanje pozicije promatrane građevine. Iako je za dovoljno točnu pretpostavku moguće koristiti bilo koji od podataka: RGB ili LIDAR, u ovom radu je zbog važnosti procjene razreda navedenog parametra položaj zgrade određen na temelju i jednog i drugog. Korišteni programski paketi su Autodesk ReCap i Autodesk Revit 2024 za obradu podataka dobivenih LIDAR sensorom. Također je korišten i programski paket PIX4D Mapper za obradu fotogrametrije iz RGB kamere i stvaranje ortomozaika (slike ispod).



Slika 49. Klasifikacija prema položaju u bloku (RGB ortomozaik)



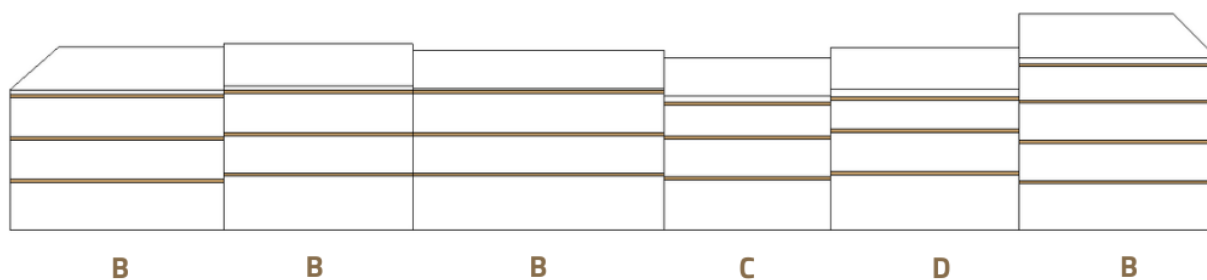
Slika 50. Klasifikacija prema položaju u bloku (Revit)

#### 5.4.12. Broj razmještenih katova

Značajna razlika u gradnji danas i nekada je visina etaža. U današnje vrijeme građevine imaju znatno manje visine etaža nego nekada što ima za posljedicu stepenasto razmješten položaj katova po visini. Veći broj takvih katova znači i nepovoljnije djelovanje na konstrukciju, a važno ih je uzeti u obzir jer u uvjetima potresa postoji mogućnost udaranja armiranobetonske međukatne konstrukcije zgrade po visini ziđa susjedne zgrade. Visinski položaj međukatne konstrukcije moguće je jednostavno odrediti prethodnim snimanjem zidova pročelja zgrade primjenom drona opremljenog RGB kamerom, s prilagođenom visinom letenja u ravnini sa fasadom i odgovarajućim kutom kamere. Za potrebe makroseizmičke analize u ovom radu, položaji međukatnih konstrukcija određeni su na temelju oblaka točaka dobivenog LIDAR sustavom, vodeći se pretpostavkom da se međukatne konstrukcije nalaze na razini balkona. Za određivanje katova, moguće je izravno primijeniti program Autodesk ReCap, ali su u radu radi vizualizacije visinski položaji katova određeni korištenjem programa Autodesk Revit 2024, obzirom da isti nudi mogućnosti označavanja i uređivanja prikaza. Položaj katova na dijelu zgrada koje su predmet ovoga rada vidljiv je na slici ispod .



*Slika 51. Ručno iscrtavanje kontura građevina i procjena položaja međukatnih konstrukcija u Revitu (LIDAR podaci)*



*Slika 52. Klasifikacija prema vroju razmještenih katova*

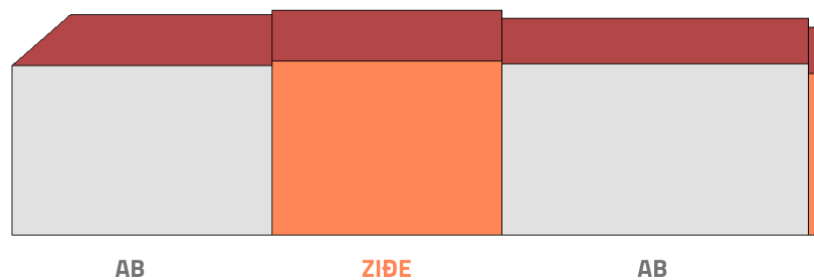


### 5.4.13. Konstruktivna ili tipološka heterogenost

Interpretacijom podataka RGB kamere, moguće je razlikovati zgradu izrađenu od armiranog betona od zgrade zidane blok opekom. Niže se nalazi primjer na fotografiji snimljenoj dronom opremljenim RGB kamerom i prikazuje zidanu zgradu na adresi Ulica Augusta Šenoje 32. Na temelju veličine otvora susjednih jedinica pod kućnim brojevima 30 i 34 zaključeno je da se radi o armiranobetonskim susjednim jedinicama. Iako bi zidana zgrada u ovom slučaju, prema (60) bila klasificirana u razred C ili D (različiti materijali i/ili konstrukcijska heterogenost), odabran je razred A. Razlog tome su rezultati analize velikog broja zgrada nakon potresa u Zagrebu 2020. godine koji pokazuju pozitivan učinak susjedne jedinice od armiranog betona na zidanu zgradu (3).



Slika 53. Veliki otvori upućuju na primjenu armiranog betona (RGB kamera)

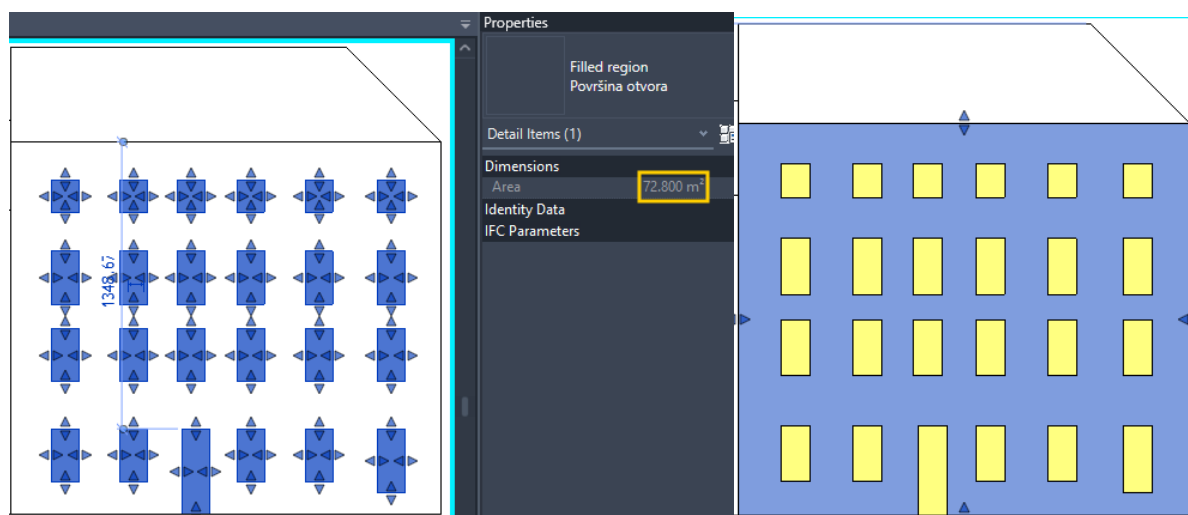


Slika 54. Klasifikacija prema materijalu

#### 5.4.14. Postotak razlike ploština otvora između susjednih fasada

Postotak razlike ploština otvora je parametar čiji je razred određen računski. Razred opisuje odnos „okupiranosti“ susjednih fasada otvorima, tj. udio ukupne površine koji čine otvori. LIDAR-podaci omogućavaju određivanje udaljenosti između odabranih točaka (a time i površina) vrlo visoke preciznosti, stoga je za određivanje dimenzija i površina otvora na fasadi primijenjen programski paket Autodesk ReCap za prilagodbu formata datoteke čitljive u Revitu. Autodesk Revit 2024 korišten je za označavanje i izračun površine otvora.

U Revitu 2024 je oblak točaka poslužio kao podloga preko koje su koristeći naredbu „Region“ iscrtane konture svih otvora i pročelja za svaku pojedinu zgradu analiziranu u ovome radu. Naredba „Region“ omogućava stvaranje zatvorenih 2D oblika koji definiraju područja unutar crteža, a zatim omogućava izračunavanje površine tog označenog zatvorenog prostora. Područja označena preko otvora daju njihovu ukupnu površinu  $P_O$  na promatranj građevini. Na jednak način su na svakoj zgradi zasebno označene i konture samih pročelja ne uzimajući u obzir otvore kako bi se dobila ukupna površina fasade  $P_F$  za svaku pojedinu zgradu.



