

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEODETSKI FAKULTET**

Nina Matošić

**PAMETNA RJEŠENJA ZA SVEUČILIŠNE  
KAMPUSE**

Diplomski rad

Zagreb, 2021.

**Nina Matošić ♦ DIPLOMSKI RAD ♦ 2021.**



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GEODETSKI FAKULTET**

Nina Matošić

**PAMETNA RJEŠENJA ZA SVEUČILIŠNE KAMPUSE**

Diplomski rad

Zagreb, 2021.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEODETSKI FAKULTET**



Na temelju članka 19. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu i Odluke br. 1\_349\_11 Fakultetskog vijeća Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, od 26.10.2017. godine (klasa: 643-03/16-07/03), uređena je obaveza davanja „Izjave o izvornosti“ diplomskog rada koji se vrednuju na diplomskom studiju geodezije i geoinformatike, a u svrhu potvrđivanja da je rad izvorni rezultat rada studenata te da taj rad ne sadržava druge izvore osim onih koji su u njima navedeni.

**IZJAVLJUJEM**

Ja, **Nina Matošić**, (JMBAG: 0083218824), rođen/a dana 29.06.1997. u Splitu, izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi tog rada nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

U Zagrebu, dana \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
*Potpis studenta / studentice*

<b>I. AUTOR</b>	
<b>Ime i prezime:</b>	Nina Matošić
<b>Datum i mjesto rođenja:</b>	29. lipnja 1997., Split, Republika Hrvatska
<b>II. DIPLOMSKI RAD</b>	
<b>Naslov:</b>	Pametna rješenja za sveučilišne kampuse
<b>Broj stranica:</b>	51
<b>Broj tablica:</b>	6
<b>Broj slika:</b>	39
<b>Broj bibliografskih podataka:</b>	15 + 47 URL-a
<b>Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen:</b>	Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
<b>Mentor:</b>	doc. dr. sc. Vesna Poslončec-Petrić
<b>Voditelj:</b>	Iva Cibilić, mag. ing. geod. et geoinf.; Zvonimir Nevistić, mag. ing. geod. et geoinf.
<b>III. OCJENA I OBRANA</b>	
<b>Datum zadavanja teme:</b>	18.1.2021.
<b>Datum obrane rada:</b>	17.9.2021.
<b>Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:</b>	doc. dr. sc. Vesna Poslončec-Petrić
	prof. dr. sc. Željko Bačić
	doc. dr. sc. Andrija Krtalić

## **Zahvala**

Zahvaljujem mentorici, doc. dr. sc. Vesni Poslončec-Petrić na ukazanom povjerenju i vodstvu tijekom izrade diplomskog rada. Također zahvaljujem svojoj voditeljici Ivi Cibilić na svim pruženim savjetima i susretljivosti kao i Zvonimiru Nevistiću na pomoći prilikom obavljanja praktičnog dijela diplomskog rada.

Hvala mojoj obitelji i prijateljima na bezuvjetnoj podršci.

### ***Pametna rješenja za sveučilišne kampuse***

**Sažetak:** *Primjena koncepta pametnih gradova osigurava značajan razvoj urbanih sredina. Inovativni pristup pri korištenju modernih tehnologija u svrhu unaprjeđenja infrastrukture, iskorištavanja prirodnih energetske resursa te poboljšanja kvalitete života građana može se primijeniti i na manjim područjima poput sveučilišnih kampusa. Ovaj rad opisuje koncept pametnih sveučilišnih kampusa te se bavi primjenom tehnologije bespilotnih letjelica za potrebe njihova planiranja. Prikazan je cjelokupan tijek snimanja iz zraka kao i potrebne pripremne radnje te obrada prikupljenih snimaka. Opisan je proces izrade trodimenzionalne vizualizacije promatranog kampusa te mogućnosti analiza temeljenih na generiranom modelu. Provedena je i analiza solarnog potencijala područja kampusa u svrhu korištenja obnovljivih izvora energije.*

**Ključne riječi:** *3D model, bespilotna letjelica, pametni grad, pametni kampus, solarni potencijal*

### ***Smart solutions for university campuses***

**Abstract:** *Applying the smart cities concept ensures significant urban development. An innovative approach in usage of modern technologies for the purpose of improving infrastructures, exploitation of natural energy resources and improving the quality of life can be applied in smaller areas such as university campuses. This paper describes the concept of smart university campus and deals with the application of drone technology for planning purposes. The entire course of aerial photography is shown, as well as the necessary preparations and processing of the collected images. The process of making a three-dimensional visualization of the observed campus and the possible analysis based on the generated model are described. An analysis of the solar potential of the campus area for the purpose of using renewable energy sources was also performed.*

**Keywords:** *3D model, Unmanned Aerial Vehicles, smart city, smart campus, solar potential*

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	0
UVOD .....	1
2. PAMETNI GRAD .....	2
2.1 KONCEPT PAMETNOGA GRADA.....	2
2.1.1 Informacijsko-komunikacijska tehnologija.....	3
2.1.2 Pametna mreža ( <i>Smart Grid</i> ).....	3
2.1.3 Pametno mjerenje ( <i>Smart Metering</i> ) .....	3
2.1.4 M2M komunikacija i „Internet of Things“ .....	4
2.1.5 Inteligentni transportni sustavi (ITS) .....	4
2.1.6 Energetska učinkovitost .....	4
3. PAMETNI SVEUČILIŠNI KAMPUS .....	5
3.1 PAMETNE KARTICE .....	6
3.2 FOTONAPONSKI SUSTAVI.....	7
3.2.1 Solarni paneli na krovovima.....	7
3.2.2 Solarna rasvjeta .....	8
3.2.3 Solarne nadstrešnice za parking .....	8
4. 3D MODELIRANJE U FUNKCIJI PLANIRANJA PAMETNIH GRADOVA .....	10
5. IZRADA 3D MODELA ZNANSTVENO-UČILIŠNOG KAMPUSA BORONGAJ .....	11
5.1 ZNANSTVENO - UČILIŠNI KAMPUS BORONGAJ .....	11
5.2 SVRHA IZRADA MODELA .....	12
5.3 IZBOR INSTRUMENTARIJA .....	12
5.3.1 TRIMBLE R8.....	12
5.3.2 DJI Phantom 4 Pro V.2.0.....	14
5.4 PRIPREMA ZA SNIMANJE IZ ZRAKA.....	15
5.4.1 Preduvjeti za djelatnost snimanja iz zraka bespilotnom letjelicom.....	15
5.4.2 Rekognosciranje terena i postavljanje kontrolnih točaka.....	16
5.4.3 Programiranje optimalnih putanja bespilotne letjelice u Site Scan for ArcGIS softveru.....	18
5.5 OBRADA PRIKUPLJENIH PODATAKA.....	20
5.5.1 Poravnavanje snimki .....	22
5.5.2 Gusti oblak točaka .....	23
5.5.3 Mesh.....	24
5.5.4 Digitalni elevacijski model.....	28

---

5.5.5 Ortomozaik.....	29
6. ANALIZA SOLARNOG POTENCIJALA PODRUČJA KAMPUSA.....	31
6.1 FOTONAPONSKI GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAV .....	31
6.2 ANALIZA U SAGA GIS SOFTVERU .....	33
6.3 REZULTATI ANALIZE .....	35
6.4 EFIKASNOST SOLARNIH PANELA .....	39
7. SEMANTIČKI 3D MODEL .....	41
ZAKLJUČAK .....	44
LITERATURA.....	45
POPIS SLIKA .....	48
POPIS TABLICA.....	49
PRILOZI.....	51



## UVOD

Ekonomski, društveni i kulturni razvoj na globalnoj i nacionalnoj razini zahtijeva korištenje novih, inovativnih rješenja u svrhu postizanja održivosti te daljnjeg napretka. Uporaba naprednih tehnologija danas je prisutna u svim sferama urbanog društva. Gospodarski razvoj, poslovni procesi, upravljanje, sigurnost kao i socijalni život zahtijevaju određeni stupanj umreženosti koja je danas omogućena korištenjem internetske veze.

Održivi urbani razvoj između ostalog nastaje kao posljedica pomnog prostornog planiranja. Učinkovito prostorno planiranje ključan je čimbenik u konkurentnosti država, gradova ali i manjih područja te omogućava optimalno upravljanje određenim procesima, infrastrukturom i okolišem. Naglo rastući tehnološki napredak omogućava širok spektar rješenja za pojedine izazove. Potrebno je pronaći načine za obavljanje pojedinih zadataka na što kvalitetniji i efikasniji način.

Pojmom pametnih gradova moguće je opisati sve veći broj gradskih sredina. Radi se upravo o gradovima koji korištenjem modernih tehnologija postižu urbani razvoj i brzo rastući napredak u brojnim aspektima svakodnevnog života. Isti princip moguće je primijeniti i na male sredine koje imaju slične zahtjeve. Primjer je optimizacija područja sveučilišnih kampusa u svrhu unaprjeđivanja sveučilišta u pogledu obrazovanja, upravljanja, usluga i konkurentnosti. Kako bi to bilo moguće, potrebne su velike količine podataka za čije je prikupljanje potrebno pronaći najefikasniji način.

Snimanje iz zraka metoda je prikupljanja podataka koja se sve češće koristi za različite svrhe. Беспilотне летјелісе, біло да су управљане ручно или лете аутоматски, омогућавају снимање великих подручја те прикупљање потребних информација на брз, једноставан и ефикасан начин. Прикупљене фотографије могуће је засебно анализирати или користити за израду cjelovitog trodimenzionalnog modela područja od interesa. Model se može koristiti za vizualizaciju određenog područja ili može poslužiti kao podloga za provođenje različitih analiza zasnovanih na prostoru.

## 2. PAMETNI GRAD

Termin „pametan grad“ podrazumijeva različite koncepte razvoja gradova koji s aspekta inovacija primjenom različitih tehnologija i principa planiranja optimiziraju gradski prostor. Pametni grad podrazumijeva da su njegove tradicionalne usluge i ustanove poboljšane primjenom digitalnih tehnologija u korist stanovnika (Slika 2.1). S obzirom na to da obuhvaća širok raspon različitih tehnologija, teško je odrediti jedinstvenu definiciju tog pojma. Moderna rješenja iz segmenta mobilnosti, urbanog planiranja, komunikacije, proizvodnje i opskrbe energijom te digitalizirano i interaktivno upravljanje gradom kao i učinkovito upravljanje građevinama predstavljaju značajke koje grad čine pametnim (URL 1).



Slika 2.1 Ilustracija pametnoga grada (URL 2)

Kako bi bilo moguće brže odgovarati na pojedine izazove, razvijene su brojne pametne aplikacije koje omogućuju upravljanje gradskim tokovima te na taj način omogućavaju reakcije u realnom vremenu. Zbog većih tehnoloških, ekonomskih i ekoloških promjena kao što su klimatske promjene, gospodarsko restrukturiranje, prelazak na online maloprodaju, porast stanovnika u gradovima i zbog većih pritisaka na javne financije, bilo je potrebno osmisliti strategije koje bi omogućile postizanje urbanog razvoja. Koncept pametnog grada povezuje informacijsku i komunikacijsku tehnologiju (eng. *Information and communications technology*, skraćeno ICT) kao i razne fizičke uređaje povezane s mrežom kako bi se optimizirala učinkovitost gradskih usluga (URL 3).

### 2.1 KONCEPT PAMETNOGA GRADA

Jedan pristup definiranju pametnih gradova odnosi se na uspostavu međusobne povezanosti i razvoja gospodarstva, ljudi, upravljanja gradom, pokretljivosti (mobilnosti) te zaštite okoliša. Kako bi to bilo moguće, potrebno je korištenje odgovarajuće tehnologije. Poznavanje osnovnih elemenata potrebnih za primjenu koncepta pametnih gradova neophodno je za daljnji urbani razvoj.

### 2.1.1 Informacijsko-komunikacijska tehnologija

Primjena ICT rješenja u procesu proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije, kao i u povećanju energetske učinkovitosti omogućuje gospodarsku dobrobit kao i smanjenje onečišćenja okoliša. Razvojem novih nadzornih strategija i procedura za zgrade kao i energetske mreže nastoji se osigurati dinamičko i učinkovito upravljanje energetskim resursima. Pri tome je nužno postići suglasnost, s obzirom na arhitekturu ICT komunikacijske mreže, kao i takav podatkovni model koji bi zadovoljio potrebe različitih servisa. Također, potrebno je osigurati učinkovitu kontrolu kvalitete isporučene energije te interaktivnu komunikaciju s krajnjim potrošačima (Burazer, 2012)

### 2.1.2 Pametna mreža (*Smart Grid*)

Pametna mreža predstavlja složenu električnu mrežu koja međusobno povezuje i osigurava optimalno funkcioniranje svih sastavnih elemenata; od generatora, prijenosnog sustava, distribucijskog sustava, pametnog mjeriteljskog sustava, sustava za usklađivanje ponude i potražnje te sustava za povezivanje na mrežu do administrativnog sustava u izravnoj komunikaciji s potrošačima električne energije (Burazer, 2012).

### 2.1.3 Pametno mjerenje (*Smart Metering*)

Pametna mjerila registriraju potrošenu električnu struju ili plin u redovitim intervalima te podatke automatski šalju isporučitelju putem fiksne ili mobilne mreže (Slika 2.2.). Korisnicima su dostupni točni podaci o utrošenim resursima te je u svakom trenutku moguće očitati vlastitu potrošnju te je na taj način kontrolirati (Burazer, 2012).



Slika 2.2 Integracija pametnih brojila u elektroenergetski sistem (URL 4)

### **2.1.4 M2M komunikacija i „Internet of Things“**

M2M (eng. *Machine to Machine*) komunikacija označava komunikaciju između različitih objekata unutar određenog sustava, a zatim putem odgovarajućeg sučelja s globalnom mrežom. Sastoji se od 4 procesa: sakupljanje podataka, prijenos podataka kroz komunikacijsku mrežu, obrada podataka te odaziv na odgovarajuću informaciju. Kako bi se proširio proces automatizacije sustava i procesa, potrebno je povezivanje M2M komunikacije putem interneta u jedinstvenu inteligentnu mrežu Internet stvari (eng. *Internet of Things* skraćeno IoT) (Burazer, 2012). Internet stvari može se definirati kao sustav međusobno povezanih računalnih uređaja, mehaničkih i digitalnih strojeva, objekata, životinja i ljudi koji imaju jedinstvene identifikatore i mogućnost prijenosa podataka putem mreže bez potrebe za interakcijom čovjek – čovjek i čovjek – računalno (URL 5).

### **2.1.5 Inteligentni transportni sustavi (ITS)**

ICT tehnologija se primjenjuje u procesu proizvodnje vozila, za unaprjeđenje komunikacijske mreže između vozila (eng. *Vehicle to Vehicle*, skraćeno V2V) kao i između vozila i infrastrukturne mreže (eng. *Vehicle to infrastructure*, skraćeno V2I). Inteligentni prometni sustavi podrazumijevaju u realnom vremenu sljedeće čimbenike: optimiziranje prometnih ruta, lako i jednostavno biranje između različitih vrsta prometnih sredstava, pozitivan utjecaj na proces proizvodnje vozila te povećanje kapaciteta protoka robe i ljudi u prometu (Burazer, 2012).

### **2.1.6 Energetska učinkovitost**

Prema strategiji razvoja Europe2020, nastoji se postići smanjenje emisije stakleničkih plinova za 20% u odnosu na razinu iz 1990. godine, 20% proizvodnje energije iz obnovljivih izvora te povećanje energetske učinkovitosti za 20%. Realizacija navedenih ciljeva moguća je kroz poticanje normizacije naročito u pametnim mrežama (Burazer, 2012).

### 3. PAMETNI SVEUČILIŠNI KAMPUS

Koncept pametnih gradova postaje sve više zastupljen u brojnim urbanim sredinama diljem svijeta. Može se primijeniti u različitim područjima te na taj način olakšati svakodnevne aktivnosti i život građana kao i bolje upravljanje i održivost gradova. Pri tome se koriste moderne tehnologije te inovacije koje omogućuju postizanje navedenih ciljeva. Kao ustanove koje potiču inovativnost, razvoj i važnost obrazovanja, fakulteti bi trebali biti primjer napretka i mogućnosti koje nove tehnologije nude. Sveučilišni kampusi koji obuhvaćaju obrazovne ustanove, studentske domove te javne i uslužne objekte mogu biti idealna područja za primjenu ovog koncepta.

Sva su sveučilišta u današnje vrijeme povezana na internet te se u svakome nalaze objekti koji se mogu pretvoriti u „pametne“ objekte unutar IoT koncepta. Objekti poput vrata, prozora, printera, projektor, knjiga kao i kompleksnih objekata poput zgrada, učionica, laboratorija i parkinga mogu se pretvoriti u „pametne“ primjenom senzora, QR (eng. *Quick response*) kodova, RFID (eng. *Radio-frequency identification*), NFC (eng. *Near Field Communication*) (Slika 3.1) i BLE (eng. *Bluetooth Low Energy*) tehnologija. Primjena takvih, pametnih objekata, temelj je za razvoj pametnih sveučilišta. Senzori i tehnologije koji se koriste mogu se podijeliti u nekoliko kategorija (Cață, 2015.):

- senzori za praćenje okoliša (buke, vlage, temperature i svjetla),
- sigurnosni senzori (detektori kretanja, otvaranje/zatvaranje prozora i vrata, video, otisci prstiju, detektori zračenja, dima, plinova, vatre i vode),
- utilitarni senzori (NFC, električni napon),
- informacijski senzori (barkodovi, QR oznake, RFID).



Slika 3.1 Primjena NFC tehnologije (URL 6)

U svim aspektima obrazovanja nastoji se iskoristiti dostupnu tehnologiju kako bi se poboljšala kvaliteta učenja, pojednostavnile administrativne zadaće i pružila sigurnost studentima. Manji budžeti, rastući broj studenata te veći troškovi po studentu ukazuju na potrebu povećanja efikasnosti. Glavni cilj inicijative pametnih kampusa postizanje je održivog, ekološkog i energetski efikasnog razvoja.

### 3.1 PAMETNE KARTICE

S obzirom na porast broja studenata, brojne obrazovne ustanove danas traže sigurnija, ekonomičnija i pojednostavljena rješenja koja bi zadovoljila potrebe studenata i zaposlenika. Brojna sveučilišta diljem svijeta uvela su pametne kartice kako bi omogućili automatski pristup ustanovama i učionicama, veću sigurnost i poboljšane usluge kampusa. Pametna kartica (eng. *Smart Card*) je plastična kartica standardne veličine koja sadrži integrirani sklop ili čip koji daje kartici mogućnost da pohranjuje i/ili obrađuje podatke (Walters 1992.). Ugrađena RFID tehnologija, omogućava beskontaktnu razmjenu podataka na manjim udaljenostima korištenjem radio frekvencija između prijenosnih uređaja odnosno pametnih kartica te *host* računala - uređaja povezanih u računalnu mrežu koji sa sličnim uređajima ostvaruju vezu putem standardnih protokola (URL 7). Kartice se izrađuju od trajnih materijala poput poliestera i PVC-a (Polivinil klorida) te mogu trajati tijekom cijelog studentskog obrazovanja pri čemu dolazi do smanjenja troškova godišnje izrade studentskih iskaznica. Upotreba pametnih kartica omogućava identifikaciju vlasnika kartice. Mogu se koristiti za praćenje pohađanja nastave, izostanaka te kašnjenja kao i za praćenje radnog vremena zaposlenika te prekovremenog rada. Pristup pojedinim prostorijama moguće je ograničiti te na ovaj način osigurati pristup isključivo ovlaštenim osobama. Slika 3.2 prikazuje barijere koje uporabom RFID tehnologije onemogućuju pristup bez odgovarajuće kartice.



Slika 3.2 RFID kontrola pristupa (URL 8)

Posuđivanje knjiga u studentskim knjižnicama također može biti automatizirano pri čemu sve informacije o posuđivanju mogu biti evidentirane u bazu podataka korištenjem pametnih kartica. Osim same identifikacije, pametne kartice također se mogu koristiti i kao sredstvo plaćanja. Mogu sadržavati određeni budžet koji je moguće potrošiti beskontaktnim i bezgotovinskim plaćanjem u studentskim restoranima, kafićima, trgovinama ili kopirnicama kao i za plaćanje studentskog smještaja, upisnina i ostalih troškova. Stanje računa moguće je pratiti putem interneta te na taj način kontrolirati vlastite financije (URL 9). Zbog brojnih prednosti koje ova tehnologija nudi, sveučilišta diljem svijeta počela su koristiti pametne kartice. Neki od njih su Sveučilište u Liverpoolu, Singapuru, Portu i Newcastleu.

## 3.2 FOTONAPONSKI SUSTAVI

Sveučilišni kampusi mogu obuhvaćati velika područja te svakodnevno zahtijevaju velike količine energetske resursa. Kao glavni izvor energije, danas se koriste fosilna goriva čije izgaranje ima izrazito štetan utjecaj na okoliš. Zbog brzog napretka i razvoja tehnologije, potreba za energijom je sve veća te je potrebno koristiti alternativne izvore energije. Obnovljivi izvori poput sunca, vode i vjetra, neiscrpn su te osim značajnog smanjenja negativnog utjecaja na okoliš, mogu osigurati i značajne financijske dobiti. Brojna sveučilišta okreću se ugradnji fotonaponskih sustava za iskorištavanje solarne energije kako bi zadovoljila velike potrebe za energetskim resursima. Fotonaponski sustavi koriste solarne ćelije kako bi pretvorili sunčevo zračenje u električnu energiju. Mogu se podijeliti u dvije grupe; samostalne ili izolirane sustave u kojima se proizvedena električna energija pohranjuje najčešće u akumulatore ili baterije te mrežne sustave koji proizvedenu energiju predaju u elektroenergetski sustav (URL 10). Povezivanjem više solarnih ćelija malog električnog napona dobiju se solarni paneli. Postoje višestruke prednosti korištenja ovakvih sustava od strane sveučilišnih kampusa te su neke od njih navedene u nastavku (URL 11).

- Smanjeni troškovi: Ugradnja fotonaponskih sustava zahtijeva veća početna ulaganja ali osigurava siguran povrat investicije te naposljetku besplatan izvor energije s niskim zahtjevima za održavanje. Tipični solarni sustav pruža besplatnu struju više od 25 godina, a povrat sredstava moguće je ostvariti u roku od 6-8 godina (URL 12).
- Potiče upotrebu obnovljivih izvora energije: kampusi koji koriste solarnu energiju kao izvore energije mogu svojim pozitivnim primjerom potaknuti ostale članove lokalne zajednice na poduzimanje istih koraka.
- Pozitivan utjecaj na okoliš: smanjuje potrebu za korištenjem fosilnih goriva te time ima pozitivan učinak na područje kampusa kao i okolnih područja.
- Obrazovanje: sudjelovanje sveučilišta u uvođenju inovativnih sustava daje priliku studentima da uče i sudjeluju u procesu.
- Popularnost sveučilišta: inovativno i tehnološki napredno sveučilište koje je ekološki osviješteno može privući veći broj novih studenata, zaposlenika kao i potencijalnih investitora.

### 3.2.1 Solarni paneli na krovovima

Brojne zgrade fakulteta, studentskih domova, sportskih i ostalih objekata koji se mogu naći na području kampusa osiguravaju velike površine neiskorištenih krovova koje bi bile pogodne za ugradnju sustava za iskorištavanje solarne energije. Najveći projekt ugradnje solarnih panela u Ujedinjenom kraljevstvu proveden je od strane Sveučilišta u Sussexu (Slika 3.3). Na 30 zgrada sveučilišta ugrađeno je preko 3000 solarnih panela. Radi se o investiciji u iznosu 1,5 milijuna britanskih funti. Godišnje je moguće ostvariti 777,000 kWh električne energije što zadovoljava 5 posto potreba kampusa. Također stvara se dovoljno energije za potrebe sveučilišne knjižnice tijekom cijele godine (URL 13).



*Slika 3.3 Solarni paneli - Sveučilištu u Sussexu (URL 13)*

### **3.2.2 Solarna rasvjeta**

Na velikim područjima kampusa neophodno je osigurati osvjetljenje na svim područjima kretanja. Korištenje solarne energije za napajanje LED svjetiljki istovremeno pruža sigurnost kao i uobičajena rasvjeta ali također donosi brojne prednosti. Uvođenje solarne rasvjete financijski je isplativ projekt. Prilikom postavljanja rasvjete nije potrebno narušiti postojeću infrastrukturu. Nema potrebe za postavljanjem podzemne mreže za potrebe dovođenja energije. Slika 3.4 prikazuje fakultet Odessa u Texasu gdje je solarna rasvjeta korištena kako bi se izbjeglo narušavanje postojećeg uređenja kampusa (URL 14). U New Jerseyu solarna rasvjeta iskorištena je za osvjetljavanje vanjskih terasa dok su u Washingtonu osvjetljeni putovi kroz park od stambenog područja kampusa do glavnih prometnica (URL 15).



*Slika 3.4 Solarna rasvjeta – Fakultet Odessa (URL 14)*

### **3.2.3 Solarne nadstrešnice za parking**

Velik broj studenata, profesora kao i ostalih zaposlenika na području kampusa podrazumijeva i velik broj osobnih automobila za koje je potrebno osigurati dovoljan broj parkirnih mjesta.



Parkirališne površine pojedina su sveučilišta iskoristila za iskorištavanje solarne energije. Izgradnja nadstrešnica s ugrađenim solarnim panelima, osim primarnog generiranja energije, također pruža hlad te zaštitu od svih vremenskih uvjeta zahvaljujući svojoj otpornosti. Zbog financijske isplativosti ovog projekta kao i zbog poticanja interesa za učenjem o fotonaponskim sustavima i obnovljivim izvorima energije među studentima, brojni fakulteti odlučili su proširiti područja prekrivena solarnim panelima. Sveučilište Rutgers u New Jerseyu započelo je ovu inicijativu konstruiranjem nadstrešnica za parking na površini od 2 ha. Dvije godine kasnije, novi projekt je proveden na površini od čak 12 hektara. Slika 3.5 prikazuje solarni parking koji uključuje 31,032 visoko efikasnih solarnih panela koji godišnje osiguravaju 8 MW struje što zadovoljava 63% potreba kampusa za električnom energijom. S unutrašnje strane nadstrešnica nalaze se 342 LED svjetiljke koje koriste dobivenu energiju te zajedno s nadzornim kamerama čine područje sigurnijim za studente, osoblje i posjetitelje. Također koriste ukupno 52 posto manje energije u usporedbi s klasičnim metal-halogenim žaruljama koje se uglavnom koriste na parkiralištima (URL 16).



Slika 3.5 Solarna nadstrešnica za parking – Sveučilište Rutgers (URL 16)

#### 4. 3D MODELIRANJE U FUNKCIJI PLANIRANJA PAMETNIH GRADOVA

3D modeliranje može se definirati kao proces kreiranja matematičke reprezentacije trodimenzionalnog objekta pri čemu se kao rezultat dobije 3D model koji sadrži podatke o točkama 3D prostora i druge informacije koje računalo interpretira u virtualni oblik (Bernik, 2010). Takvim modeliranjem gradova moguće je dobiti virtualne prikaze urbanih sredina, uključujući zgrade, teren, znamenitosti, infrastrukturni krajolik i vegetaciju. Pri tome dolazi do integracije različitih geoprostornih podataka u stvarnu, trodimenzionalnu vizualizaciju grada. Pružaju sposobnost pojednostavljenja, vizualizacije, kartiranja i urbanog planiranja. Od velike su koristi i pri donošenju različitih odluka kao i pri upravljanju rizikom. Detaljne vizualizacije smanjuju i pogreške u planiranju što dovodi do jednostavnijeg praćenja okoliša te manjih novčanih gubitaka (URL 17).

Koncept pametnog grada omogućuje pristup spajanju različitih informatičkih tehnika usmjerenih na optimizaciju teritorijalnog upravljanja kao i urbanog razvoja. 3D modeliranje i stvaranje simulacija gradova omogućavaju precizne vizualne prikaze stvarne uporabe urbanih područja što je od velike važnosti za potporu organizacijskim i upravljačkim odlukama koje se tiču planova održivog razvoja (Danilina i dr., 2018). Iako postoje mnoge komponente planiranja pametnoga grada, 3D vizualizacija postaje sve važnija kao sredstvo za približavanje ovog koncepta široj javnosti.

Porastom popularnosti 3D modela, javila se potreba za razvijanjem podatkovnih standarda kako bi se omogućila njihova razmjena između različitih softvera, kao i njihovo objavljivanje na internetu. CityGML je otvoreni model podataka za predstavljanje, pohranu i razmjenu virtualnih 3D modela gradova i krajolika. CityGML pruža standardni model i mehanizam za opisivanje 3D objekata s obzirom na njihovu geometriju, topologiju, semantiku i izgled te definira 5 različitih razina detalja (eng. *Level of Detail*, skraćeno LOD) (URL 18):

- LOD 0 – prikaz digitalnog modela terena,
- LOD 1 – prikaz osnovnih oblika objekta, tzv. model kutija (eng. box model),
- LOD 2 – prikaz objekta s teksturama i detaljnom strukturom krova trebao bi u potpunosti podržavati korisnički definirane tekstualne atribute koje korisnici mogu proširiti,
- LOD 3 – detaljan prikaz vanjske arhitekture objekta s detaljnom strukturom krova,
- LOD 4 – detaljan prikaz unutrašnjosti (Kolarek, 2009).



Slika 4.1 Prikaz razine detalja – LOD (Biljecki, 2017)

## 5. IZRADA 3D MODELA ZNANSTVENO-UČILIŠNOG KAMPUSA BORONGAJ

### 5.1 ZNANSTVENO - UČILIŠNI KAMPUS BORONGAJ

Znanstveno-učilišni kampus Borongaj (Slika 5.1) proteže se na 92.8 hektara površine na području zagrebačke četvrti Peščenica-Žitnjak. Prostor kampusa smješten je između urbanih četvrti Maksimira i Ravnica sa sjeverne strane, industrijske zone Žitnjak sa zapadne i južne strane te nekonsolidiranih stambenih naselja s istočne strane. Svečano je otvoren 12. listopada 2007. godine, čime je završena prva faza uređenja bivše vojarnje Borongaj. U listopadu 2006. godine, Vlada i predsjednik RH predali su prostor vojarnje Hrvatske vojske „Borongaj“ Ministarstvu, znanosti, obrazovanja i sporta radi prenamjene u znanstveno-učilišni kampus Sveučilišta u Zagrebu. Devet vojnih objekata prenamijenjeno je za potrebe fakulteta prometnih znanosti, Edukacijsko-rehabilitacijskog fakulteta te Hrvatskih studija. Paralelno s rekonstrukcijom fakultetskih zgrada, rekonstruiran je i objekt za studentski restoran, uređen je okoliš, uspostavljena je IT-infrastruktura te je uspostavljena autobusna linija koja vodi do kampusa. Nakon prve faze obnove, nastavu je započelo 4500 studenata te 200 profesora. U drugoj fazi razvoja kampusa predviđeno je da se tamo preseli još pet fakulteta. Započela je priprema podloga za urbanistički natječaj te planiranje i programiranje osam novih zgrada fakulteta i popratnih sadržaja. Ostali planirani fakultetski objekti (Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Prehrambeno-biotehnoški fakultet, Akademija dramske umjetnosti, Fakultet Političkih znanosti i novi objekti privremeno smještenih Fakulteta prometnih znanosti, Hrvatskih studija i Edukacijsko-rehabilitacijskog fakulteta) imaju zasebne rasporede razvoja projekata i početaka gradnje. Planirana je i gradnja sportskog kompleksa kao i brojnih instituta i agencija ministarstva. Vojno skladište na Borongaju planira se preurediti u prostor koji bi sadržavao atelje, studije i dvorane Akademije dramske umjetnosti te Muzičke i Akademije likovnih umjetnosti. Također je planirana izgradnja studentskih domova. Nakon završetka gradnje, očekuje se da će broj studenata koji bi koristili kampus porasti na 35000 te bi to bila najveća investicija u posljednjih 150 godina (URL 19).