Slika 55. Izračun površine otvora i fasade u Revitu

Za svaku zgradu određen je udio površine otvora u ukupnoj površini fasade:

$$P\% = \left( \frac{\text{površina otvora na fasadi}}{\text{površina fasade}} \right) \cdot 100 \%$$

Za promatranu zgradu:

$$P\% = \left( \frac{P_O}{P_F} \right) \cdot 100 \%$$

Za susjednu zgradu lijevo:

$$P_L\% = \left( \frac{P_{O,L}}{P_{F,L}} \right) \cdot 100 \%$$

Za susjednu zgradu desno:

$$P_D\% = \left( \frac{P_{O,D}}{P_{F,D}} \right) \cdot 100 \%$$

- **SLUČAJ A** – promatrana zgrada ima samo jednu susjednu jedinicu

Postotak razlike:

$$P_{RAZ}\% = \left| \frac{P_O}{P_F} - \frac{P_{O,L/D}}{P_{F,L/D}} \right| \cdot 100 \%$$

- **SLUČAJ B** – promatrana zgrada ima susjednu jedinicu s obje strane, računa se prosječna razlika

Razlika u postotku otvora sa susjednom jedinicom lijevo:

$$P_{RAZ,L}\% = \left| \frac{P_O}{P_F} - \frac{P_{O,L}}{P_{F,L}} \right| \cdot 100 \%$$

Razlika u postotku otvora sa susjednom jedinicom desno:

$$P_{RAZ,D}^{\%} = \left| \frac{P_O}{P_F} - \frac{P_{O,D}}{P_{F,D}} \right| \cdot 100 \%$$

Postotak razlike:

$$P_{RAZ}^{\%} = \frac{|P_{RAZ,L}^{\%} + P_{RAZ,D}^{\%}|}{2}$$

Gdje je:

$P^{\%}$  - udio površine otvora u ukupnoj površini pročelja promatrane zgrade,

$P_L^{\%}, P_D^{\%}$  - udio površine otvora u ukupnoj površini pročelja susjednih zgrada lijevo i/ili desno.

Kako bi se dodatno cijeli proces učinio učinkovitijim, u radu je navedena formulacija obuhvaćena računskom tablicom u programu MS Excel u kojoj su ulazni podaci površine otvora i površine pročelja pojedinih zgrada očitani u Revitu. Tablični proračun temeljen je na računskom postupku opisanom u izrazima iznad. Dodatno, MS Excel tablica automatski predlaže konačnu ocjenu na temelju izračunatog postotka i uvjeta klasifikacije prema (60,61).

Tablica 6. Tablice za određivanje razreda parametra postotka ploštine

<input checked="" type="checkbox"/> ZGRADA IZMEĐU SUSJEDNE DVIJE ZGRADE		
	Površina u m2	
	OTVOR	PROČELJE
Zgrada lijevo	46.00	311
Promatrana zgrada	50.00	282
Zgrada desno	71.00	369
POSTOTAK	2%	RAZRED A

## 5.5. Makroseizmička analiza - južno pročelje 1. bloka



*Slika 56. Analizirani niz zgrada (ortofoto)*



*Slika 57. Prikaz južnog pročelja prvog bloka (3D model)*

### 5.5.1. Ulica Augusta Šenoa 17

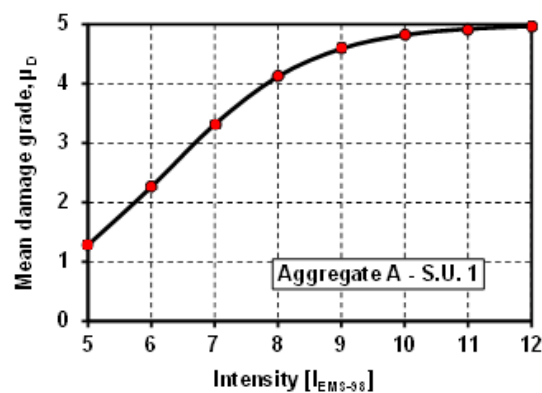


Slika 58. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 17

Predmetna zgrada obuhvaća podrum, prizemlje te dvije etaže, a karakterizira je relativno nepravilna tlocrtna dispozicija. Konstrukcija objekta izvedena je zidanjem, pri čemu su međukatne konstrukcije drvene, kao i krovna konstrukcija. Namjena zgrade je stambeno-poslovna (62).

Tablica 7. Makroseizmički parametri

Parametri	Razred				Težinski faktor
	A	B	C	D	
1. Organizacija vertikalnih konstrukcija	0	5	20	45	1
2. Karakteristike vertikalnih konstrukcija	0	5	25	45	0.25
3. Lokacija građevine i temeljenje	0	5	25	45	0.75
4. Tlocrtna distribucija elemenata nosivosti	0	5	25	45	1.5
5. Tlocrtna nepravilnost	0	5	25	45	0.5
6. Pravilnost po visini	0	5	25	45	0.8
7. Tip međukatne konstrukcije	0	5	25	45	0.8
8. Tip krovišta	0	5	25	45	1
9. Detalji	0	5	25	45	0.25
10. Stanje građevine	0	5	25	45	1
Σ(10 parametara)					
11. Prisutnost susjednih jedinica različite visine	-20	0	15	45	1
12. Pozicija jedinice u bloku	-45	-25	15	0	1.5
13. Broj razmještenih katova	0	15	25	45	0.5
14. Konstruktivna ili tipološka heterogenost između susjednih jedinica	-15	-10	0	45	1.2
15. Postotak razlike ploština otvora između susjednih fasada	-20	0	25	45	1
Σ(5 parametara)					
Σ(15 parametara)					



Slika 59. Krivulja oštećljivosti

### 5.5.2. Ulica Augusta Šenoae 19

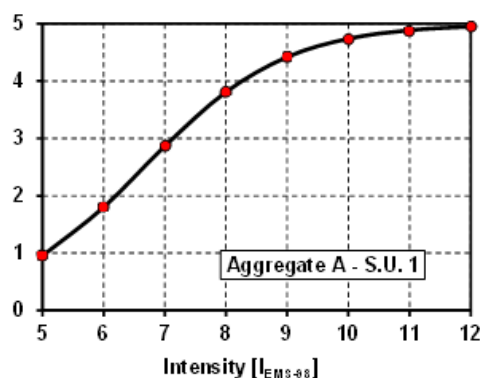


Slika 60. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 19

Predmetna zgrada obuhvaća podrum, prizemlje te dvije etaže, a karakterizira je relativno pravilna tlocrtna dispozicija. Konstrukcija objekta izvedena je zidanjem, pri čemu su međukatne konstrukcije drvene, kao i krovna konstrukcija. Namjena zgrade je stambena (62).

Tablica 8. Makroseizmički parametri

Parametri	Razred				Težinski faktor
	A	B	C	D	
1. Organizacija vertikalnih konstrukcija	0	5	20	45	1
2. Karakteristike vertikalnih konstrukcija	0	5	25	45	0.25
3. Lokacija građevine i temeljenje	0	5	25	45	0.75
4. Tlocrtna distribucija elemenata nosivosti	0	5	25	45	1.5
5. Tlocrtna nepravilnost	0	5	25	45	0.5
6. Pravilnost po visini	0	5	25	45	0.8
7. Tip međukatne konstrukcije	0	5	25	45	0.8
8. Tip krovišta	0	5	25	45	1
9. Detalji	0	5	25	45	0.25
10. Stanje građevine	0	5	25	45	1
Σ(10 parametara)					
11. Prisutnost susjednih jedinica različite visine	-20	0	15	45	1
12. Pozicija jedinice u bloku	-45	-25	-15	0	1.5
13. Broj razmještenih katova	0	15	25	45	0.5
14. Konstruktivna ili tipološka heterogenost između susjednih jedinica	-15	-10	0	45	1.2
15. Postotak razlike ploština otvora između susjednih fasada	-20	0	25	45	1
Σ(5 parametara)					
Σ(15 parametara)					



Slika 61. Krivulja oštetljivosti

### 5.5.3. Ulica Augusta Šenoa 21

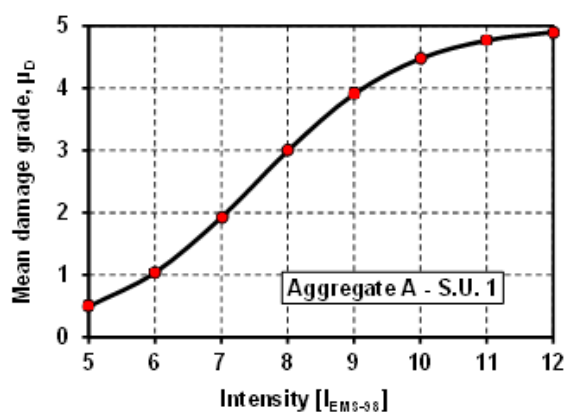


Slika 62. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 21

Predmetna zgrada obuhvaća podrum, prizemlje te dvije etaže, a karakterizira je relativno pravilna tlocrtna dispozicija. Konstrukcija objekta izvedena je zidanjem, pri čemu su međukatne konstrukcije drvene, kao i krovna konstrukcija. Namjena zgrade je stambena (62).