Slika 5.1 Znanstveno učilišni kampus Borongaj (URL 20)

Trenutno su na kampusu smješteni Fakultet prometnih znanosti, Hrvatski studiji, Edukacijsko-rehabilitacijski i Ekonomski fakultet, restoran Studentskog centra te BICRO BIOcentar kao i odjel Hrvatskog zavoda za toksikologiju i DHMZ.

Cilj prostornog uređenja Studentskog kampusa Borongaj je izgradnja i formiranje kompleksa javne i društvene namjene – istočnog kampusa Sveučilišta u Zagrebu. Osim zgrada u funkciji znanosti i visokog obrazovanja, u prostoru kampusa predviđeni su prateći sadržaji svih drugih namjena kako bi se osigurala racionalnost, funkcionalnost i održivost kampusa (URL 21).

## **5.2 SVRHA IZRADE MODELA**

3D modeli mogu se koristiti u brojne svrhe te na taj način značajno unaprijediti obavljanje određenih poslova kao i pružanje boljeg i informativnijeg vizualnog prikaza. Snimke prikupljene bespilotnom letjelicom pogodne su za fotogrametriju s obzirom na to da je svaka snimka geolocirana; GPS i ugrađeni senzori letjelice pružaju informacije o geografskoj dužini, širini i visini lokacija snimanja. Daljnjom softverskom obradom prikupljenih snimaka moguće je generiranje 3D modela. Ovim načinom prikupljanja informacija o određenom području, dobije se velika količina prostornih informacija koje je kasnije moguće upotrijebiti za obavljanje pojedinih zadataka. Snimanjem kampusa Borongaj iz zraka, cilj je prikupiti zadovoljavajuću količinu snimki koje se dalje mogu obraditi u određenom softveru. Pritom je obuhvaćen čitav proces snimanja iz zraka, od prikupljanja potrebne dokumentacije, polaganja ispita za operatora bespilotne letjelice te dobivanja potrebnih dozvola za obavljanje ove djelatnosti. Također je potrebno napraviti dobru pripremu za snimanje što obuhvaća rekognosciranje terena, izradu signalizacijskih oznaka i određivanje kontrolnih točaka te programiranje najoptimalnijih putanja bespilotne letjelice za dobivanje što boljih rezultata. Prilikom obrade prikupljenih snimaka, potrebno je dobro istražiti sve mogućnosti koje softver nudi. Korištenjem različitih funkcija te parametara moguće je dobiti različite rezultate stoga je potrebno pronaći najefikasnija rješenja. Obrada snimaka rezultira fotorealističnim 3D modelom koji pruža uvid u stvaran izgled kampusa. Takav model može se dodatno uređivati, objaviti na određenim javnim platformama, a moguće je putem odgovarajućih softvera izraditi i virtualne ture na području kampusa te time svim sadašnjim i budućim studentima približiti kampus te sadržaje koje nudi. Također, klasifikacija prikupljenih točaka kao i generiranje digitalnih elevacijskih modela pruža mogućnost izvršavanja brojnih analiza među kojima je i istraživanje solarnih potencijala pojedinih lokacija.

## **5.3 IZBOR INSTRUMENTARIJA**

### **5.3.1 TRIMBLE R8**

U svrhu dobivanja što boljih rezultata obrade podataka prikupljenih snimanjem iz zraka, potrebno je poznavanje koordinata odgovarajućeg broja kontrolnih točaka. Za njihovo određivanje, korišten je Trimble R8 GNSS prijemnik zajedno s Trimble TSC3 ručnim kontrolerom koji omogućava računanja izravno na terenu kao i pojednostavljivanje tijekom svakodnevnih geodetskih poslova te broj uređaja potrebnih na terenu (Slika 5.2). Tablica 5.1 prikazuje specifikacije uređaja Trimble R8 (URL 22).



Slika 5.2 Trimble R8 prijemnik i Trimble TSC3 kontroler (URL 23)

Tablica 5.1 Specifikacije Trimble R8 prijemnika

Broj kanala	220
Signali	GPS: L1C/A, L2C, L2E, L5 GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P SBAS: L1C/A, L5
Točnost pozicioniranja [RMS]	RTK: H: 10 mm + 1,0 ppm V: 20 mm + 1,0 ppm Visoko-precizna statika: H: 3,0 mm + 0,1 ppm V: 3,5 mm + 0,4 ppm Statika/brza statika: H: 3,0 mm + 0,5 ppm V: 5,0 mm + 0,5 ppm DGPS: H: 0,25 m + 1ppm V: 0,50 m + 1ppm
Memorija	57 MB interna memorija
Napajanje (baterija)	Do 6 sati
Ažuriranje GNSS mjerenja	Do 20 Hz
Dimenzije	190 x 112 mm
Masa	1,34 kg

### 5.3.2 DJI Phantom 4 Pro V.2.0

Za potrebe ovog snimanja, korištena je bespilotna letjelica DJI Phantom 4 Pro V.2.0 (Slika 5.3) Radi se o proizvodu kineske tehnološke tvrtke DJI koja se bavi proizvodnjom dronova. Sadrži 1-inčni CMOS senzor koji omogućava snimanje videozapisa i fotografija od 20 MP. Prijenosni sustav osigurava stabilnu povezanost i pouzdanost, a dodatna sigurnost se ostvaruje i primjenom senzora za prepoznavanja prepreka u 5 smjerova. Prikaz okoline u realnom vremenu i 3D karta također pružaju važne podatke korisne za bolju orijentaciju i praćenje leta. Redundantne inercijalne mjerne jedinice i kompas isključuju moguće pogreške i značajno povećavaju pouzdanost leta. Namjenski daljinski upravljač daje veću preciznost i kontrolu. Također pokazuje životni vijek baterije i računa preostalo vrijeme letenja. Nakon što se postigne minimalna udaljenost za siguran povratak na mjesto polijetanja, pilot će biti obaviješten. Također ima sposobnost prevencije prekomjernog punjenja i pražnjenja baterije. Širok spektar inteligentnih značajki olakšava letenje te pruža visoku razinu efikasnosti i učinkovitosti. Phantom 4 Pro V2.0 cjelovito je rješenje za snimanje iz zraka. Tablica 5.2. prikazuje neke od specifikacija korištenog drona (URL 24).



Slika 5.3 DJI Phantom 4 Pro V.2.0 (URL 24)

Tablica 5.2 Specifikacije DJI Phantom 4 Pro V.2.0

<b>Težina (uključena baterija i propeleri)</b>	1375 g
<b>Dijagonalna veličina (propeleri isključeni)</b>	350 mm
<b>Maksimalna brzina</b>	S-mode: 45 mph (72 kph) A-mode: 36 mph (58 kph) P-mode: 31 mph (50 kph)
<b>Maksimalna nadmorska visina leta</b>	19685 ft (6000 m)
<b>Maksimalni otpor brzine vjetrova</b>	10 m/s
<b>Maksimalno vrijeme trajanja leta</b>	cca. 30 minuta

<b>Raspon radne temperature</b>	32° to 104°F (0° to 40°C)	
<b>Sustavi satelitskog pozicioniranja</b>	GPS/GLONASS	
<b>Raspon točnosti leta drona</b>	Vertikalna: ±0.1 m (s vizualnim pozicioniranjem) ±0.5 m (s GPS pozicioniranjem))	Horizontalna: ±0.3 m (s vizualnim pozicioniranjem) ±1.5 m (s GPS pozicioniranjem)

## 5.4 PRIPREMA ZA SNIMANJE IZ ZRAKA

### 5.4.1 Preduvjeti za djelatnost snimanja iz zraka bespilotnom letjelicom

Upravljanje bespilotnim zrakoplovima kao i snimanje iz zraka zakonski su ograničeni stoga prije obavljanja bilo kakvih operacija potrebno je dobro poznavanje postojećih zakonskih regulativa. Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova („Narodne novine“ broj 104/18) prestao je važiti od 1.1.2021. godine nakon čega se počinju primjenjivati Delegirana uredba (EU) 2019/945 i Provedbena uredba (EU) 2019/947 u svim članicama Europske unije. Provedbenom uredbom propisana su pravila i postupci za rad bespilotnih zrakoplova. Na temelju kriterija rizika utvrđene su tri kategorije: otvorena, posebna i certificirana. Otvorena kategorija koja podrazumijeva najmanji rizik može se podijeliti na 3 potkategorije (Tablica 5.3).

Tablica 5.3 Potkategorije otvorene kategorije UAS operacija

Potkategorija A1	0g < operativna masa <500g	Dozvoljeno letenje blizu ljudi i neuključenih pojedinaca
Potkategorija A2	500g ≤ operativna masa < 2kg	Dozvoljeno letenje blizu ljudi do horizontalne udaljenosti od najmanje 50m
Potkategorija A3	2kg ≤ operativna masa < 25kg	Letenje izvan naseljenih područja na udaljenosti od najmanje 150m

Sukladno Provedbenoj uredbi Komisije (EU) svi UAS (eng. *Unmanned Aircraft Systems*) operatori moraju se registrirati kad unutar otvorene kategorije izvode operacije bespilotnim zrakoplovima dopuštene mase pri polijetanju od najmanje 250g, bespilotnim zrakoplovima koji u slučaju udara na čovjeka mogu prenijeti kinetičku energiju veću od 80 J ili bespilotnim zrakoplovima opremljenima sensorima koji mogu prikupljati osobne podatke (osim ako je riječ o bespilotnim zrakoplovima koji se smatraju igračkama). Za dobivanje potvrde osposobljenosti udaljenog pilota potrebno je polaganje teorijskog ispita.

Državna geodetska uprava (DGU) nadležno je tijelo za djelatnosti snimanja iz zraka stoga je potrebno dobiti odobrenje DGU za snimanje i uporabu zračnih snimaka. Kako bi to bilo

moguće, potrebno je dobiti suglasnost vlasnika katastarskih čestica obuhvaćenih u planu leta, u ovom slučaju Sveučilišta u Zagrebu. Odobrenje za uporabu zračnih snimaka moguće je dobiti tek nakon dostavljanja cjelokupno snimljenog materijala na pregled zajedno s odgovarajućom dokumentacijom (URL 25). Ishodene dozvole nalaze se u prilogima 2-5.

Let bespilotnom letjelicom potrebno je prijaviti Jedinici za upravljanje zračnim prostorom (eng. *Airspace Management Cell* – skraćeno AMC) te rezervirati zračni prostor.

#### 5.4.2 Rekognosciranje terena i postavljanje kontrolnih točaka

Podaci prikupljeni bespilotnom letjelicom georeferencirani su korištenjem ugrađenih GNSS sustava te inercijalnih senzora. Dobiveni modeli pri tome imaju visoku relativnu točnost, međutim apsolutna točnost modela, odnosno njegov položaj na Zemlji, može varirati i do nekoliko metara. Najveće odstupanje javlja se duž Z osi koordinatnog sustava koja predstavlja visinu. Kako bi se povećala točnost dobivenog modela, koriste se orijentacijske točke (eng. *Ground Control Points*, skraćeno GCP): osnovne zadane i kontrolne točke. To su točke koje se mogu identificirati na snimku, s određenim koordinatama u službenom koordinatnom sustavu. Osnovne zadane točke koriste se za povezivanje bloka (dva ili više zračnih snimaka koji se međusobno preklapaju) s referentnim koordinatnim sustavom i izjednačenje bloka aerotriangulacije dok se kontrolne točke (eng. *Check points*) koriste za iskazivanje točnosti aerotriangulacije tj. kontrolu orijentiranog modela. Sve orijentacijske točke moraju biti izmjerene geodetskim metodama mjerenja koje osiguravaju traženu točnost i pouzdanost (URL 26). Moraju biti vidljive iz zraka stoga je potrebna prikladna signalizacija poput kontrastnih uzoraka ili križeva. Potrebne su minimalno tri kontrolne točke dok je za optimalne rezultate preporučeno korištenje 5 točaka. Postavljaju se na rubovima područja snimanja te u središtu, a za područja nepravilnih oblika kao i za veće visinske promjene poželjno je korištenje dodatnih točaka (URL 27).

Prije snimanja na terenu su utvrđene visine zgrada uporabom daljinomjera dok je visina drveća procijenjena. Poznavanje visine prepreka bitno je kako bi se podesila optimalna visina leta bespilotne letjelice. Također su obilaskom terena utvrđene najpogodnije lokacije za postavljanje kontrolnih točaka. Ukupno je odabrano 10 lokacija za kontrolne točke na području od interesa (Slika 5.4 Slika 5.4). Prilikom odabira potrebno je voditi računa da budu vidljive iz zraka te da se mogu identificirati na snimkama stoga se ne smiju postavljati ispod drveća ili drugih prepreka. Moraju biti stabilizirane i postavljene na mjestima na kojima nema opasnosti od njihova uništavanja tijekom snimanja.





Slika 5.4 Lokacije kontrolnih točaka

Ukupno je korišteno 10 točaka te su za potrebe snimanja izrađene signalizacijske oznake; crno bijele ploče s crvenim obrubom čije središte označava izmjerenu točku (Slika 5.5). Oznake su stabilizirane na zemlji. Dvije točke koje se nalaze na asfaltiranoj površini označene su križnom oznakom korištenjem crvenog spreja.



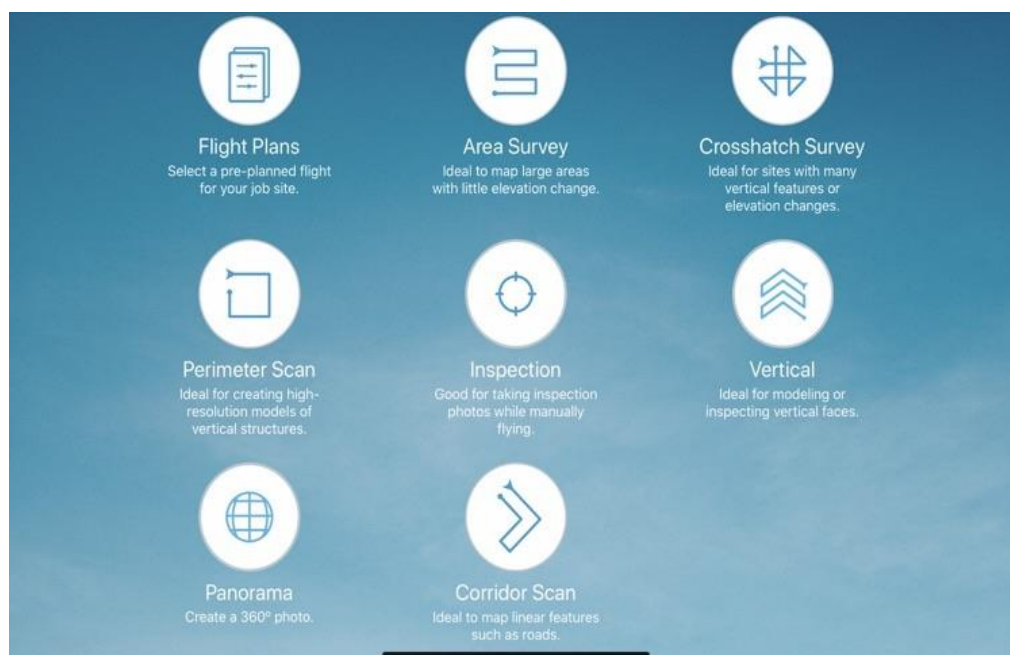
Slika 5.5 Signalizacijska oznaka na kontrolnoj točki

Korištenjem GPS RTK uređaja uspostavljena je veza na državnu mrežu CROPOS. Umreženi sustav 33 referentne GNSS stanice na području Republike Hrvatske omogućuje kontinuirana GNSS mjerenja koja se računski obrađuju u kontrolnom centru, a konačni rezultati se zatim dostavljaju korisnicima na terenu mobilnim internetom (GPRS/GSM). Postoje tri vrste CROPOS usluga: diferencijalni servis pozicioniranja u realnom vremenu (DPS) s točnošću ispod 1 m, visokoprecizni servis pozicioniranja u realnom vremenu (VPPS) centimetarske točnosti i geodetski precizni servis pozicioniranja (GPPS) subcentimetarske točnosti (URL 28).