Tablica 9. Makroseizmički parametri

Parametri	Razred				Težinski faktor
	A	B	C	D	
1. Organizacija vertikalnih konstrukcija	0	5	20	45	1
2. Karakteristike vertikalnih konstrukcija	0	5	25	45	0.25
3. Lokacija građevine i temeljenje	0	5	25	45	0.75
4. Tlocrtna distribucija elemenata nosivosti	0	5	25	45	1.5
5. Tlocrtna nepravilnost	0	5	25	45	0.5
6. Pravilnost po visini	0	5	25	45	0.8
7. Tip međukatne konstrukcije	0	5	25	45	0.8
8. Tip krovišta	0	5	25	45	1
9. Detalji	0	5	25	45	0.25
10. Stanje građevine	0	5	25	45	1
Σ (10 parametara)					
11. Prisutnost susjednih jedinica različite visine	-20	0	15	45	1
12. Pozicija jedinice u bloku	-45	-25	-15	0	1.5
13. Broj razmještenih katova	0	15	25	45	0.5
14. Konstruktivna ili tipološka heterogenost između susjednih jedinica	-15	-10	0	45	1.2
15. Postotak razlike ploština otvora između susjednih fasada	-20	0	25	45	1
Σ (5 parametara)					
Σ (15 parametara)					



Slika 63. Krivulja oštetljivosti



### 5.5.4. Ulica Augusta Šenoae 23

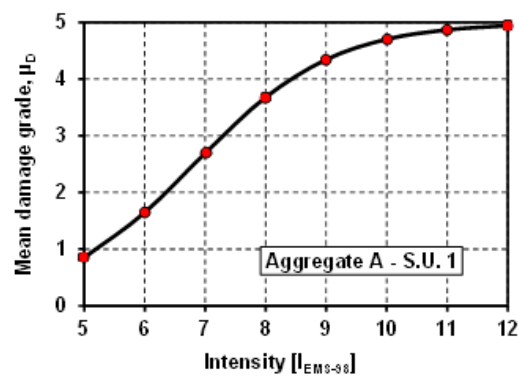


Slika 63. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 23

Predmetna zgrada obuhvaća podrum, prizemlje te dvije etaže, a karakterizira je relativno pravilna tlocrtna dispozicija. Konstrukcija objekta izvedena je zidanjem, pri čemu su međukatne konstrukcije drvene, kao i krovna konstrukcija. Namjena zgrade je stambena (62).

Tablica 10. Makroseizmički parametri

Parametri	Razred				Težinski faktor
	A	B	C	D	
1. Organizacija vertikalnih konstrukcija	0	5	20	45	1
2. Karakteristike vertikalnih konstrukcija	0	5	25	45	0.25
3. Lokacija građevine i temeljenje	0	5	25	45	0.75
4. Tlocrtna distribucija elemenata nosivosti	0	5	25	45	1.5
5. Tlocrtna nepravilnost	0	5	25	45	0.5
6. Pravilnost po visini	0	5	25	45	0.8
7. Tip međukatne konstrukcije	0	5	25	45	0.8
8. Tip krovišta	0	5	25	45	1
9. Detalji	0	5	25	45	0.25
10. Stanje građevine	0	5	25	45	1
Σ(10 parametara)					
11. Prisutnost susjednih jedinica različite visine	-20	0	15	45	1
12. Pozicija jedinice u bloku	-45	-25	-15	0	1.5
13. Broj razmještenih katova	0	15	25	45	0.5
14. Konstruktivna ili tipološka heterogenost između susjednih jedinica	-15	-10	0	45	1.2
15. Postotak razlike ploština otvora između susjednih fasada	-20	0	25	45	1
Σ(5 parametara)					
Σ(15 parametara)					



Slika 64. Krivulja oštetljivosti

### 5.5.5. Ulica Augusta Šenoae 25

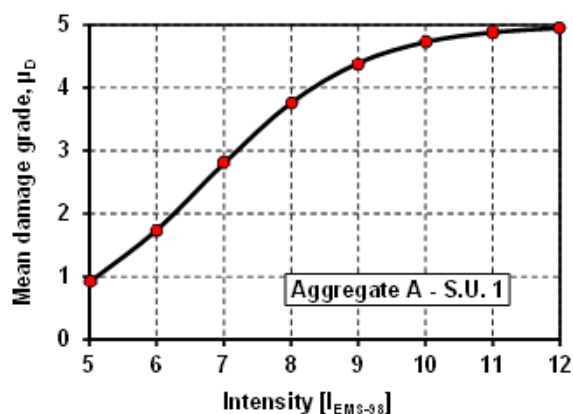


Slika 65. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 25

Predmetna zgrada obuhvaća podrum, prizemlje te dvije etaže, a karakterizira je relativno pravilna tlocrtna dispozicija. Konstrukcija objekta izvedena je zidanjem, pri čemu su međukatne konstrukcije drvene, kao i krovna konstrukcija. Namjena zgrade je stambena (62).

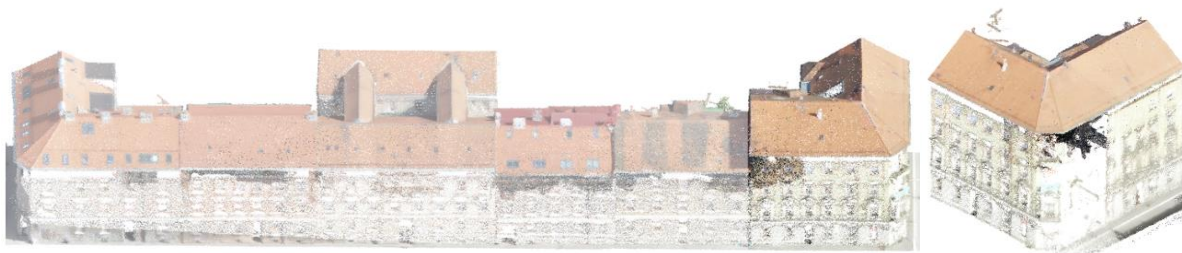
Tablica 11. Makroseizmički parametri

Parametri	Razred				Težinski faktor
	A	B	C	D	
1. Organizacija vertikalnih konstrukcija	0	5	20	45	1
2. Karakteristike vertikalnih konstrukcija	0	5	25	45	0.25
3. Lokacija građevine i temeljenje	0	5	25	45	0.75
4. Tlocrtna distribucija elemenata nosivosti	0	5	25	45	1.5
5. Tlocrtna nepravilnost	0	5	25	45	0.5
6. Pravilnost po visini	0	5	25	45	0.8
7. Tip međukatne konstrukcije	0	5	25	45	0.8
8. Tip krovišta	0	5	25	45	1
9. Detalji	0	5	25	45	0.25
10. Stanje građevine	0	5	25	45	1
Σ (10 parametara)					
11. Prisutnost susjednih jedinica različite visine	-20	0	15	45	1
12. Pozicija jedinice u bloku	-45	-25	-15	0	1.5
13. Broj razmještenih katova	0	15	25	45	0.5
14. Konstruktivna ili tipološka heterogenost između susjednih jedinica	-15	-10	0	45	1.2
15. Postotak razlike ploština otvora između susjednih fasada	-20	0	25	45	1
Σ (5 parametara)					
Σ (15 parametara)					



Slika 66. Krivulja oštetljivosti

### 5.5.6. Ulica Augusta Šenoae 27

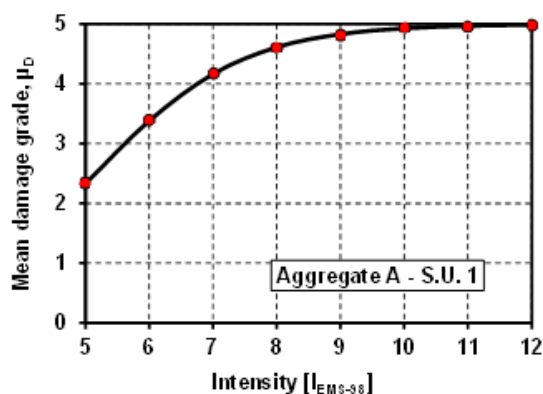


Slika 67. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 27

Predmetna zgrada obuhvaća podrum, prizemlje te tri etaže, a karakterizira je relativno nepravilna tlocrtna dispozicija. Konstrukcija objekta izvedena je zidanjem, pri čemu su međukatne konstrukcije drvene, kao i krovna konstrukcija. Namjena zgrade je stambeno-poslovna (62).

Tablica 12. Makroseizmički parametri

Parametri	Razred				Težinski faktor
	A	B	C	D	
1. Organizacija vertikalnih konstrukcija	0	5	20	45	1
2. Karakteristike vertikalnih konstrukcija	0	5	25	45	0.25
3. Lokacija građevine i temeljenje	0	5	25	45	0.75
4. Tlocrtna distribucija elemenata nosivosti	0	5	25	45	1.5
5. Tlocrtna nepravilnost	0	5	25	45	0.5
6. Pravilnost po visini	0	5	25	45	0.8
7. Tip međukatne konstrukcije	0	5	25	45	0.8
8. Tip krovišta	0	5	25	45	1
9. Detalji	0	5	25	45	0.25
10. Stanje građevine	0	5	25	45	1
Σ(10 parametara)					
11. Prisutnost susjednih jedinica različite visine	-20	0	15	45	1
12. Pozicija jedinice u bloku	-45	-25	15	0	1.5
13. Broj razmještenih katova	0	15	25	45	0.5
14. Konstruktivna ili tipološka heterogenost između susjednih jedinica	-15	-10	0	45	1.2
15. Postotak razlike ploština otvora između susjednih fasada	-20	0	25	45	1
Σ(5 parametara)					
Σ(15 parametara)					



Slika 69. Krivulja oštetljivosti

## 5.6. Makroseizmička analiza – sjeverno pročelje 2. bloka



*Slika 68. Prikaz sjevernog pročelja drugog bloka (3D model)*



*Slika 69. Tlocrtni prikaz analiziranog niza zgrada (ortofoto)*

### 5.6.1. Ulica Augusta Šenoae 22

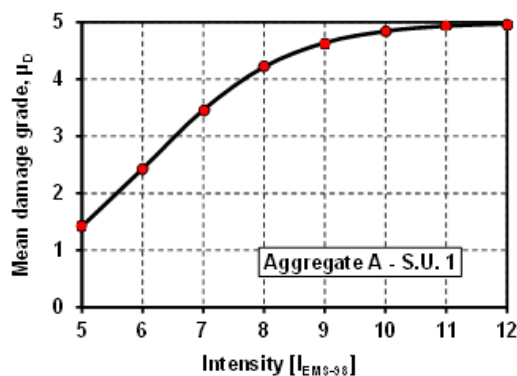


Slika 70. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 22

Predmetna zgrada obuhvaća podrum, prizemlje te dvije etaže, a karakterizira je relativno nepravilna tlocrtna dispozicija. Konstrukcija objekta izvedena je zidanjem, pri čemu su međukatne konstrukcije drvene, kao i krovna konstrukcija. Namjena zgrade je stambena (62).