U ovom je slučaju korišten VPPS. Svaka točka izmjerena je s 20 intervala od 1 sekunde pri čemu je osigurana visoka točnost dobivenih 3D koordinata.

### 5.4.3 Programiranje optimalnih putanja bespilotne letjelice u Site Scan for ArcGIS softveru

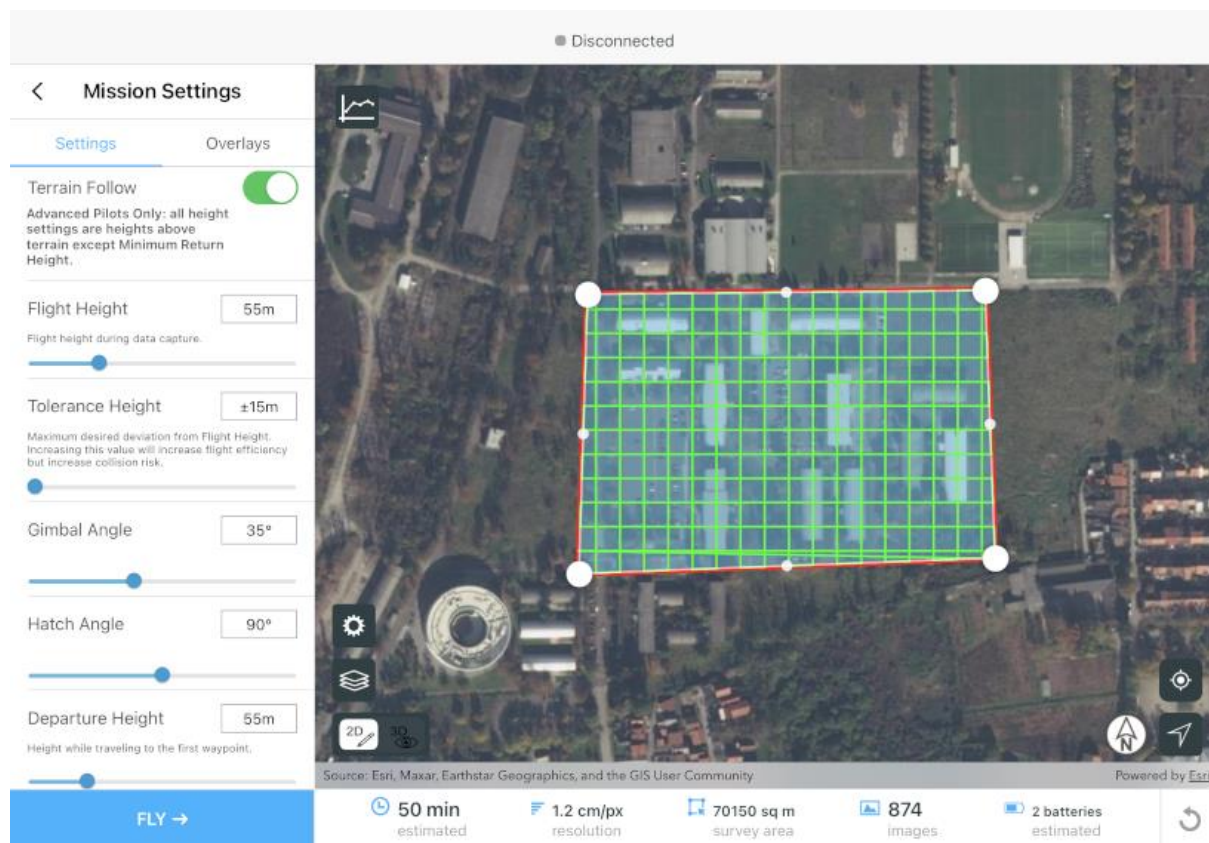
SiteScan for ArcGIS je proizvod Esri organizacije. Omogućuje planiranje i izvršavanje leta te upravljanje podacima leta i metapodacima, sigurne i efikasne letove, generiranje 2D i 3D podataka i analitičkih proizvoda. Sastoji se od dvije aplikacije. Site Scan Flight Planning je aplikacija za planiranje i kontrolu leta za operatere drona na iOS mobilnom operacijskom sustavu (iPad), dok je SiteScan Manager – web aplikacija koja pruža mogućnosti obrade, upravljanja i analiziranja snimaka drona. SiteScan Flight Planning pruža cjelovito rješenje za planiranje i izvršavanje leta u svrhu prikupljanja snimki područja od interesa. Definiranjem načina leta, putanje bespilotne letjelice te odgovarajućih parametara leta, moguće je pokrenuti autonoman let koji se može pratiti na zaslonu iPad-a te u bilo kojem trenutku prekinuti (URL 29). SiteScan nudi 7 načina letova koji su prilagođeni pojedinim svrhama snimanja. *Area Survey* koristi se za kartiranje velikih područja s manjim elevacijskim promjenama, *Crosshatch Survey* za područja s više vertikalnih objekata ili elevacijskih promjena, *Perimeter scan* idealan je za kreiranje modela vertikalnih struktura u visokoj rezoluciji, *Inspection* se koristi za prikupljanje inspekcijskih fotografija prilikom manualnog leta, *Vertical* za modeliranje ili inspekciju vertikalnih pročelja, *Panorama* za kreiranje fotografija u 360 stupnjeva te *Corridor Scan* za kartiranje linearnih objekata poput cesta (Slika 5.6).



Slika 5.6 Site Scan for ArcGIS – načini leta (URL 30)

Slika 5.7 prikazuje sučelje prilikom planiranja jednog od letova na području kampusa Borongaj. Na karti je moguće označiti područje koje se želi snimiti te je zatim potrebno podesiti parametre poput željene visine leta, kutova leta i kamere, preklopa snimki... Promjenom područja leta te ostalih postavki, mijenja se predviđeno vrijeme leta kao i rezolucija snimanja, broj slika koje

će biti prikupljene te broj baterija bespilotne letjelice potrebnih za izvršavanje leta. Navedene informacije također su vidljive u aplikaciji.



Slika 5.7 Sučelje Site Scan Flight Planning aplikacije

Planirani let moguće je pohraniti te naknadno izvršiti ili izmijeniti. Naredba *Fly* pokreće let uz obaveznu prisutnost internetske veze između bespilotne letjelice i daljinskog upravljača.

Za snimanje kampusa Borongaj ukupno je isplanirano 5 letova. Prvi let obuhvatio je cijelo područje od interesa pri čemu je kamera postavljena vertikalno prema tlu, odnosno, kut gimbala iznosio je 0 stupnjeva. Korišten je *Area* način leta pogodan za plošna snimanja. Bespilotna letjelica vršila je snimanje s visine od 55 m kako bi se sa sigurnošću izbjegle prepreke poput visokog drveća. Za preostale letove, područje je podijeljeno na 4 dijela. Obavljena su *Crosshatch* snimanja pod kutom od 35 stupnjeva. Vertikalna snimanja obično nisu dovoljna kako bi se generirao oblak točaka vertikalnih objekata stoga se primjenjuju kosa snimanja kako bi snimke obuhvatile i bočne strane promatranih objekata te se na taj način osiguralo dobivanje što gušćeg oblaka točaka.

Nakon pripreme željenih putanja leta, moguće je obaviti snimanje iz zraka. Snimanje Znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj pomoću bespilotne letjelice obavljeno je 20.5.2021. godine u poslijepodnevним satima. Slika 5.8 prikazuje korištenu bespilotnu letjelicu prilikom polijetanja.



Slika 5.8 Snimanje Znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj

## 5.5 OBRADA PRIKUPLJENIH PODATAKA

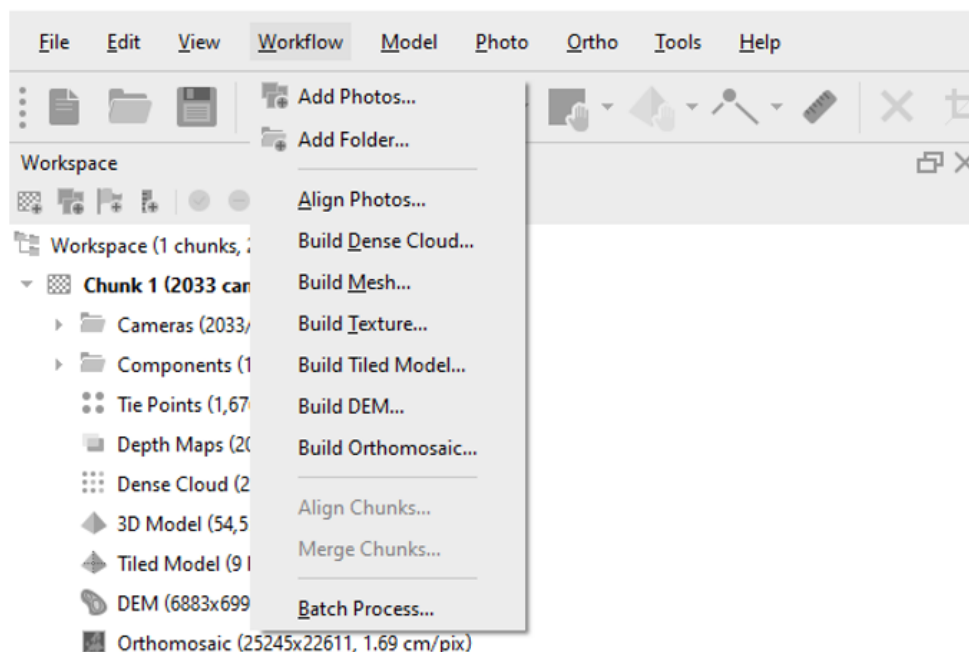
Kako bi bilo moguće dobiti reprezentativan, fotorealističan model koji je pogodan za pojedine analize, snimke prikupljene bespilotnom letjelicom je potrebno međusobno povezati te obraditi. Unatoč tome što su snimke geolocirane, potrebno ih je povezati sa prethodno uspostavljenim kontrolnim točkama kako bi se osigurala što veća položajna točnost generiranog modela.

*Agisoft Metashape Professional* samostalni je softverski proizvod koji omogućuje fotogrametrijsku obradu digitalnih slika i generiranje 3D prostornih podataka koji se mogu koristiti u GIS aplikacijama, dokumentiranju kulturne baštine te izradi vizualnih efekata kao i za neizravna mjerenja objekata u različitim mjerilima (Li i dr., 2016.). Omogućava automatsku rekonstrukciju 3D modela pri čemu je jedini uvjet prilikom snimanja postojanje zajedničkih točaka na uzastopnim snimkama. Detaljan opis svih funkcija moguće je pronaći u korisničkom priručniku (URL 31).

Tijek obrade prikupljenih fotografija uključuje sljedeće korake:

- učitavanje snimki u softver,
- pregledavanje i uklanjanje nepotrebnih snimki,
- poravnavanje kamera,
- izrada gustog oblaka točaka,
- izrada *mesha*,
- generiranje tekstura,
- izrada *Tiled* modela,
- klasifikacija gustog oblaka točaka,
- izrada digitalnog elevacijskog modela,
- izrada ortomozaika,
- izvoz rezultata.

Slika 5.9 prikazuje padajući izbornik Metashape softvera u kojem je prikazan tijek rada. Navedeni koraci odnose se na povezivanje prikupljenih snimki, generiranje fotorealističnog modela te kreiranje digitalnog elevacijskog modela i ortomozaika.



Slika 5.9 Tijek rada u Metashape softveru

Brzina izrade 3D modela ovisi o broju fotografija, ali i o ostalim parametrima poput memorije s nasumičnim pristupom (eng. *Random Access Memory*, skraćeno RAM). S obzirom na zahtjevnost obrade podataka prilikom poravnavanja slika, generiranja dubinskih karti, modela i tekstura, potrebno je korištenje hardverskih ubrzanja. Radi se o prenošenju zadataka na uređaje i hardver koji su za to specijalizirani (URL 32). Integrirana grafička kartica (eng. *Graphics Processing Unit*, skraćeno GPU) dijeli radnu memoriju s računalom, što u ovom slučaju nije dovoljno za provođenje željenih operacija, stoga je poželjno korištenje izdvojene (eng. *Dedicated*) grafičke kartice s vlastitom radnom memorijom (URL 33). Prilikom korištenja izdvojene GPU u Agisoft Metashape softveru, potrebno je onemogućiti korištenje integrirane GPU kao i središnje jedinice za obradu (eng. *Central Processing Unit*, skraćeno CPU) kako bi se postigle optimalne performanse. U ovom je slučaju korištena grafička kartica FUJITSU nVidia Quadro P2200 (5 GB GDDR5X, 4x DP).

Prvi korak obrade snimaka u Agisoft metashape softveru podrazumijeva učitavanje ukupno 2033 prethodno prikupljenih snimaka u JPG formatu. Loša kvaliteta snimaka može imati veliki utjecaj na daljnji tijek obrade stoga je potrebno provjeriti je li njihova kvaliteta na zadovoljavajućoj razini. Metashape pruža mogućnost automatske provjere kvalitete svake od snimaka pri čemu je utvrđeno da sve snimke imaju kvalitetu iznad prihvatljive granice od 0.5 jedinica. S obzirom na to da su snimke geolocirane u WGS84 referentnom koordinatnom sustavu, nužno je isti sustav podesiti i u postavkama projekta.

### 5.5.1 Poravnavanje snimki

Poravnavanje snimki (eng. *Align photos*) visoke kvalitete omogućuje određivanje pozicija kamere prilikom snimanja što rezultira oblakom točaka male gustoće (Slika 5.10). Od svih prikupljenih, samo 4 snimke nisu uspješno poravnate stoga su izostavljene iz daljnje obrade. U idućem je koraku sustav konvertiran u HTRS96/TM, referentni sustav Republike Hrvatske.



Slika 5.10 Oblak točaka male gustoće

Radi povećanja položajne točnosti, učitana je .csv datoteka s podacima dobivenim na temelju GPS izmjere kontrolnih točaka. Slika 5.11 ukazuje na značajno odstupanje modela od kontrolnih točaka pri čemu se najveće odstupanje javlja duž Z osi.



Slika 5.11 Položaj kontrolnih točki u odnosu na početni model

Iz tog je razloga nužno ručno postaviti markere na odgovarajuću poziciju. To se radi na način da se na svim snimkama koje sadrže dobro vidljivu signalizacijsku oznaku poznatih koordinata postavi marker s pripadnim rednim brojem točke. Oznaka sive zastave na snimci ukazuje na prisutnost kontrolne točke, ali tek ručnim označavanjem svake od točaka, zastava postaje zelena te se pozicija kontrolne točke uzima u obzir u daljnjoj obradi (Slika 5.12). Nakon označavanja svih točaka, ponovno se pokreće poravnavanje slika prije čega je potrebno poništiti postojeće

lokacijske i rotacijske parametre. Na taj je način dobiven oblak točaka značajno veće položajne točnosti.



Slika 5.12 Postavljanje markera

### 5.5.2 Gusti oblak točaka

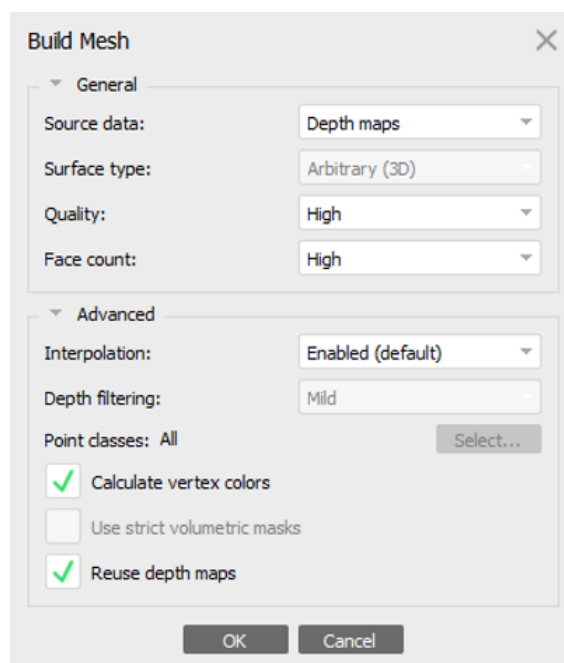
Metashape omogućuje kreiranje gustog oblaka točaka (eng. *Dense cloud*) na temelju izračunatih parametara unutarnje i vanjske orijentacije snimaka koje se međusobno preklapaju. Gustoća oblaka točaka može biti gotovo jednaka ili čak i veća od gustoće točaka prikupljenih LIDAR-om (eng. *Light Detection and Ranging*). Postavljena je visoka kvaliteta izrade koja označava generiranje karti dubina (eng. *Depth maps*) s više detalja te točnijom geometrijom, ali ujedno i dužim vremenom procesiranja. Karte dubina u računalnoj grafici označavaju slike ili slikovne kanale koji sadrže informacije o udaljenostima objekata na sceni od određene točke gledišta (URL 34). Postavljena je umjerena (eng. *mild*) razina filtriranja dubina pri čemu je omogućeno da mali detalji na snimkama ostaju sačuvani prilikom rekonstrukcije scene. S druge strane, odabir agresivne (eng. *agressive*) razine filtriranja bio bi pogodan za područja koja ne sadrže sitne detalje koje bi bilo potrebno prikazati. Slika 5.13 prikazuje generirani gusti oblak točaka.