Tablica 13. Makroseizmički parametri

Parametri	Razred				Težinski faktor
	A	B	C	D	
1. Organizacija vertikalnih konstrukcija	0	5	20	45	1
2. Karakteristike vertikalnih konstrukcija	0	5	25	45	0.25
3. Lokacija građevine i temeljenje	0	5	25	45	0.75
4. Tlocrtna distribucija elemenata nosivosti	0	5	25	45	1.5
5. Tlocrtna nepravilnost	0	5	25	45	0.5
6. Pravilnost po visini	0	5	25	45	0.8
7. Tip međukatne konstrukcije	0	5	25	45	0.8
8. Tip krovišta	0	5	25	45	1
9. Detalji	0	5	25	45	0.25
10. Stanje građevine	0	5	25	45	1
Σ(10 parametara)					
11. Prisutnost susjednih jedinica različite visine	-20	0	15	45	1
12. Pozicija jedinice u bloku	-45	-25	15	0	1.5
13. Broj razmještenih katova	0	15	25	45	0.5
14. Konstruktivna ili tipološka heterogenost između susjednih jedinica	-15	-10	0	45	1.2
15. Postotak razlike ploština otvora između susjednih fasada	-20	0	25	45	1
Σ(5 parametara)					
Σ(15 parametara)					



Slika 71. Krivulja oštetljivosti

### 5.6.2. Ulica Augusta Šenoa 24

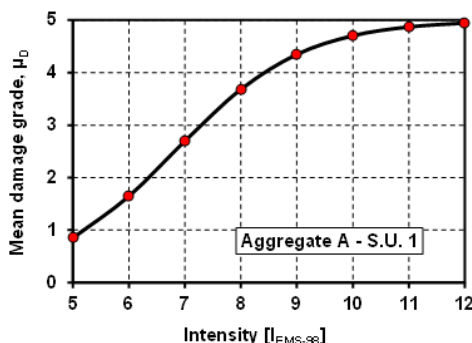


Slika 72. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 24

Predmetna zgrada obuhvaća podrum, prizemlje te tri etaže, a karakterizira je relativno nepravilna tlocrtna dispozicija. Konstrukcija objekta izvedena je zidanjem, pri čemu su međukatne konstrukcije drvene, kao i krovna konstrukcija. Namjena zgrade je stambeno-poslovna (62).

Tablica 14. Makroseizmički parametri

Parametri	Razred				Težinski faktor
	A	B	C	D	
1. Organizacija vertikalnih konstrukcija	0	5	20	45	1
2. Karakteristike vertikalnih konstrukcija	0	5	25	45	0.25
3. Lokacija građevine i temeljenje	0	5	25	45	0.75
4. Tlocrtna distribucija elemenata nosivosti	0	5	25	45	1.5
5. Tlocrtna nepravilnost	0	5	25	45	0.5
6. Pravilnost po visini	0	5	25	45	0.8
7. Tip međukatne konstrukcije	0	5	25	45	0.8
8. Tip krovišta	0	5	25	45	1
9. Detalji	0	5	25	45	0.25
10. Stanje građevine	0	5	25	45	1
Σ (10 parametara)					
11. Prisutnost susjednih jedinica različite visine	-20	0	15	45	1
12. Pozicija jedinice u bloku	-45	-25	-15	0	1.5
13. Broj razmještenih katova	0	15	25	45	0.5
14. Konstruktivna ili tipološka heterogenost između susjednih jedinica	-15	-10	0	45	1.2
15. Postotak razlike ploština otvora između susjednih fasada	-20	0	25	45	1
Σ (5 parametara)					
Σ (15 parametara)					



Slika 73. Krivulja oštetljivosti

### 5.6.3. Ulica Augusta Šenoae 26

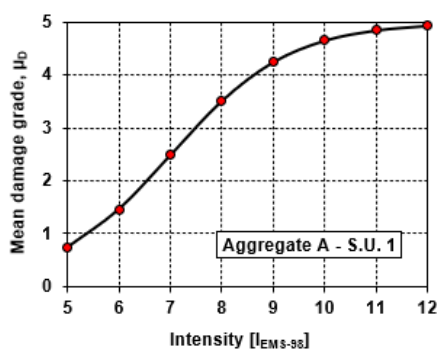


Slika 74. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 26

Predmetna zgrada obuhvaća podrum, prizemlje te tri etaže, a karakterizira je relativno pravilna tlocrtna dispozicija. Konstrukcija objekta izvedena je zidanjem, pri čemu su međukatne konstrukcije drvene, kao i krovna konstrukcija. Namjena zgrade je stambeno-poslovna (62).

Tablica 15. Makroseizmički parametri

Parametri	Razred				Težinski faktor
	A	B	C	D	
1. Organizacija vertikalnih konstrukcija	0	5	20	45	1
2. Karakteristike vertikalnih konstrukcija	0	5	25	45	0.25
3. Lokacija građevine i temeljenje	0	5	25	45	0.75
4. Tlocrtna distribucija elemenata nosivosti	0	5	25	45	1.5
5. Tlocrtna nepravilnost	0	5	25	45	0.5
6. Pravilnost po visini	0	5	25	45	0.8
7. Tip međukatne konstrukcije	0	5	25	45	0.8
8. Tip krovišta	0	5	25	45	1
9. Detalji	0	5	25	45	0.25
10. Stanje građevine	0	5	25	45	1
Σ(10 parametara)					
11. Prisutnost susjednih jedinica različite visine	-20	0	15	45	1
12. Pozicija jedinice u bloku	-45	-25	-15	0	1.5
13. Broj razmještenih katova	0	15	25	45	0.5
14. Konstruktivna ili tipološka heterogenost između susjednih jedinica	-15	-10	0	45	1.2
15. Postotak razlike ploština otvora između susjednih fasada	-20	0	25	45	1
Σ(5 parametara)					
Σ(15 parametara)					



Slika 75. Krivulja oštetljivosti

### 5.6.4. Uica Augusta Šenoae 28

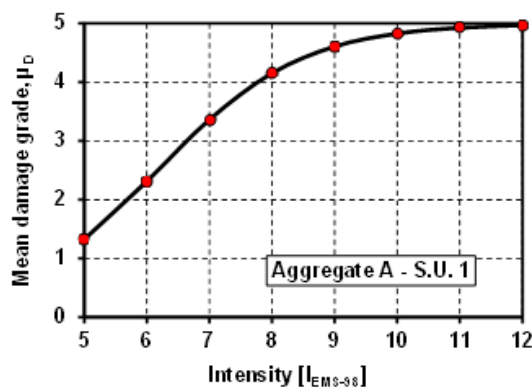


Slika 76. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 28

Predmetna zgrada obuhvaća podrum, prizemlje te tri etaže. Konstrukcija objekta izvedena je zidanjem, pri čemu su međukatne konstrukcije drvene, kao i krovna konstrukcija. Namjena zgrade je stambena (62).

Tablica 16. Makroseizmički parametri

Parametri	Razred				Težinski faktor
	A	B	C	D	
1. Organizacija vertikalnih konstrukcija	0	5	20	45	1
2. Karakteristike vertikalnih konstrukcija	0	5	25	45	0.25
3. Lokacija građevine i temeljenje	0	5	25	45	0.75
4. Tlocrtna distribucija elemenata nosivosti	0	5	25	45	1.5
5. Tlocrtna nepravilnost	0	5	25	45	0.5
6. Pravilnost po visini	0	5	25	45	0.8
7. Tip međukatne konstrukcije	0	5	25	45	0.8
8. Tip krovišta	0	5	25	45	1
9. Detalji	0	5	25	45	0.25
10. Stanje građevine	0	5	25	45	1
Σ(10 parametara)					
11. Prisutnost susjednih jedinica različite visine	-20	0	15	45	1
12. Pozicija jedinice u bloku	-45	-25	-15	0	1.5
13. Broj razmještenih katova	0	15	25	45	0.5
14. Konstruktivna ili tipološka heterogenost između susjednih jedinica	-15	-10	0	45	1.2
15. Postotak razlike ploština otvora između susjednih fasada	-20	0	25	45	1
Σ(5 parametara)					
Σ(15 parametara)					



Slika 77. Krivulja oštetljivosti



### 5.6.5. Ulica Augusta Šenoae 32

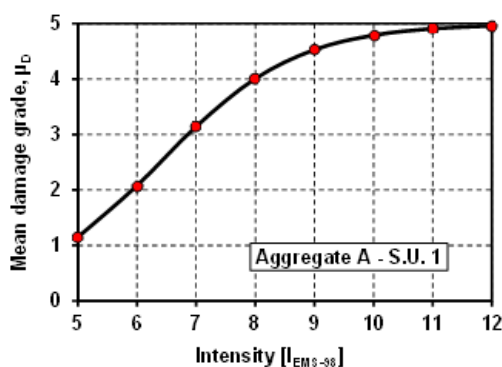


Slika 78. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 32

Predmetna zgrada obuhvaća podrum, prizemlje te tri etaže, a karakterizira je pravilna tlocrtna dispozicija. Konstrukcija objekta izvedena je zidanjem, pri čemu su međukatne konstrukcije drvene, kao i krovna konstrukcija. Namjena zgrade je stambeno-poslovna (62).