Slika 5.13 Gusti oblak točaka

### 5.5.3 Mesh

U 3D računalnoj grafici, *mesh* odnosno poligonalna mreža, označava kolekciju čvorova, bridova i lica koji definiraju oblik poliedarskih objekata (URL 35). Izradom mesha dobiva se geometrijska struktura modela željenog područja. Za dobivanje najoptimalnijih rezultata, potrebno je postaviti odgovarajuće parametre prilikom pokretanja izrade mesh-a (Slika 5.14).



Slika 5.14 Build Mesh parametri



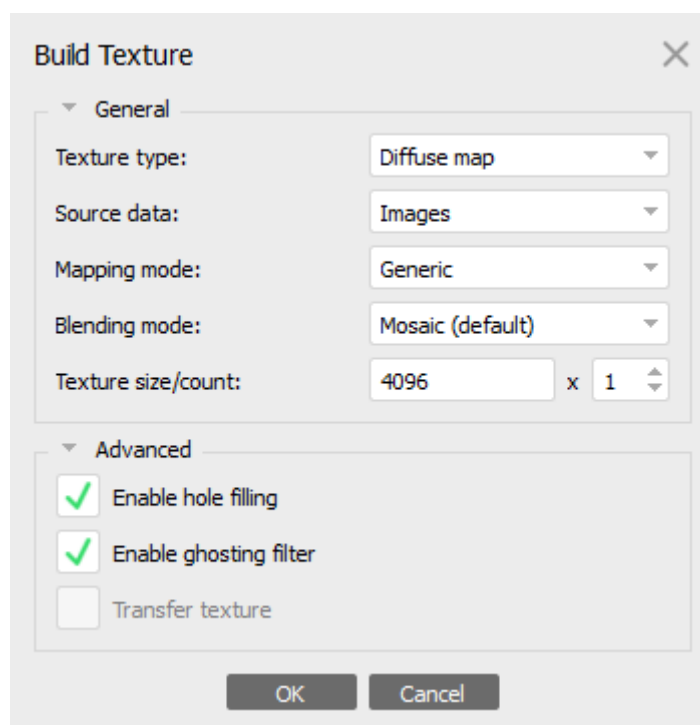
U ovome slučaju mesh je izrađen na temelju karte dubina. Ova postavka osigurava efikasno korištenje informacija izravno iz fotografija umjesto iz oblaka točaka te je preporučena za modeliranje svih tipova objekata, naročito zatvorenih poput kipova ili zgrada. Postavljanjem više razine kvalitete izrade dobiva se prikaz s više detalja i točnijom geometrijom, ali se pritom vrijeme procesiranja značajno produžuje. Najviša moguća razina kvalitete osigurava procesiranje originalnih snimki dok se sa svakom nižom razinom kvalitete, veličina korištenih snimki umanjuje za faktor 4 (dužina odnosno širina snimke umanjuju se dva puta prilikom obrade). Za potrebe izrade 3D modela kampusa Borongaj odabrana je druga najviša - visoka razina kvalitete. Broj lica (eng. *Face count*) odnosno maksimalan broj poligona u rezultirajućem meshu postavljen je na najvišu razinu. Na taj je način osigurana veća gustoća mreža te pritom realističniji prikaz područja. Omogućena je i interpolacija točaka prilikom izrade modela kao i izračun boja vrhova generirane mreže. S obzirom da su prethodno već izrađene karte dubina, odabrana je i opcija njihova ponovnoga korištenja (eng. *reuse depth maps*). Slika 5.15 prikazuje rezultat procesiranja.



Faces: 53,639,077 vertices: 26,834,900

Slika 5.15 Mesh model kampusa Borongaj

Kako bi se dobio fotorealističan model interesnog područja, dobivenoj poligonalnoj mreži potrebno je dodati teksture. Naredba *Build Texture* omogućava izradu različitih tipova tekstura dobivenih postavljanjem željenih parametara (Slika 5.16).



Slika 5.16 Postavljeni parametri za Build Texture naredbu

Odabrani tip teksture *Diffuse map* izrađuje teksture na osnovu boja prisutnih na površini modela. Kao izvor podataka potrebnih za obradu korištene su poravnate snimke (eng. *Images*), a *Generic* tip kartiranja osigurava uniformnu izradu tekstura, neovisnu o tipu površina unutar modela. Odabrani *Mosaic* označava tip stapanja snimaka koji se sastoji od dvije komponente. Stapanje niske frekvencije osigurava preklapanje slika kako bi se izbjegle vidljive granice između njih. Stapanje visoke frekvencije s druge strane omogućava detaljan prikaz u svakoj točki korištenjem slika prilikom čijeg je snimanja kamera bila najbliža poziciji normale u odgovarajućoj točki. *Enable hole filling* omogućava izbjegavanje sitnih rupa u teksturi modela dok se *Enable ghosting filter* koristi kako bi se izbjegli lošiji rezultati uzrokovani tankim strukturama te objektima u pokretu. Slika 5.17 prikazuje dobiveni rezultat.



*Slika 5.17 Model nakon korištenja Built Texture naredbe*

Naredba *Build Tiled Model* omogućuje izradu modela čija je tekstura generirana korištenjem prikupljenih fotografija u originalnoj rezoluciji. Često se upotrebljava prilikom modeliranja gradskih površina zbog pružanja odgovarajuće vizualizaciju 3D modela većih područja u visokoj rezoluciji. Prikaz je izrađen na temelju karte dubina s visokom kvalitetom te visokom razinom broja lica modela. Slika 5.18 pruža isti prikaz kao i prethodna no može se uočiti da je izradom *Tiled* modela dobiven detaljniji model veće oštine.



*Slika 5.18 Tiled model*

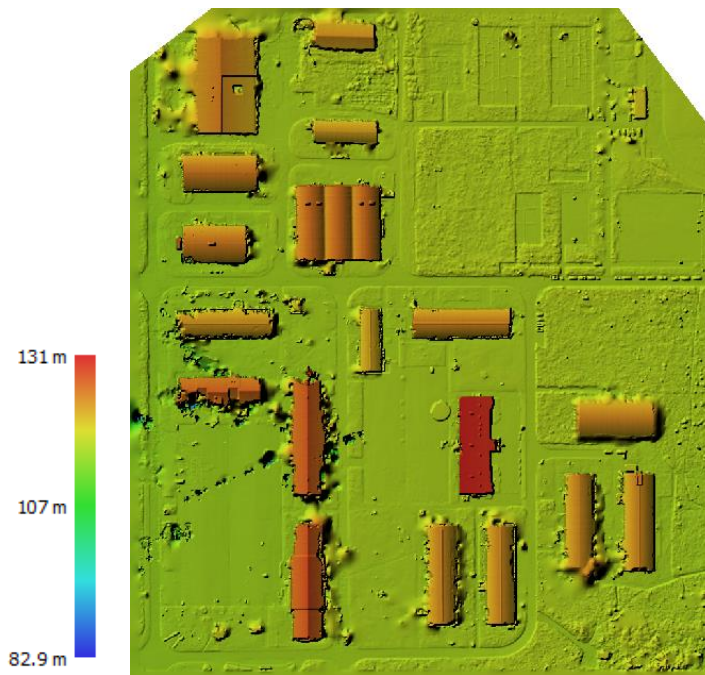
### 5.5.4 Digitalni elevacijski model

Digitalni elevacijski model (eng. Digital elevation model - DEM) je 2.5D model površine prikazan u obliku pravilne mreže, s visinskim vrijednostima pohranjenih za svaku ćeliju u mreži (URL 31). U Metashape-u DEM se može rasterizirati iz oblaka točaka, mesha ili iz dubinskih karti. Moguće je izraditi dva tipa visinskih modela. Digitalni model površina (eng. *Digital surface model*, skraćeno DSM) je 2.5D model Zemljine površine sa svim objektima koji se na njoj nalaze dok digitalni model terena označava голу zemljinu površinu bez ikakvih objekata. Digitalni model zgrada (eng. *Digital building model*, skraćeno DBM) s druge strane nastaje prikupljanjem podataka o izgrađenim objektima i najbolje se može opisati kao skup pojedinačnih 3D objekata koji nisu međusobno povezani (Cetl, 2013.) Kako bi se razlikovale točke tla od točaka različitih objekata na tlu potrebno je izvršiti klasifikaciju gustog oblaka točaka. Metodom strojnog učenja Metashape omogućuje semantičku klasifikaciju točaka nakon čega je moguća daljnja interpretacija na visokoj razini. U ovome su slučaju točke razvrstane u 6 klasa: tlo, visoka vegetacija, zgrade, ceste, auta te izgrađeni objekti (Slika 5.19 Slika 5.19 )



Slika 5.19 Klasifikacija gustog oblaka točaka

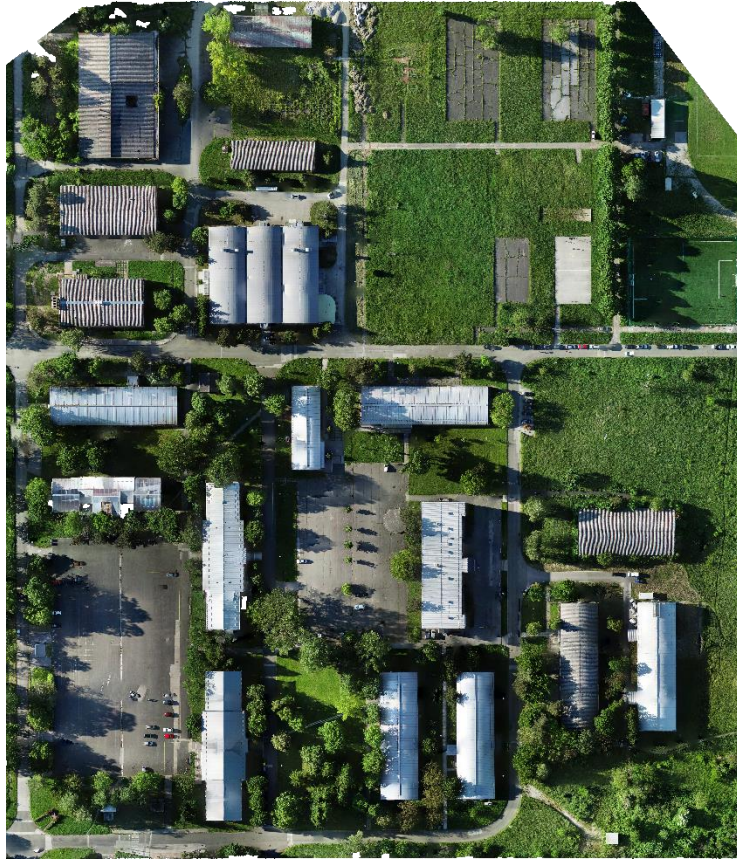
Za izradu digitalnog elevacijskog modela odabran je geografski tip projekcije HTRS96/TM. S obzirom na to da je svrha izrade ovoga modela ispitivanje solarnog potencijala zgrada, dovoljni su podaci o visinama zgrada te površine tla. Kako bi bilo moguće iskoristiti samo željene visinske podatke prilikom izrade DEM-a, za izvor podataka potrebno je odabrati gusti oblak točaka te označiti klase od interesa. Izabrane su zgrade, tlo, ceste te izgrađeni objekti. Slika 5.20 Slika 5.20 prikazuje dobiveni rezultat.



Slika 5.20 Digitalni elevacijski model

### 5.5.5 Ortomozaik

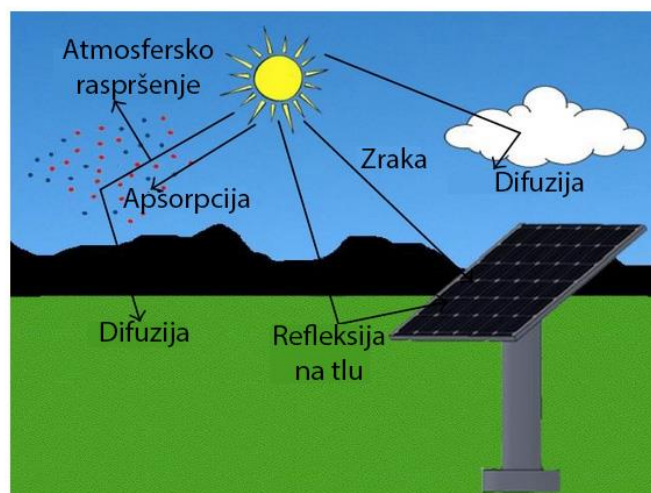
Ortomozaik je kombinirana slika nastala spajanjem originalnih snimaka bez vidljivih granica, projiciranih na površinu objekta i transformiranih u odabranu projekciju (URL 31). Poligonalni model (*mesh*) ili DEM mogu biti izabrani kao površina na koju će se slike projicirati. Za izradu je odabrana geografska projekcija, HTRS96/TM, a za površinu na temelju koje se izrađuje ortomozaik izabran je *mesh*. Postavljen je *Mosaic* način povezivanja slika i omogućeno je popunjavanje rupa na prikazu. *Ghosting filter* u ovoj je obradi isključen, a označava isključivo uporabu snimaka snimljenih okomito na površinu snimanja te izostavljanje svih ostalih snimki iz obrada. Slika 5.21 Slika 5.21 prikazuje dobiveni ortomozaik.



*Slika 5.21 Ortomozaik*

## 6. ANALIZA SOLARNOG POTENCIJALA PODRUČJA KAMPUSA

Ugradnja fotonaponskih sustava podrazumijeva velike investicije stoga je neophodno uzeti u obzir sve čimbenike koji ukazuju na isplativost ovakvoga projekta. Geografski položaj lokacije, prostorna orijentacija fotonaponskih sustava i klimatski uvjeti poput broja sunčanih dana u godini, stanja te zagađenosti atmosfere važni su faktori koje je potrebno razmotriti. Sunčevo zračenje sastoji se od snopa elektromagnetskih valova čijim međudjelovanjem s plinovima i česticama u atmosferi može doći do apsorpcije (oko 18%) i refleksije (oko 10%) dok preostali dio nesmetano prolazi kroz atmosferu (oko 70%). Slika 6.1 prikazuje put sunčevih zraka do fotonaponskog sustava. Apsorpcija zračenja u ionosferi, ozonskom omotaču i nižim dijelovima atmosfere, kao i raspršivanje na suhom zraku, vodenoj pari i česticama nečistoće, dovodi do slabljenja zračenja koje dopire do Zemljine površine. Direktno zračenje označava zračenje koje dolazi direktno iz Sunca, a difuzno zračenje pojam je koji označava zračenje nastalo raspršivanjem. Ukupno ili globalno zračenje sastoji se od dvije komponente: direktnog i difuznog zračenja te se izražava mjernom jedinicom  $W/m^2$ . Pojam insolacije odnosi se na gustoću sunčevih zraka na određenoj površini, uz određenu orijentaciju te određeno vrijeme. Mjerna jedinica koja se koristi za insolaciju je  $Wh/m^2$  ili  $kWh/m^2$  (Umihanić i dr., 2015). Korištenjem Digitalnog elevacijskog modela prilikom analize solarnog potencijala moguće je uzeti u obzir topografske karakteristike (nadmorska visina, nagib, pogled na nebo) koje imaju važan utjecaj na distribuciju solarnog zračenja. Uz relativne položaje Sunca, za svaku točku modela moguće je procijeniti direktno i difuzno zračenje. Na temelju toga moguće je procijeniti i da li je globalna radijacija sastavljena od difuzne i direktne (Sunce nije zaklonjeno) ili samo od difuzne radijacije (Sunce je zaklonjeno) (Tovar-Pescador, 2006.).