Tablica 17. Makroseizmički parametri

Parametri	Razred				Težinski faktor
	A	B	C	D	
1. Organizacija vertikalnih konstrukcija	0	5	20	45	1
2. Karakteristike vertikalnih konstrukcija	0	5	25	45	0.25
3. Lokacija građevine i temeljenje	0	5	25	45	0.75
4. Tlocrtna distribucija elemenata nosivosti	0	5	25	45	1.5
5. Tlocrtna nepravilnost	0	5	25	45	0.5
6. Pravilnost po visini	0	5	25	45	0.8
7. Tip međukatne konstrukcije	0	5	25	45	0.8
8. Tip krovišta	0	5	25	45	1
9. Detalji	0	5	25	45	0.25
10. Stanje građevine	0	5	25	45	1
Σ(10 parametara)					
11. Prisutnost susjednih jedinica različite visine	-20	0	15	45	1
12. Pozicija jedinice u bloku	-45	-25	-15	0	1.5
13. Broj razmještenih katova	0	15	25	45	0.5
14. Konstruktivna ili tipološka heterogenost između susjednih jedinica	-15	-10	0	45	1.2
15. Postotak razlike ploština otvora između susjednih fasada	-20	0	25	45	1
Σ(5 parametara)					
Σ(15 parametara)					

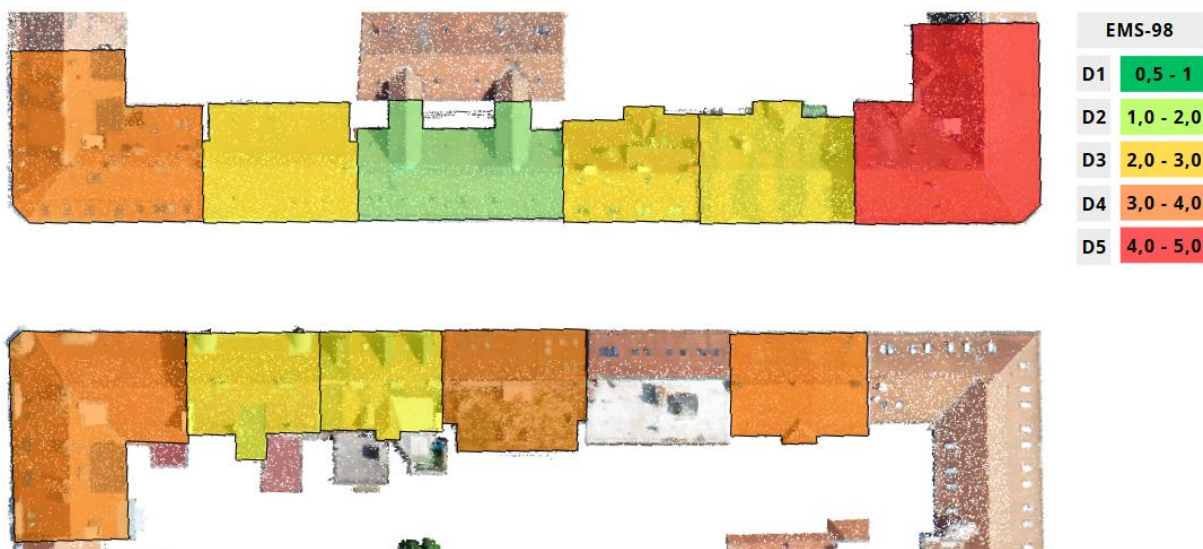


Slika 79. Krivulja oštetljivosti

## 5.7. Rekapitulacija rezultata

Tablica 18. Rekapitulacija razreda parametara za makroseizmičku analizu

ZGRADA	PARAMETRI														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Šenojna 17	Red	Orange	Orange	Red	Orange	Green	Red	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Yellow	Yellow	Yellow
Šenojna 19	Red	Orange	Orange	Red	Orange	Green	Red	Orange	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Green
Šenojna 21	Red	Orange	Orange	Red	Yellow	Green	Red	Orange	Yellow	Yellow	Orange	Green	Yellow	Yellow	Green
Šenojna 23	Red	Orange	Orange	Red	Yellow	Green	Red	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Yellow	Green
Šenojna 25	Red	Orange	Orange	Red	Yellow	Green	Red	Red	Yellow	Yellow	Orange	Red	Red	Yellow	Green
Šenojna 27	Red	Orange	Orange	Red	Orange	Green	Red	Red	Yellow	Green	Red	Orange	Yellow	Yellow	Orange
Šenojna 22	Red	Orange	Orange	Red	Orange	Green	Red	Orange	Yellow	Green	Yellow	Orange	Green	Yellow	Orange
Šenojna 24	Red	Orange	Orange	Red	Orange	Green	Red	Orange	Yellow	Green	Red	Yellow	Green	Yellow	Green
Šenojna 26	Red	Orange	Orange	Red	Yellow	Green	Red	Red	Yellow	Orange	Green	Yellow	Green	Green	Yellow
Šenojna 28	Red	Orange	Orange	Red	Green	Green	Red	Red	Yellow	Orange	Green	Red	Yellow	Green	Orange
Šenojna 32	Red	Orange	Orange	Red	Green	Green	Red	Orange	Yellow	Yellow	Orange	Yellow	Orange	Green	Red



Slika 80. EMS 98 razred oštećenja za intenzitet VII



*Slika 81.EMS 98 razred oštećenja za intenzitet VIII*

## 6. ZAKLJUČAK

Zaključno, ovaj rad je obradio osnovne principe primjene dronova u procjeni potresne otpornosti postojećih građevina, s posebnim naglaskom na zidane građevine izgrađene prije primjene armiranobetonskih sustava kakve poznajemo danas. Iako su glavni problemi kod tih zgrada neprikladni detalji, neodgovarajuće konceptualno oblikovanje te izostanak ključnih potresnih elemenata, dodatni izazov predstavlja i nedostatak aktualnih i pouzdanih podataka o njihovom stvarnom stanju. Uvodno se postavila hipoteza kako dronovi, zahvaljujući naprednim sensorima kao što su LIDAR, termalne i RGB kamere, mogu značajno unaprijediti principe sustavnog prikupljanja i obrade podataka o građevinama, omogućujući na taj način bržu i sigurniju procjenu, posebno u urbanim sredinama pogođenim potresom. Kroz cijeli rad naglašena je važnost primjene dronova u tim postupcima, osobito u kontekstu procjene teško dostupnih i opasnih dijelova građevina poput krovova, dimnjaka i visokih konzolnih elemenata.

Primijenjene metode uključivale su proučavanje dostupne literature, prikupljanje podataka pomoću dronova te obradu i analizu prikupljenih podataka uz pomoć specijaliziranih softverskih alata. Programska rješenja poput Autodesk ReCap-a, Autodesk Revit-a i Pix4D Mapper-a korištena su za konverziju podataka iz oblaka točaka u 3D modele, omogućujući geometrijsku analizu građevina. Pomoću LIDAR-a su prikupljeni podaci o geometriji zgrada, dok je primjena RGB kamere upotpunila vizualizaciju o njihovom stanju.

Studijom slučaja koja se bavila analizom odabranih zidanih zgrada demonstrirana je učinkovitost primjene dronova. LIDAR-om i RGB kamerom prikupljeni podaci uspješno su obrađeni te je napravljena procjena seizmičkog rizika korištenjem makroseizmičke metode, koja je odabrana zbog svoje sposobnosti da na temelju geometrijskih i konstruktivnih parametara građevina omogući procjenu otpornosti na buduće potrese. Makroseizmička analiza omogućuje brzu i pouzdanu procjenu oštećljivosti građevina, osobito u urbanim sredinama gdje su zgrade često grupirane u blokove povećavajući izloženost. Odabrana metoda uzima u obzir ključne elemente kao što su stanje građevine, raspored i pravilnost nosivih zidova i tip međukatnih i krovskih konstrukcija, što je posebno važno za starije zidane građevine, koje su problematične zbog izostanka armiranobetonskih elemenata i otpornosti na horizontalna opterećenja. Također, metoda procjenjuje utjecaj vanjskih faktora poput položaja zgrada u bloku uzimajući u obzir obilježja susjednih objekata, što je naravno važno za definiranje sveobuhvatne ocjene stanja.