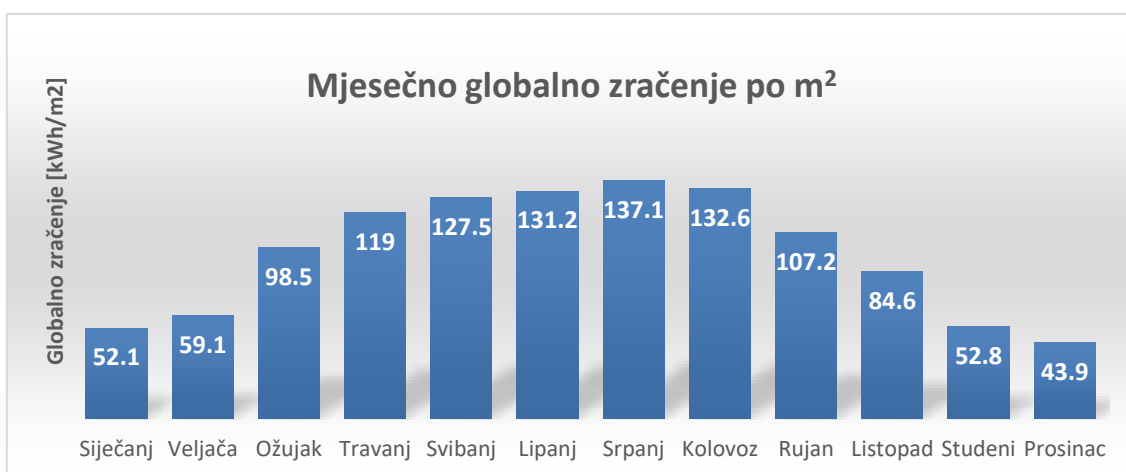


Slika 6.1 Totalno solarno zračenje (prilagođeno prema URL 36)

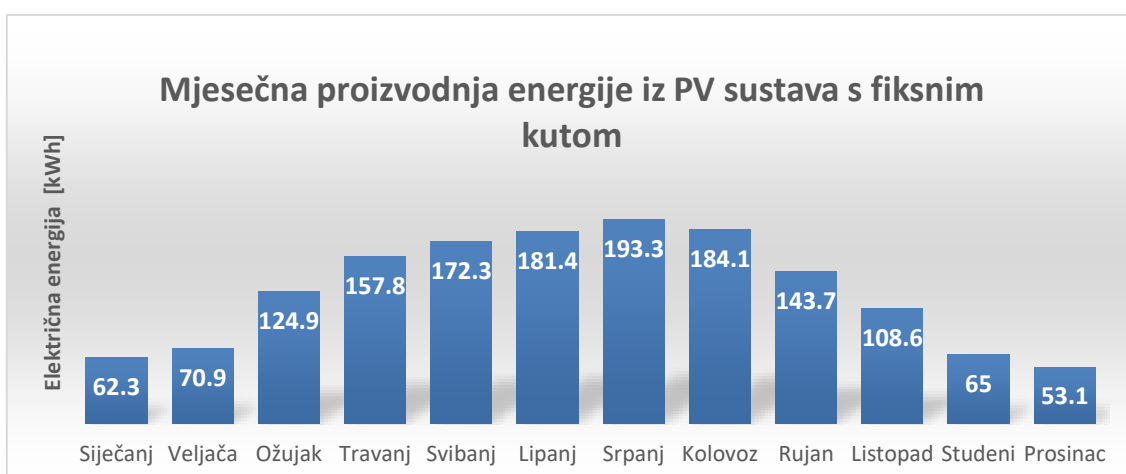
### 6.1 FOTONAPONSKI GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAV

Fotonaponski geografski informacijski sustav (eng. *Photovoltaic Geographical Information System*, skraćeno PVGIS) pruža besplatan i otvoren pristup podacima o fotonaponskom potencijalu za različite tehnologije i konfiguracije mrežnih i samostalnih sustava, solarnom zračenju i temperaturi u obliku mjesečnih prosjeka ili dnevnih profila, tipičnim meteorološkim

godinama te pruža karte s prikazima solarnih resursa i fotonaponskog (eng. *Photovoltaics*, skraćeno PV) potencijala za određene zemlje ili regije. *Calculation of grid-connected PV system performance* alat omogućava izračun količine energije koju fotonaponski sustav na određenom području može proizvesti (URL 37). Prvi je korak označavanje željene lokacije. Pri ovoj analizi označena je točka na sredini područja koje je obuhvaćeno prilikom snimanja iz zraka. Između dostupnih baza podataka solarne radijacije odabrana je baza za Europu – PVGIS-Sarah koja sadrži podatke za vremenski period između 2005. i 2016. godine. Za parametre poput ukupne energije koju PV paneli mogu proizvesti unutar standardnih uvjeta pri testiranju te procjene gubitaka energije sustava odabrane su zadane vrijednosti: 1 kWp odnosno 14%. Ukoliko se odabere izračun za fotonaponski sustav koji je fiksno postavljen na određenu površinu, moguće je dobiti podatke o najoptimalnijem nagibu i azimutu panela. Na promatranom području, najefikasnijim bi se pokazalo postavljanje solarnih panela pod nagibom od 36° i azimutom od 1°. Kao rezultat dobiju se vrijednosti prosječne mjesečne sume globalne radijacije po kvadratnom metru koje sustav prima [kWh/m<sup>2</sup>] (Slika 6.2), prosječne mjesečne proizvodnje električne energije [kWh] (Slika 6.3) te standardne devijacije mjesečne proizvodnje energije uzrokovane varijacijama između godina.



Slika 6.2 Mjesečno globalno zračenje na području kampusa Borongaj – PVGIS



Slika 6.3 Potencijalna proizvodnja energije na području kampusa Borongaj- PVGIS



Količina zračenja koja pristigne na promatrano područje u 1 godini prema dobivenim podacima iznosi 1517.34 kWh/m<sup>2</sup>. Prema PVGIS izračunu, godišnja količina energije koju bi solarni paneli na području kampusa mogli proizvesti iznosi 1145.59 kWh. Ukupni gubitak energije iznosi 24,5%.

## 6.2 ANALIZA U SAGA GIS SOFTVERU

Softver SAGA (eng. *System for Automated Geoscientific Analyses*) GIS (eng. *Geographic Information System*) je softver koji sadrži module pogodne za provođenje analize solarnog potencijala. Radi se o besplatnom softveru otvorenog koda dizajniranom za jednostavnu i efikasnu uporabu algoritama za automatske geoznanstvene prostorne analize. SAGA GIS osigurava pristupačno korisničko sučelje s brojnim vizualizacijskim mogućnostima (URL 38). Jedna od brojnih analiza koje je moguće provesti odnosi se na određivanje potencijalne dolazne solarne energije (eng. *Potential incoming solar analysis*). Radi se o izračunu insolacije odnosno mjere solarne energije primljene u određenom vremenu na određenoj površini izražene u kWh/m<sup>2</sup>. Za razliku od PVGIS-a solarna analiza u ovom softveru omogućuje vizualizaciju dobivenih vrijednosti na određenoj podlozi. Korištenjem prethodno generiranog digitalnog elevacijskog modela, moguće je dobiti uvid u količinu zračenja koja bi mogla doprijeti do pojedinih krovova na zgradama promatranog kampusa. Količina primljenog zračenja ovisi o nagibu kao i orijentaciji krova stoga ovakav oblik prikaza pruža uvid u najoptimalnije lokacije za ugradnju solarnih panela.

Kako bi provođenje analize bilo moguće, potrebno je odrediti ulazne podatke koji će biti korišteni. Tablica 6.1 prikazuje skupove podataka potrebne za generiranje željenih rezultata, dok Tablica 6.2 prikazuje vrijednosti korištene prilikom analize.

Tablica 6.1 Ulazni skup podataka

Skup podataka	Format datoteke	Ekstenzija datoteke	Tip datoteke
Digitalni elevacijski model (DEM) 6883X6996, 10cm/pix	TIF	.tif	Raster
Ortofoto	TIF	.tif	Raster
Zgrade kampusa - poligoni	Shapefile	.shp	Vektor

Tablica 6.2 Korišteni parametri

Parametar	Vrijednost
Konstanta solarnog zračenja [W/m <sup>2</sup> ]	1367
Vremenski period	Cijela godina/Ožujak/Srpanj/Prosinac
Rezolucija [d]	5

Vremenski raspon [h]	0; 24
Visina atmosfere [m]	12000 m
Tlak vodene pare [mbar]	10

Prvi korak prilikom određivanja solarnog potencijala određenog područja podrazumijeva prethodnu uporabu alata SVF (eng. *Sky view factor*). Riječ je o omjeru u točki prostora između vidljivog neba i hemisfere centrirane oko analizirane lokacije (Oke, 1981). Ukoliko SVF iznosi 0, cijelo nebo zaklonjeno je preprekama, dok s druge strane SVF vrijednosti 1 u određenoj točki ukazuje da nema prepreka. Ukoliko postoje prepreke koje blokiraju dijelove neba, SVF će biti između 0 i 1.

Solarni potencijal ovisi o brojnim faktorima pri čemu vremenska komponenta ima najveći utjecaj. Količina sunčevog zračenja značajno varira u ovisnosti o dobu dana kao i između pojedinih mjeseci u godini. Kako bi se prikazale postojeće varijacije analiza je provedena za mjesece u kojima je, prema PVGIS podacima, solarni potencijal minimalan, maksimalan te prosječan. Također je provedena i analiza godišnjeg potencijala za 2020. godinu (eng. *Potential Annual Analysis*).

Analiza je izvršena na digitalnoj podlozi koja je generirana u Metashape softveru. Radi se o elevacijskom modelu kampusa na kojemu su klasifikacijom izdvojeni samo površina tla, zgrade i izgrađeni objekti. Korišten je prethodno izrađen *Sky View Factor* prikaz, a za iznos solarne konstante korištena je vrijednost  $1367 \text{ W/m}^2$  (URL 39). Za ožujak, srpanj i prosinac 2020. godine odabrana je analiza za raspon dana unutar cijelog mjeseca s vremenskom rezolucijom od 5 dana. Podaci su razmatrani za svaki od analiziranih dana u periodu od 0 do 24 sata s rezolucijom od 30 minuta.

Atmosfera ima značajan utjecaj na solarno zračenje na Zemljinoj površini. Apsorpcija, raspršivanje i refleksija zračenja, promjene spektralnih značajki zračenja, difuzne ili indirektna komponente te lokalne varijacije u atmosferi poput vodene pare, oblaka i zagađenja, bitni su faktori u fotonaponskim sustavima (URL 40). Atmosferski efekti uzeti u obzir prilikom ove analize su visina atmosfere te tlak vodene pare. Visina iznosi 12000 m dok je za tlak vodene pare korištena vrijednost od 10 mbar. Za analize svih mjeseci korištene su jednaki ulazni parametri, a jedini varijabilni faktor bio je razmatrani raspon dana. Kreirani su prikazi s podacima iznosa difuznog, direktnog te totalnog zračenja.

Analiza godišnjeg potencijala s druge strane zahtijeva manji broj ulaznih podataka. Definirana je jednaka podloga kao i u prethodnoj analizi. Analiza je provedena u ukupno 14 koraka s vremenskom rezolucijom od 0.5 sati za 2020. godinu. Radi se o zahtjevnom izračunu stoga je za generiranje rezultata potrebno značajno više vremena. Rasterski prikazi difuzne, direktne te totalne radijacije ponovno se dobivaju kao izlazni rezultati. Za svaku analizu ujedno se dobiju i podaci o dobivenim vrijednostima među kojima su i iznosi maksimalnih, minimalnih i prosječnih vrijednosti.

### 6.3 REZULTATI ANALIZE

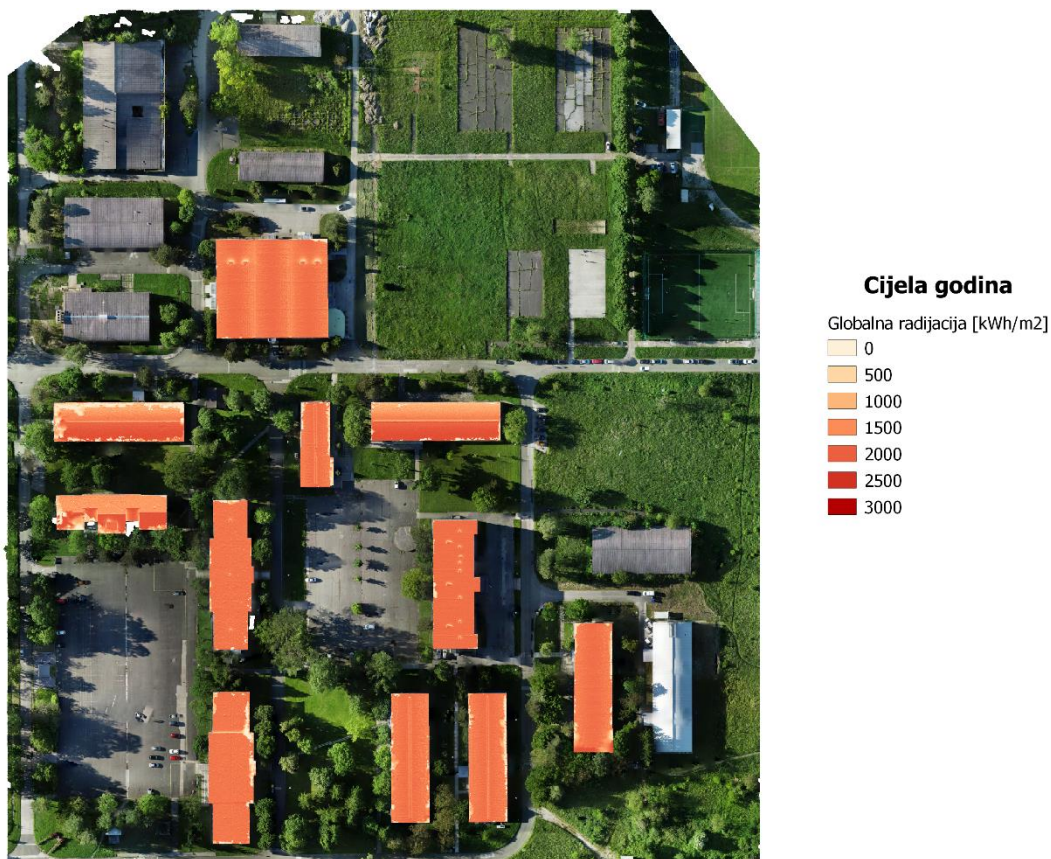
S obzirom na to da je cilj ovog istraživanja bio određivanje solarnog potencijala Znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj, odnosno isplativosti ugradnje solarnih panela na zgrade kampusa, potrebno je uzeti u obzir solarni potencijal koji se odnosi na krovove zgrada na promatranom području. SAGA GIS pruža mogućnost izrezivanja dijelova karti solarnog potencijala korištenjem vektorskog sloja s definiranim poligonima. Na ovaj je način moguće dobiti solarni potencijal ograničen isključivo na odabrane površine. Za tu je svrhu u softveru QGIS 3.16.8 ručnom vektorizacijom ortomozaika dobivenog u Metashape softveru, izrađen sloj koji sadrži poligone željenih zgrada. Za korištenje alata *Clip Grid with Polygon* potrebno je definirati rastersku datoteku koju se želi izrezati. Za potrebe ove analize korištene su karte difuzne, direktne te totalne radijacije. Također, potrebno je odabrati i *shapefile* datoteku s poligonima koji predstavljaju promatrane zgrade, a koju je prethodno potrebno učitati u SAGA GIS softver.

Slika 6.4 prikazuje difuznu i direktnu radijaciju za razdoblje cijele godine. Može se zaključiti da difuzno zračenje ima značajno manji udio u totalnom zračenju koji pristiže do površine kampusa.



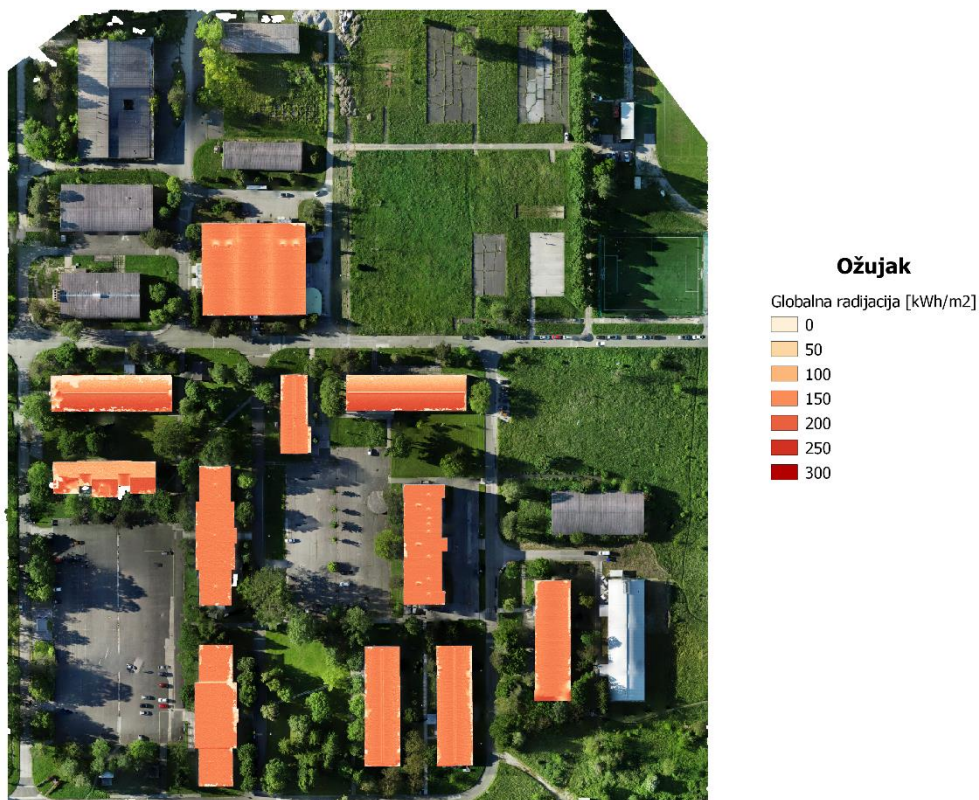
Slika 6.4 Difuzna i direktna radijacija za cijelu 2020. godinu na području kampusa Borongaj

Slika 6.5. prikazuje globalnu radijaciju za cijelu godinu. Iznos godišnje radijacije može se dobiti i zbrajanjem vrijednosti za sve mjeseci u godini. U QGIS-u moguće je dobiti statističke podatke za svaki rasterski sloj korištenjem algoritma *Raster Layer Statistics*. Dobiju se informacije o minimalnoj i maksimalnoj vrijednosti koje se pojavljuju u određenom sloju. U ovom slučaju radi se o vrijednostima solarnog zračenja na promatranom području. Također je moguće iščitati i ukupan zbroj svih vrijednosti, srednju vrijednost, standardno odstupanje te sumu kvadrata. Raspon vrijednosti promatranog rastera proteže se između 0 i 2224 kWh/m<sup>2</sup> dok srednja vrijednost iznosi 1632 kWh/m<sup>2</sup>.



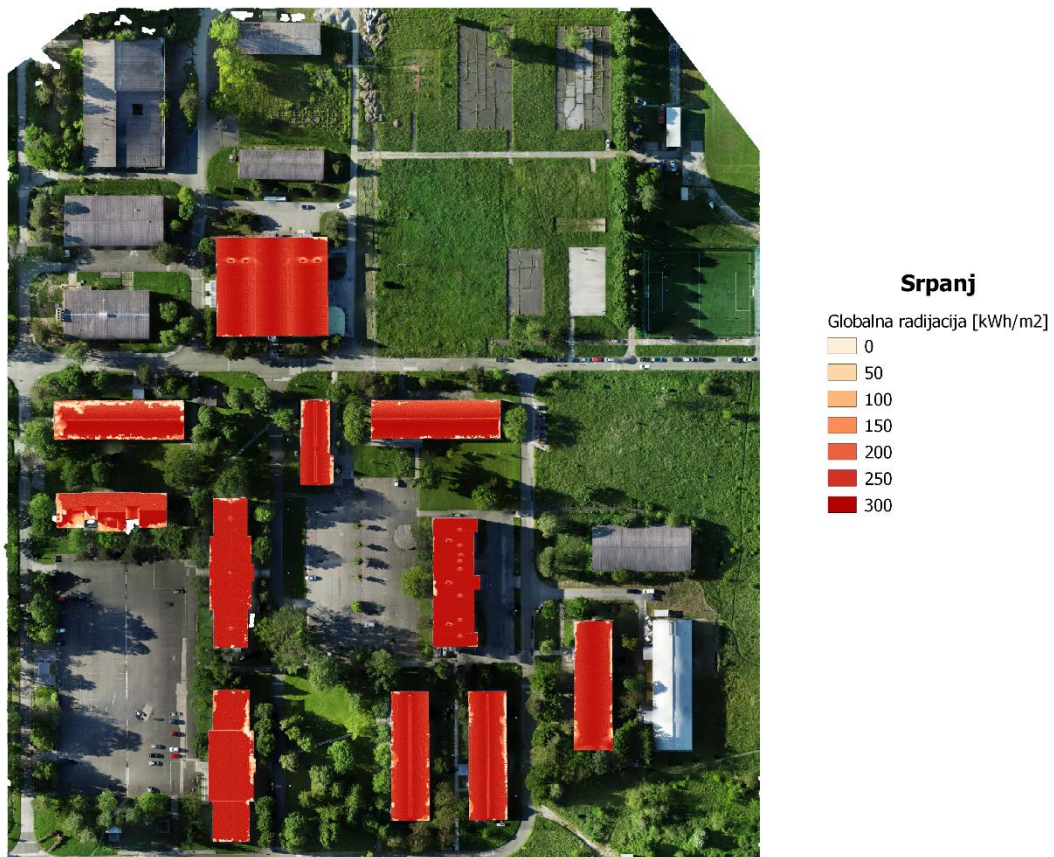
Slika 6.5 Globalna radijacija za cijelu 2020. godinu na području kampusa Borongaj

Slika 6.6 ukazuje na globalnu radijaciju na području kampusa za mjesec ožujak 2020. godine. Vrijednosti variraju između 0 i 229 kWh/m<sup>2</sup>. Iz priloženog prikaza moguće je uvidjeti da se najviše vrijednosti u iznosu iznad 200 kWh/m<sup>2</sup> javljaju na dijelovima krovova usmjerenim prema jugu, dok se najniže vrijednosti javljaju na dijelovima nagnutim prema sjeveru. Zgrade koje se pružaju u smjeru jug-sjever, primaju između 150 do 200 kWh/m<sup>2</sup>. Uzimajući u obzir vrijednosti svih piksela sloja globalne radijacije, srednja vrijednost iznosi 148 kWh/m<sup>2</sup>.



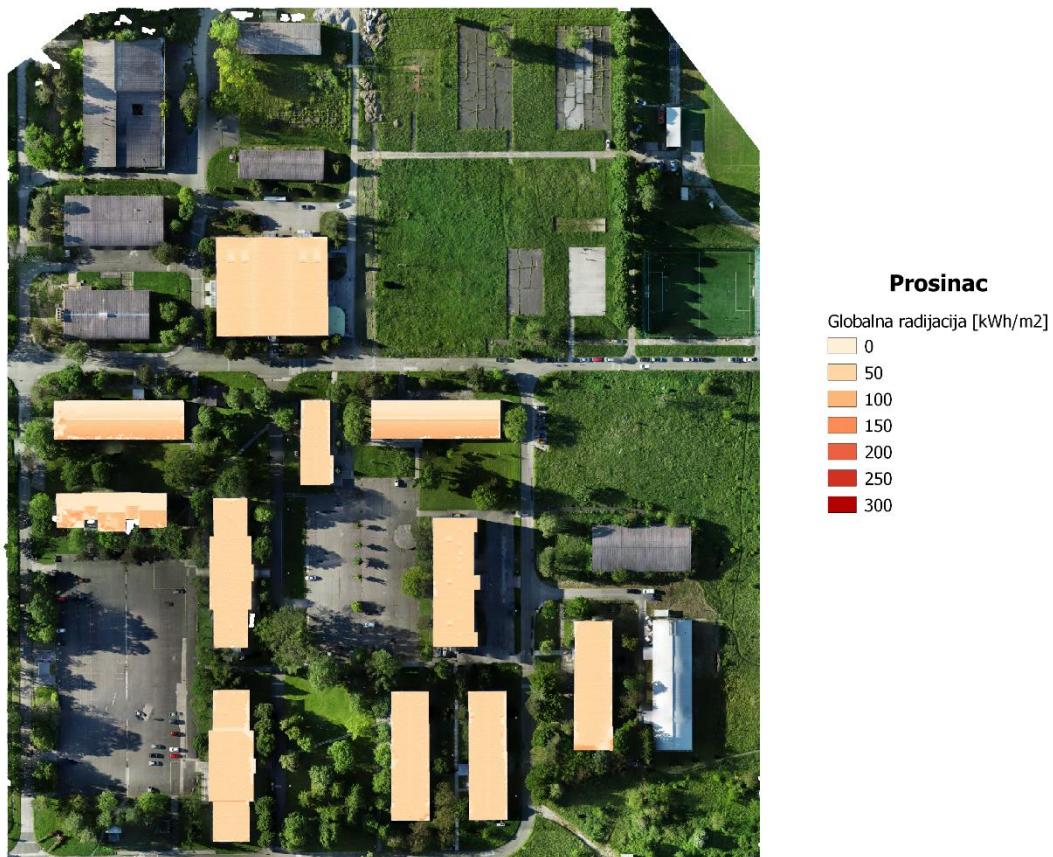
Slika 6.6 Globalna radijacija u ožujku 2020. godine na području kampusa Borongaj

Slika 6.7 ukazuje na veće vrijednosti solarnog zračenja za vrijeme mjeseca srpnja iste godine. Radi se o rasponu između 0 i 290 kWh/m<sup>2</sup>. Vrijednosti su ponovo najviše na krovovima usmjerenim prema jugu no visoke vrijednosti prisutne su i na ravnim krovovima te vrhovima ostalih krovova. Srednja vrijednost iznosi 250 kWh/m<sup>2</sup>.



Slika 6.7 Globalna radijacija u srpnju 2020. godine na području kampusa Borongaj

Prosinac donosi najmanje vrijednosti globalne radijacije. Slika 6.8 prikazuje raspon između 0 i 123 kWh/m<sup>2</sup>. Najviše vrijednosti javljaju se i u ovom slučaju na južnim stranama dok su na sjeveru prisutne iznimno niske vrijednosti. Ostali krovovi primaju podjednako zračenje u vrijednosti oko 50 kWh/m<sup>2</sup>. Statistički podaci za korišteni rasterski sloj ukazuju na to da je srednja vrijednost svih piksela 48 kWh/m<sup>2</sup>.



Slika 6.8 Globalna radijacija u prosincu 2020. godine na području kampusa Borongaj

#### 6.4 EFIKASNOST SOLARNIH PANELA

Solarni paneli prikupljeno zračenje pretvaraju u istosmjernu struju (eng. *Direct current*, skraćeno DC). Međutim, postoji niz faktora zbog kojih dolazi do određenog gubitka energije prilikom navedenog procesa (URL 41).

- Konverzija energije - kako bi se prikupljena energija mogla koristiti, potrebno ju je pretvoriti u izmjeničnu struju (eng. *Alternating current*, skraćeno AC). Prilikom pretvorbe, dolazi do gubitka manje količine energije.
- Testiranje u idealnim uvjetima - testiranja solarnih panela odvijaju se u pažljivo kontroliranim uvjetima s optimalnim osvjetljenjem i temperaturom. Uvjeti u kojima se paneli koriste razlikuju se od onih u laboratorijima.
- Vrijeme dana i broj sunčanih sati - paneli su najefikasniji tijekom sredine dana za razliku od jutra i večeri.
- Orijehtacija i kut postavljanja panela – položaj panela uvjetuje količinu prikupljene energije.
- Vremenski uvjeti – veće količine energije generiraju se tijekom sunčanih, vedrih dana.
- Temperatura - Za svaki stupanj zagrijavanja iznad 25°C, paneli gube oko 0.5% izlazne energije.
- Lokacija – količina prikupljenog Sunčevog zračenja najviše ovisi o lokaciji panela.
- Stanje panela – slojevi prašine i drugih nečistoća mogu umanjiti efikasnost panela i do 2%.

S obzirom na navedene faktore, koeficijent kojim se opisuju gubitak energije odnosno omjer performansi panela ima prosječnu vrijednost od 0.75. Efikasnost solarnog panela moguće je procijeniti koristeći vrijednosti koje prikazuje Tablica 6.3 (URL 42).

Tablica 6.3 Vrijednosti korištene u izračunu efikasnosti solarnih panela

	Oznaka	Vrijednost	Mjerna jedinica
Površina solarnog panela	A	1	m <sup>2</sup>
Prinos solarnog panela	r	15.6	%
Prosječna godišnja radijacija (bez sjena)	H	1632	kWh/m <sup>2</sup>
Omjer performansi	PR	0.75	/

Za površinu solarnog panela korištena je jedinična vrijednost kako bi se odredila dobivena količina energije po m<sup>2</sup>. Prinos solarnog panela označava omjer između električne energije jednog panela i njegove površine pri čemu je uzeta nominalna vrijednost određena pri standardnim uvjetima. Za prosječnu godišnju radijaciju korištena je vrijednost određena iz rastera koji je dobiven na osnovu analize solarnog potencijala područja kampusa za cijelu godinu.

Efikasnost solarnog panela odnosno količina energije (E) koju 1m<sup>2</sup> solarnog panela može proizvesti u jednoj godini može se dobiti prema prikazanoj formuli (1).

$$\begin{aligned}
 E &= A \times r \times H \times PR = \\
 &= 1m^2 \times 0.156 \times \frac{1632kWh}{m^2} \times 0.75 = 183kWh
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

Ukoliko se uzme u obzir prosječna potrošnja električne energije na godišnjoj razini, moguće je pomoću dobivene vrijednosti odrediti kolika bi površina solarnih panela postavljenih na krovove promatranih zgrada mogla zadovoljiti energetske potrebe, odnosno koliku bi uštedu projekt iskorištavanja obnovljivih izvora energije mogao osigurati. Prilikom planiranja takvog projekta potrebno je provesti značajno detaljniju analizu koja bi obuhvatila veći broj faktora, no funkcionalnosti SAGA GIS softvera omogućuju prikaz približnih vrijednosti solarnog potencijala na promatranom području.



## 7. SEMANTIČKI 3D MODEL

3D vizualizacije prostornih objekata koriste se u sve većem broju aplikacija iz područja (urbanog) planiranja, gradskog marketinga, turizma i upravljanja objektima. Područja primjene razvila su se od tradicionalnih (koje zahtijevaju čiste geometrijske modele s niskom razinom detalja, poput planiranja mreža) do naprednih aplikacija u područjima poput turizma. Zahtjevi gradskih modela značajno su porasli, što znači da osim geometrijskih informacija postoji i snažna potreba za semantičkim informacijama i ažuriranjem podataka (Goetz, 2012).

3D modeliranje gradova nije isto što i 3D vizualizacija stvarnosti. Geometrija može biti samo jedan aspekt modela. Svaki objekt odnosno entitet virtualnog 3D modela može nositi mnogo više semantičkih informacija i znanja o objektima te njihovim funkcionalnostima. Semantičko modeliranje u kontekstu geografskih informacija donosi prijelaz iz geometrijski odnosno grafički orijentiranih modela u prikaze dobro definiranih objekata sa njihovim svojstvima, strukturama i međusobnim odnosima. Takvi modeli sadrže informacije o geometriji i topologiji te mogu sadržavati i semantičke informacije te izgled objekta. 3D semantički model pruža i mogućnost postavljanja upita. Primjerice moguće je odrediti na kojoj se lokaciji u gradu (ili na kampusu) nalazi dvorana s odgovarajućim brojem sjedala i mogućnosti 3D projekcije (URL 43).