Analizom odabranih zgrada, rad je pokazao kako dronovi omogućuju izradu procjena, naročito u slučaju oštećenja dimnjaka, zabatnih zidova i drugih kritičnih elemenata koji su obično teško dostupni tradicionalnim metodama.

U radu su posebno razmatrani izazove s kojima se suočava implementacija dronova u pregledima građevina, uključujući tehnička ograničenja poput trajanja baterije i vremenskih uvjeta, kao i pravne prepreke vezane uz letenje dronovima u urbanim područjima. Barijeru predstavlja i regulativa vezana za sigurnost u zračnom prostoru koja može usporiti procese prikupljanja podataka u hitnim situacijama jer zahtijeva posebne dozvole za let dronovima.

Unatoč svim izazovima, zaključak ovoga rada ukazuje na to da primjena dronova značajno unapređuje brzinu i sigurnost u načinu provođenja procjena potresnog rizika, osobito u naseljenim sredinama s velikom gustoćom građevina. Ovaj rad nudi i konkretne prijedloge za daljnji napredak i optimizaciju rješenja, poput razvoja lakših i učinkovitijih dronova te unapređenje softverskih rješenja za automatsku analizu podataka putem algoritama strojnog učenja i umjetne inteligencije. Predloženi su i koraci za prevladavanje regulatornih prepreka, poput uvođenja hitnih protokola za brže odobravanje letenja dronovima nakon potresa.

Zaključno, ovaj rad pokazuje da praktična primjena dronova u procjeni postojećeg stanja može biti ne samo tehnološki izvediva nego i izrazito korisna u kriznim situacijama. Dronovi omogućuju preciznu i brzu procjenu građevina, smanjujući tako rizik za inženjere i omogućujući brže donošenje važnih odluka. Time rad otvara prostor za daljnja istraživanja i razvoj sustava za procjenu oštećenja građevina korištenjem novih tehnologija.

## POPIS LITERATURE

1. Stepinac M, Gašparović M. A review of emerging technologies for an assessment of safety and seismic vulnerability and damage detection of existing masonry structures. Sv. 10, Applied Sciences (Switzerland). MDPI AG; 2020.
2. Wood RL, Mohammadi ME. DigitalCommons@University of Nebraska-Lincoln LiDAR Scanning with Supplementary UAV Captured Images for Structural Inspections LiDAR Scanning with Supplementary UAV Captured Images for Structural Inspections. [citirano 16. rujan 2024.]; Dostupno na: <https://digitalcommons.unl.edu/civilengfacpub><https://digitalcommons.unl.edu/civilengfacpub/163>
3. Uroš M, Todorčić M, Crnogorac M, Atalić J, Šavor Novak M, Lakušić S. Potresno inženjerstvo: Obnova zidanih zgrada. Zagreb; ožu, 2021.
4. Choi HW, Kim HJ, Kim SK, Na WS. An Overview of Drone Applications in the Construction Industry. Sv. 7, Drones. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2023.
5. Aerial Surveying & Mapping [Internet]. [citirano 16. rujan 2024.]. Dostupno na: [https://geoidtechnologies.com/aerial\\_surveying\\_mapping](https://geoidtechnologies.com/aerial_surveying_mapping)
6. Virtual Surveyor nv. <https://amerisurv.com/>. 2020 [citirano 14. rujan 2024.]. Virtual Surveyor Drone Surveying Software Simplifies Workflow for Earthworks Monitoring at Construction Sites. Dostupno na: <https://amerisurv.com/2020/06/15/virtual-surveyor-drone-surveying-software-simplifies-workflow-for-earthworks-monitoring-at-construction-sites/>
7. Alizadehsalehi S, Yitmen I, Celik T, Arditi D. The effectiveness of an integrated BIM/UAV model in managing safety on construction sites. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 01. listopad 2020.;26(4):829–44.
8. QTO Construction. <https://www.linkedin.com/pulse/construction-safety-artificial-intelligence-job-site-qto-construction-mygvc/>. 2023 [citirano 14. rujan 2024.]. Construction Safety with Artificial Intelligence: Revolutionizing Job Site Security. Dostupno na: <https://www.linkedin.com/pulse/construction-safety-artificial-intelligence-job-site-qto-construction-mygvc/>
9. OpticVyu. <https://www.opticvyu.com/products/ai-ppe-detection-image-processing>. [citirano 14. rujan 2024.]. AI PPE Detection Solution For Workers' Safety. Dostupno na: <https://www.opticvyu.com/products/ai-ppe-detection-image-processing>
10. Mandirola M, Casarotti C, Peloso S, Lanese I, Brunesi E, Senaldi I. Use of UAS for damage inspection and assessment of bridge infrastructures. International Journal of Disaster Risk Reduction. 01. travanj 2022.;72:102824.

11. Underbrige Unit - MBI 90 | WEMO-tec UK [Internet]. [citirano 16. rujan 2024.]. Dostupno na: <https://wemo-tec.co.uk/underbrige-unit-mbi-90/>
12. lidar - Hrvatska enciklopedija [Internet]. [citirano 14. rujan 2024.]. Dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/lidar>
13. Using Dual Thermal Imaging with Drones to Improve Flat Roof Inspections | Commercial UAV News [Internet]. [citirano 14. rujan 2024.]. Dostupno na: <https://www.commercialuavnews.com/construction/using-dual-thermal-imaging-with-drones-to-improve-flat-roof-inspections>
14. kkuk. Priručnik za integraciju seizmoloških podataka.
15. UPPO\_Prirucnik\_GF\_HKIG.
16. Jaki potresi u Hrvatskoj, oštećeno oko tisuću objekata. Pogledajte snimke iz zraka - Index.hr [Internet]. [citirano 14. rujan 2024.]. Dostupno na: <https://www.index.hr/vijesti/clanak/jaki-potresi-u-hrvatskoj-osteceno-oko-tisucu-objekata-pogledajte-snimke-iz-zraka/2242087.aspx>
17. Google .inc. <https://earth.google.com/web/@45.80546372,15.98213623,116.86897006a,0d,60y,46.86903121h,109.06360628t,0r/data=CgRCAggBIhoKFmg0WW4xbIFvRjIHQnN3NFBjTFVKWFEQAjoDCgEw>. [citirano 16. rujan 2024.]. Google Earth. Dostupno na: <https://earth.google.com/web/@45.80546372,15.98213623,116.86897006a,0d,60y,46.86903121h,109.06360628t,0r/data=CgRCAggBIhoKFmg0WW4xbIFvRjIHQnN3NFBjTFVKWFEQAjoDCgEw>
18. Moscoso Alcantara EA, Saito T. Convolutional Neural Network-Based Rapid Post-Earthquake Structural Damage Detection: Case Study. *Sensors* 2022, Vol 22, Page 6426 [Internet]. 25. kolovoz 2022. [citirano 15. rujan 2024.];22(17):6426. Dostupno na: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/17/6426/htm>
19. Ali R, Chuah JH, Talip MSA, Mokhtar N, Shoaib MA. Structural crack detection using deep convolutional neural networks. *Autom Constr.* 01. siječanj 2022.;133:103989.
20. Abadi M, Barham P, Chen J, Chen Z, Davis A, Dean J, i ostali. {TensorFlow}: A System for {Large-Scale} Machine Learning [Internet]. *TensorFlow: A System for Large-Scale Machine Learning*. 2016 [citirano 16. rujan 2024.]. 265–283 str. Dostupno na: <https://tensorflow.org>.
21. Qiu Q, Lau D. Real-time detection of cracks in tiled sidewalks using YOLO-based method applied to unmanned aerial vehicle (UAV) images. *Autom Constr.* 01. ožujak 2023.;147:104745.
22. Wang L;, Li J;, Kang F, Wang L, Li J, Kang F. Crack Location and Degree Detection Method Based on YOLOX Model. *Applied Sciences* 2022, Vol 12, Page 12572 [Internet]. 08.

- prosinac 2022. [citirano 16. rujan 2024.];12(24):12572. Dostupno na: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/24/12572/htm>
23. He K, Gkioxari G, Dollar P, Girshick R. Mask R-CNN. 2017. str. 2961–9.
  24. Tan C, Uddin N, Mohammed YM. Deep Learning-Based Crack Detection Using Mask R-CNN Technique [Internet]. Dostupno na: <https://www.researchgate.net/publication/337885795>
  25. Deng L, Wang Y. Post-disaster building damage assessment based on improved U-Net. *Scientific Reports* 2022 12:1 [Internet]. 23. rujan 2022. [citirano 16. rujan 2024.];12(1):1–13. Dostupno na: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-20114-w>
  26. Ji H, Kim J, Hwang S, Park E. Automated Crack Detection via Semantic Segmentation Approaches Using Advanced U-Net Architecture. *Intelligent Automation & Soft Computing* [Internet]. 15. travanj 2022. [citirano 16. rujan 2024.];34(1):593–607. Dostupno na: <https://www.techscience.com/iasc/v34n1/47350/html>
  27. Jędrzejczyk A, Firek K, Rusek J. Convolutional Neural Network and Support Vector Machine for Prediction of Damage Intensity to Multi-Storey Prefabricated RC Buildings. *Energies* 2022, Vol 15, Page 4736 [Internet]. 28. lipanj 2022. [citirano 16. rujan 2024.];15(13):4736. Dostupno na: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/13/4736/htm>
  28. Bhalaji Kharthik KS, Onyema EM, Mallik S, Siva Prasad BVV, Qin H, Selvi C, i ostali. Transfer learned deep feature based crack detection using support vector machine: a comparative study. *Scientific Reports* 2024 14:1 [Internet]. 24. lipanj 2024. [citirano 16. rujan 2024.];14(1):1–19. Dostupno na: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-63767-5>
  29. Musladin N, Diplomski R. REGULATORNI ASPEKTI OPERACIJA DRONOVA.
  30. CCAA - Upoznavanje s korisničkim uputama proizvođača bespilotnog zrakoplova, s posebnim naglaskom na: [Internet]. [citirano 15. rujan 2024.]. Dostupno na: <https://www.ccaa.hr/16>
  31. Upravljanje i korištenje sustava bespilotnih zrakoplova (tzv. dronova) - gov.hr [Internet]. [citirano 15. rujan 2024.]. Dostupno na: <https://gov.hr/hr/upravljanje-i-koristenje-sustava-bespilotnih-zrakoplova-tzv-dronova/1548>
  32. Mohsan SAH, Othman NQH, Khan MA, Amjad H, Żywiołek J. A Comprehensive Review of Micro UAV Charging Techniques. *Micromachines* 2022, Vol 13, Page 977 [Internet]. 20. lipanj 2022. [citirano 15. rujan 2024.];13(6):977. Dostupno na: <https://www.mdpi.com/2072-666X/13/6/977/htm>



33. Al-Adwan RS, Al-Hababbeh O, Al-Hababbeh OM. Unmanned Aerial Vehicles Sensor-Based Detection Systems Using Machine Learning Algorithms. 2022. [citirano 15. rujan 2024.]; Dostupno na: <https://www.researchgate.net/publication/361528792>
34. Što je dron i zbog čega je popularan? - DIR.hr [Internet]. [citirano 15. rujan 2024.]. Dostupno na: <https://dir.hr/sto-je-dron-i-zbog-cega-je-popularan/>
35. Bespilotne letelice u saobraćaju: inovacija, potencijal i izazovi [Internet]. [citirano 15. rujan 2024.]. Dostupno na: <https://www.dronografija.com/post/bespilotne-letelice-u-saobra%C4%87aju-inovacija-potencijal-i-izazovi>
36. Khan MA, Menouar H, Eldeeb A, Abu-Dayya A, Salim FD. On the Detection of Unauthorized Drones - Techniques and Future Perspectives: A Review. *IEEE Sens J.* 15. lipanj 2022.;22(12):11439–55.
37. The Effects of Environmental Conditions on Drone-based LiDAR | Measure Australia [Internet]. [citirano 15. rujan 2024.]. Dostupno na: <https://www.measureaustralia.com.au/news/the-effects-of-environmental-conditions-on-drone-based-lidar>
38. Zhang Z, Zhou Y, Zhang Y, Qian B. Strong Electromagnetic Interference and Protection in UAVs. *Electronics* 2024, Vol 13, Page 393 [Internet]. 17. siječanj 2024. [citirano 15. rujan 2024.];13(2):393. Dostupno na: <https://www.mdpi.com/2079-9292/13/2/393/htm>
39. Chandran I, Vipin K. Multi-UAV networks for disaster monitoring: challenges and opportunities from a network perspective. *Drone Systems and Applications* [Internet]. 01. siječanj 2024. [citirano 15. rujan 2024.];12:1–28. Dostupno na: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/dsa-2023-0079>
40. Pajares G. Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Photogramm Eng Remote Sensing.* 01. travanj 2015.;81(4):281–329.
41. Fotouhi A, Qiang H, Ding M, Hassan M, Giordano LG, Garcia-Rodriguez A, i ostali. Survey on UAV Cellular Communications: Practical Aspects, Standardization Advancements, Regulation, and Security Challenges. 05. rujan 2018. [citirano 15. rujan 2024.]; Dostupno na: <http://arxiv.org/abs/1809.01752>
42. Nwaogu JM, Yang Y, Chan APC, Wang X. Enhancing Drone Operator Competency within the Construction Industry: Assessing Training Needs and Roadmap for Skill Development. *Buildings* 2024, Vol 14, Page 1153 [Internet]. 19. travanj 2024. [citirano 15. rujan 2024.];14(4):1153. Dostupno na: <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/4/1153/htm>
43. Mekdad Y, Aris A, Babun L, Fergougui A El, Conti M, Lazzeretti R, i ostali. A survey on security and privacy issues of UAVs. *Computer Networks.* 01. travanj 2023.;224:109626.

44. Ivošević J, Ganić E, Petošić A, Radišić T. Comparative UAV Noise-Impact Assessments through Survey and Noise Measurements. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021, Vol 18, Page 6202 [Internet]. 08. lipanj 2021. [citirano 15. rujana 2024.];18(12):6202. Dostupno na: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/12/6202/htm>
45. Thomas PR, Sarhadi P. Geofencing Motion Planning for Unmanned Aerial Vehicles Using an Anticipatory Range Control Algorithm. *Machines* 2024, Vol 12, Page 36 [Internet]. 04. siječanj 2024. [citirano 15. rujana 2024.];12(1):36. Dostupno na: <https://www.mdpi.com/2075-1702/12/1/36/htm>
46. Yongjie Z, Yongqi Z, Kang C, - al, Yang G, Yin W, i ostali. Structural Design and Difficulties of Solar UAV. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* [Internet]. 01. kolovoz 2019. [citirano 15. rujana 2024.];608(1):012016. Dostupno na: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/608/1/012016>
47. Moon SK, Tan YE, Hwang J, Yoon YJ. Application of 3D printing technology for designing light-weight unmanned aerial vehicle wing structures. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology* [Internet]. 14. veljača 2014. [citirano 15. rujana 2024.];1(3):223–8. Dostupno na: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40684-014-0028-x>
48. Javaid S, Saeed N, Qadir Z, Fahim H, He B, Song H, i ostali. Communication and Control in Collaborative UAVs: Recent Advances and Future Trends. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 01. lipanj 2023.;24(6):5719–39.
49. Um I, Park S, Kim HT, Kim H. Configuring RTK-GPS Architecture for System Redundancy in Multi-Drone Operations. *IEEE Access*. 2020.;8:76228–42.
50. Zhu Y, Tang H. Automatic Damage Detection and Diagnosis for Hydraulic Structures Using Drones and Artificial Intelligence Techniques. *Remote Sens (Basel)*. 01. veljača 2023.;15(3).
51. Munawar HS, Ullah F, Heravi A, Thaheem MJ, Maqsoom A. Inspecting Buildings Using Drones and Computer Vision: A Machine Learning Approach to Detect Cracks and Damages. *Drones* 2022, Vol 6, Page 5 [Internet]. 24. prosinac 2021. [citirano 15. rujana 2024.];6(1):5. Dostupno na: <https://www.mdpi.com/2504-446X/6/1/5/htm>
52. Drone Rental – heliguy™ [Internet]. [citirano 15. rujana 2024.]. Dostupno na: [https://www.heliguy.com/collections/drone-hire?srsId=AfmBOoop2D7BJxtmGqNcOF\\_E-jDT7Z-YiHDiTXyqVS8tZu2LkEhe3Td8](https://www.heliguy.com/collections/drone-hire?srsId=AfmBOoop2D7BJxtmGqNcOF_E-jDT7Z-YiHDiTXyqVS8tZu2LkEhe3Td8)
53. Clarke R. Understanding the drone epidemic. *Computer Law & Security Review*. 01. lipanj 2014.;30(3):230–46.
54. Finn RL, Wright D. Unmanned aircraft systems: Surveillance, ethics and privacy in civil applications. *Computer Law & Security Review*. 01. travanj 2012.;28(2):184–94.

55. Readings: John Villasenor on „Unmanned Aircraft Systems and Privacy“ | Lawfare [Internet]. [citirano 15. rujan 2024.]. Dostupno na: <https://www.lawfaremedia.org/article/readings-john-villasenor-unmanned-aircraft-systems-and-privacy>
56. Lee H, Kim MU, Kim Y, Lyu H, Yang HJ. Development of a Privacy-Preserving UAV System with Deep Learning-Based Face Anonymization. IEEE Access. 2021.;9:132652–62.
57. Atalić J, Novak MŠ, Uroš M. Seismic risk for Croatia: Overview of research activities and present assessments with guidelines for the future. Sv. 71, Gradjevinar. Union of Croatian Civil Engineers and Technicians; 2019. str. 923–47.
58. Karte potresnih područja Republike Hrvatske [Internet]. [citirano 17. rujan 2024.]. Dostupno na: <http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/>
59. Moretić A, Stepinac M. Vulnerability assessment of building aggregates – macroseismic and analytical approach. U Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb; 2023.
60. Stepinac M, Kišićek T. Postojeće zidane konstrukcije: Blokovska gradnja. Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb; 2022.
61. Formisano A, Florio G, Landolfo R, Mazzolani FM. Numerical calibration of an easy method for seismic behaviour assessment on large scale of masonry building aggregates. Advances in Engineering Software. 01. veljača 2015.;80(C):116–38.
62. Geoportal DGU [Internet]. [citirano 15. rujan 2024.]. Dostupno na: <https://geoportal.dgu.hr/>
63. Support for Zenmuse L1 - DJI [Internet]. [citirano 15. rujan 2024.]. Dostupno na: <https://www.dji.com/hr/support/product/zenmuse-l1>
64. Divić I. PROCJENA POTRESNE OŠTETLJIVOSTI ZGRADA U BLOKOVIMA U DONJEM GRADU ZAGREBA [Internet]. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:237:625176>
65. PROCJENA POTRESNOG RIZIKA ZGRADA U BLOKOVIMA NA OSNOVI MAKROSEIZMIČKOG PRISTUPA I ADRISEIZMIČKE METODOLOGIJE [Internet]. [citirano 17. rujan 2024.]. Dostupno na: <https://www.croris.hr/crosbi/publikacija/ocjenski-rad/837314>

## POPIS SLIKA

Slika 1. Metode obrade prikupljenih podataka .....	4
Slika 2. Mapiranje terena dronom (5) .....	6
Slika 3. Procjena usjeka (crveno) i nasipa (plavo) na gradilištu koristeći dron (6).....	8
Slika 4. Simbolički prikaz prednosti primjenom dronova za praćenje radova (7).....	10
Slika 5: Detekcija zaštitne opreme u stvarnom vremenu primjenom drona u kombinaciji s umjetnom inteligencijom/strojnim učenjem (9).....	10
Slika 6. Razlika u podacima dobivenih kamerom visoke rezolucije, LIDAR-om i termalnom kamerom (4).....	12
Slika 7. Suvremeno vozilo za pregled rasponske konstrukcije negativno utječe na odvijanje prometa preko mosta (11).....	13
Slika 8. Prikaz predložene rute letenja za pregled mostova uz pomoć drona (10) .....	14
Slika 9. Način funkcioniranja LIDAR senzora (1. teleskop, 2. detektor, 3. laser, 4. sustav za širenje laserskih zraka, 5. zrcalo, 6. objekt)(12) .....	15
Slika 10. Primjer snimke dobivene termalnom kamerom (13).....	17
Slika 11. Prikaz tipičnih oštećenja na nepridržanim dimnjacima (15) .....	19
Slika 12. Urušeni zabani zid (RGB kamera na dronu) .....	20
Slika 13. Oštećenja pokrova i krovne konstrukcije iz ptičje perspektive (16).....	20
Slika 14. Primjer oštećenja konzolnih elemenata koji prijete urušavanjem (15) .....	21
Slika 15. Prikaz ograničene perspektive inženjera koji provodi vizualni pregled građevine tradicionalnim pristupom (17) .....	22
Slika 16. Mjesta uobičajenih oštećenja (RGB kamera na dronu).....	22
Slika 17. Radni tijek detekcije oštećenja primjenom alata CNN (19) .....	24
Slika 18. Radni tijek detekcije oštećenja primjenom algoritma YOLO (21) .....	25
Slika 19. Primjer treniranja modela za prepoznavanje pukotina primjenom Mask R-CNN (24) .....	26
Slika 20: Detekcija pukotina primjenom U-Net alata (26).....	26
Slika 21. Klasifikacija oštećenja primjenom SVM alata (28) .....	27
Slika 22: Interaktivna karta seizmičkog hazarda (58) .....	34
Slika 23. Klasifikacija tlocrtne nepravilnosti .....	40
Slika 24. Klasifikacija visinske nepravilnosti zgrade .....	41
Slika 25. Utjecaj visine susjednih jedinica - razred A.....	44
Slika 26. Utjecaj visine susjednih jedinica - razred B .....	44
Slika 27. Utjecaj visine susjednih jedinica - razred C .....	44
Slika 28. Utjecaj visine susjednih jedinica - razred D.....	44
Slika 29. Položaj jedinice u bloku (a) razred A; (b) razred B, (c) razred C; (d) razred D .....	45
Slika 30. Razmješteni katovi (a) razred A; (b) razred B, (c) razred C; (d) razred D.....	45
Slika 31. Heterogenost (a) razred A; (b) razred B, (c) razred C; (d) razred D .....	45

Slika 32. Površine otvora (a) razred A; (b) razred B, (c) razred C; (d) razred D .....	46
Slika 33. 3D model snimljenih zgrada (LIDAR) .....	47
Slika 34. Dijelovi korištenog Zenmuse L1 senzora .....	48
Slika 35. Podešavanje postavki opreme i rute letenja .....	50
Slika 36. Dijagram tijeka ocjene oštetljivosti .....	51
Slika 37. Nema vidljivih znakova koji bi upućivali na postojanje AB međukatnih konstrukcija (RGB kamera na dronu) .....	53
Slika 38. Mogućnost detekcije primjenjenog materijala (17).....	54
Slika 39. Zona D (dijagonalni tektonski pomaci amplituda između 1 mm i 4,1 mm) (62).....	54
Slika 40. Označene mjere tlocrtnih dimenzija korištenjem naredbe dimension u Revitu .....	55
Slika 41. Pravilnost po visini (RGB kamera na dronu).....	56
Slika 42. Vidljivi elementi krovne konstrukcije (RGB kamera na dronu) .....	56
Slika 43.(a) Opći pogled na promatrani objekt ; (b) Instalacije neadekvatno pričvršćene na krovnu konstrukciju na visini iznad prolaza i balkona; (c) Visoki dimnjak (konzola) s neprikladnom količinom instalacija.....	57
Slika 44. Detalj povezivanja balkona i opreme s građevinom (17).....	57
Slika 45. Podaci s RGB kamere na dronu .....	58
Slika 46. Prikaz oštećenja (Google Earth) (17).....	58
Slika 47. (a) Prikaz s RGB kamere; (b) oblak točaka (LIDAR).....	59
Slika 48. Klasifikacija građevina prema susjednim jedinicama različite visine .....	59
Slika 49. Klasifikacija prema položaju u bloku (RGB ortomozaik).....	60
Slika 50. Klasifikacija prema položaju u bloku (Revit).....	60
Slika 51. Ručno iscrtavanje kontura građevina i procjena položaja međukatnih konstrukcija u Revitu (LIDAR podaci) .....	61
Slika 52. Klasifikacija prema vroju razmještenih katova .....	61
Slika 53. Veliki otvori upućuju na primjenu armiranog betona (RGB kamera) .....	62
Slika 54. Klasifikacija prema materijalu .....	62
Slika 55. Izračun površine otvora i fasade u Revitu .....	63
Slika 56. Analizirani niz zgrada (ortofoto).....	66
Slika 57. Prikaz južnog pročelja prvog bloka (3D model).....	66
Slika 58. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 17 .....	67
Slika 59. Krivulja oštetljivosti .....	67
Slika 60. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 19 .....	68
Slika 61. Krivulja oštetljivosti .....	68
Slika 62. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 21 .....	69
Slika 63. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 23 .....	70
Slika 64. Krivulja oštetljivosti .....	70
Slika 65. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 25 .....	71
Slika 66. Krivulja oštetljivosti .....	71
Slika 67. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 27 .....	72
Slika 68. Prikaz sjevernog pročelja drugog bloka (3D model) .....	73

---

Slika 69. Tlocrtni prikaz analiziranog niza zgrada (ortofoto) .....	73
Slika 70. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 22 .....	74
Slika 71. Krivulja oštećljivosti .....	74
Slika 72. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 24 .....	75
Slika 73. Krivulja oštećljivosti .....	75
Slika 74. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 26 .....	76
Slika 75. Krivulja oštećljivosti .....	76
Slika 76. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 28 .....	77
Slika 77. Krivulja oštećljivosti .....	77
Slika 78. Položaj zgrade u bloku na adresi Šenoina 32 .....	78
Slika 79. Krivulja oštećljivosti .....	78
Slika 80. EMS 98 razred oštećenja za intenzitet VII .....	79
Slika 81.EMS 98 razred oštećenja za intenzitet VIII .....	80

## POPIS TABLICA

Tablica 1: Primjer matrice odgovornosti za aktivnosti vezane uz primjenu dronova.....	23
Tablica 2: Kategorije oštećenja prema EMS98 ljestvici (57) .....	36
Tablica 3: Obrazac za procjenu oštetljivosti građevina (59) .....	38
Tablica 4: Obrazac za ocjenu oštetljivosti zgrada u bloku (61) .....	43
Tablica 5: Vrsta podataka ovisno o tipu korištene opreme .....	51
Tablica 6: Tablice za određivanje razreda parametra postotka ploštine .....	65
Tablica 7. Makroseizmički parametri.....	67
Tablica 8. Makroseizmički parametri.....	68
Tablica 9. Makroseizmički parametri.....	69
Tablica 10. Makroseizmički parametri.....	70
Tablica 11. Makroseizmički parametri.....	71
Tablica 12. Makroseizmički parametri.....	72
Tablica 13. Makroseizmički parametri.....	74
Tablica 14. Makroseizmički parametri.....	75
Tablica 15. Makroseizmički parametri.....	76
Tablica 16. Makroseizmički parametri.....	77
Tablica 17. Makroseizmički parametri.....	78
Tablica 18. Rekapitulacija razreda parametara za makroseizmičku analizu .....	79

## PRILOG A