QGIS softver pogodan je kreiranje, uređivanje, analiziranje i objavljivanje geoinformacija. Instaliranjem različitih dodataka moguće je dodatno proširiti njegove funkcionalnosti i između ostalog omogućiti 3D vizualizacije. *Qgis2threejs* je dodatak koji se koristi za vizualizaciju DEM-a te vektorskih podataka u 3D-u na webu. Moguće je na jednostavan način stvoriti razne vrste 3D objekata te generirati datoteke za objavljivanje na internetu (URL 44).

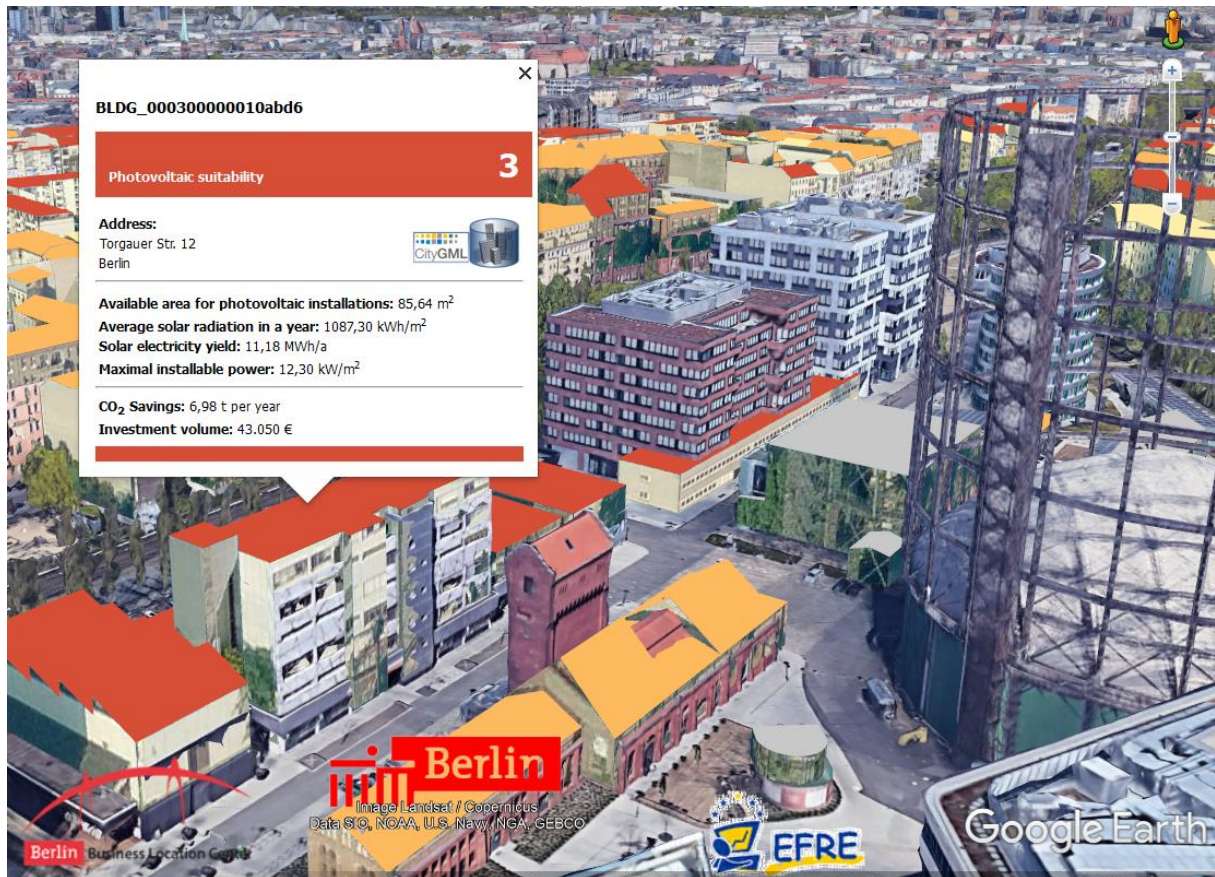
Prilikom izrade 3D modela Znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj u QGIS-u, kao podloga je korišten prethodno izrađeni ortomozaik. *Shapefile* sloj zgrade, dobiven vektorizacijom ortomozaika, moguće je istisnuti (eng. *extrude*) odnosno podignuti za određenu visinu kako bi se dobili trodimenzionalni objekti. U atributnoj tablici vektorskog sloja unesene su relativne visine svake od zgrada te je zatim svaki poligon zgrade prikazan kao 3D objekt odgovarajuće visine. Podaci o visinama preuzeti su iz 3D modela Grada Zagreba – ZG3D. To projekt čiji je nositelj Gradski ured za stratezijsko planiranje i razvoj Grada, a cilj samog projekta je korištenje i razvoj 3D modela grada u gradskoj upravi, obrazovanju, znanosti, gospodarstvu, civilnom društvu te za druge svrhe i korisnike (URL 45). Dobiveni model moguće je pohraniti u HTML (eng. *HyperText Markup Language*) formatu. Scenu je moguće pohraniti i kao sliku u PNG (eng. *Portable Network Graphics*) formatu ali i kao glTF (eng. *GL Transmission Fomat*) datoteku. GITF je standardni format datoteke za trodimenzionalne scene i modele. 3D model u GITF formatu moguće je prikazati koristeći *three.js editor – JavaScript* 3D biblioteku koja se koristi za stvaranje i prikazivanje jednostavnih 3D sadržaja u web pregledniku (URL 46). Slika 7.1 prikazuje LOD 1 model kampusa Borongaj izrađen pomoću *Qgis2threejs* dodatka.



Slika 7.1 3D model izrađen u QGIS-u

U atributnoj tablici pohranjeni su podaci o relativnim visinama pojedinih zgrada kao i nazivima zgrada, odnosno fakulteta čija se nastava održava u pripadajućim prostorijama. Atributnu tablicu moguće je dodatno popuniti s podacima kao što su broj učionica te njihov kapacitet. Dodavanjem većeg broja atributa moguće je stvoriti bazu podataka koja je slobodno dostupna te omogućava lakše informiranje te snalaženje na području sveučilišnog kampusa, kao i donošenje određenih odluka i provođenje analiza.

Izrada semantičkih 3D modela većih područja kao što su sveučilišni kampusi ili čitavi gradovi perspektivan je projekt koji bi donio značajne doprinose u različitim područjima primjene. Primjer je 3D model Berlina koji je slobodno dostupan javnosti u CityGML formatu (URL 47). Sadrži 550,000 LOD2 zgrada na području grada površine oko 890 km<sup>2</sup>. Korisnici mogu pristupiti podacima putem interneta te besplatno preuzeti individualni model određene zgrade u različitim 3D formatima. Baza podataka sadrži podatke koji se mogu upotrebljavati za različite svrhe. Podaci se mogu izvesti u različite formate i stilove 3D vizualizacije kako bi se zadovoljile specifične potrebe korisnika kao što su urbanistički detalji za razvoj gradova, solarni podaci itd. Model grada obogaćen je sa balonima koji nose pojedinačne informacije o svakoj prikazanoj zgradi. Sadržaj i izgled balona moguće je prilagoditi određenim potrebama. Slika 7.2 prikazuje demo set podataka koji predstavlja dio solarnog atlasa Berlina. Podatke je moguće preuzeti u .kml formatu te ih otvoriti korištenjem *Google Earth Pro* aplikacije za stolna računala.



Slika 7.2 3D model Berlina s podacima o solarnom potencijalu zgrada (URL 47)

Pritiskom na neku od zgrada čiji su krovovi obojeni, moguće je dobiti uvid u adresu zgrade, površinu krova dostupnu za postavljanje solarnih panela, prosječno godišnje solarno zračenje, količinu energije koju solarni paneli mogu proizvesti i maksimalnu snagu panela koji se mogu instalirati. Također prikazana je količina smanjenja ugljičnog dioksida te iznos investicije.

## ZAKLJUČAK

Tema pametnih rješenja za sveučilišne kampuse odnosi se na korištenje modernih tehnologija i inovativnih pristupa u svrhu unaprjeđivanja obrazovanja, usluga i upravljanja sveučilišnih kampusa. Svi principi i koncepti koji se primjenjuju za održivi razvoj gradova mogu biti upotrebljeni i na navedenom području. Štoviše, s obzirom na značajno manju površinu, unaprjeđivanje kampusa korištenjem koncepta pametnih gradova značajno je jednostavnije i efikasnije, a može ostvariti velike doprinose.

3D modeliranje važan je alat prilikom planiranja pametnih kampusa. Izrada 3D modela na temelju snimanja iz zraka proces je koji zahtijeva pomno planiranu pripremu te poznavanje softvera i njegovih funkcionalnosti koje omogućuju obradu prikupljenih podataka. Tako prikupljeni podaci mogu se obraditi na različite načine. Ovisno o željenim rezultatima, proces prikupljanja snimaka te njihove obrade potrebno je prilagoditi u svrhu dobivanja najoptimalnijih rezultata. Kako bi se dobio fotorealističan model znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj definirane su optimalne putanje snimanja bespilotnom letjelicom pod određenim kutom, dok je za izradu ortomozaika izvršeno snimanje s vertikalno usmjerenom kamerom. Sve prikupljene snimke zajedno su obrađene u Metashape-u prilikom čega su istražene mogućnosti koje navedeni softver pruža. 3D model promatranog područja, digitalni elevacijski model te ortomozaik dobiveni su kao rezultati softverske obrade te ih je moguće dalje obrađivati i analizirati korištenjem drugih softvera. Fotorealistični modeli mogu se koristiti za promociju kampusa, informiranje, lakše snalaženje te izradu virtualnih animacija. S obzirom na porast osviještenosti u pogledu iskorištavanja održivih izvora energije, ugradnja solarnih panela za iskorištavanje sunčeve energije postala je sve češća, između ostalog i na vodećim svjetskim sveučilištima. Digitalni elevacijski model dobiven obradom snimaka iz zraka iskorišten je za prikazivanje mogućnosti korištenja 3D podataka u svrhu određivanja solarnog potencijala i utvrđivanja isplativosti ugradnje solarnih panela. Ortomozaik se druge strane može koristiti kao podloga za prikazivanje 3D modela kampusa koji osim vizualizacije područja pruža i semantičke informacije.

Tehnologija bespilotnih letjelica kao i 3D modeliranje značajno napreduju te se svakodnevno pronalaze novi načini njihove upotrebe kao i različita proširenja njihovih funkcionalnosti. Prilikom planiranja pametnih kampusa njihovo korištenje ima važnu ulogu stoga je neophodno istražiti sve mogućnosti koje primjena modernih rješenja nudi.

**LITERATURA**

- Agisoft Metshape User Manual, Professional Edition, Version 1.7, (2021): Agisoft LLC, [https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_1\\_7\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_7_en.pdf), (2.6.2021.)
- Biljecki, F., (2017): Level of detail in 3D city models, Doctoral dissertation, Delft University of Technology, Delft, Nederland, <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Acea5a207-e796-4691-9440-13362cf8654c>, (15.8.2021)
- Burazer, B., (2012): Normizacija u procesu kreiranja „pametnih gradova“. Zagreb: Hrvatski zavod za norme, <https://www.hzn.hr/UserDocsImages/pdf/Normizacija%20u%20procesu%20kreiranja%20pametnih%20gradova.pdf>, (2.6.2021.)
- Cață, M., (2015): Smart University, a new concept in the Internet of Things, <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7311993>, (2.6.2021.)
- Cetl, V. (2013): Primjena 3D modela u upravljanju gradom. Studija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet.
- Danilina, N., Slepnev, M., Chebotarev, S., (2018): Smart city: automatic reconstruction of 3D building models to support urban development and planning, Moscow State University of Civil Engineering, [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/110/mateconf\\_ipicse2018\\_03047.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/110/mateconf_ipicse2018_03047.pdf), (20.7.2021.)
- Delegirana uredba komisije (EU) br. 2019/945 od 12.ožujka 2019 o sustavima bespilotnih zrakoplova i o operatorima sustava bespilotnih zrakoplova iz trećih zemalja, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0945&from=NL>, (20.7.2021.)
- Đurković, A. (201): Učinkovito korištenje sunčeve energije za proizvodnju električne energije. Završni rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, <http://repositorij.fsb.hr/2476/>, (2.8.2021.)
- Kolarek, M. (2009): CityGML, Ekscentar, 11, 32–35, <https://hrcak.srce.hr/38763>, (2.8.2021.)
- Li, X., Chen, Z., Zhang, L., Jia, D.: Construction and Accuracy Test of a 3D Model of Non-Metric Camera Images Using Agisoft Photoscan. Procedia Environ, [https://www.researchgate.net/publication/308280747\\_Construction\\_and\\_Accuracy\\_Test\\_of\\_a\\_3D\\_Model\\_of\\_Non-Metric\\_Camera\\_Images\\_Using\\_Agisoft\\_PhotoScan](https://www.researchgate.net/publication/308280747_Construction_and_Accuracy_Test_of_a_3D_Model_of_Non-Metric_Camera_Images_Using_Agisoft_PhotoScan), (2.8.2021.)
- Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova (2018), Narodne novine 104, Zagreb, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018\\_11\\_104\\_2040.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_11_104_2040.html), (20.7.2021.)
- Provedbena uredba komisije (EU) 2019/947 od 24.5.2019 o pravilima i postupcima za rad bespilotnih zrakoplova, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0947&from=EN>, (20.7.2021.)
- Tovar-Pescador, J. (2006): On the use of the digital elevation model to estimate the solar radiation in areas of complex topography. Meteorol. Appl. 13, 279-287, <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1017/S1350482706002258> (2.6.2021.)

Umihanić i dr., (2015): Usporedna analiza proizvodnje električne energije fiksnih fotonaponskih sustava u različitim dijelovima BiH. Stručni članak – Tehnički glasnik 9, 2(2015), 128-135, <https://hrcak.srce.hr/140745>, (4.8.2021.)

Walters M. (1992): An Argument For Smart Financial Transaction Cards in the Australian Payments System. In Clarke R. and Cameron J. (Eds.). Managing Information Technology's Organisational Impact, II North-Holland/Elsevier, Amsterdam, <http://www.rogerclarke.com/EC/ChipIntro.html>, (10.8.2021.)

#### POPIS URL-ova

URL 1. Pametni gradovi, [Pametni gradovi – digitalne tehnologije za bolju budućnost - PlanRadar](#), (2.6.2021.)

URL 2. Važnost pametnih gradova, <https://www.housers.com/blog/en/smart-cities-matter/>, (2.6.2021.)

URL 3. Pojam pametnog grada, [Pojam pametnog grada \(korak.com.hr\)](#), (2.6.2021.)

URL 4. Digitalni uslužni program u razvoju, <https://www.marsdd.com/news/the-evolving-digital-utility/>, (2.6.2021.)

URL 5. Internet stvari, <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>, (3.6.2021.)

URL 6. NFC, <https://www.vidi.hr/Racunala/Novosti/NFC-dobiva-novi-standard-za-bezicno-punjenje>, (2.6.2021.)

URL 7. RFID, <https://hr.wikipedia.org/wiki/RFID>, (2.6.2021.)

URL 8. RFID barijere, <https://www.luckgates.com/product/university-library-rfid-flap-barrier-speed-gate>, (2.6.2021.)

URL 9. Pametne kartice, <https://www.advantidge.com/smart-id-cards-education/>, (2.6.2021.)

URL 10. Wikipedia – Fotonaponski sustavi, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Fotonaponski\\_sustavi](https://hr.wikipedia.org/wiki/Fotonaponski_sustavi), (2.6.2021.)

URL 11. Solarni sustavi za škole i sveučilišta, <https://www.ygsolar.com/blog/solar-schools-universities-benefits-costs-2020-ygs-solar>, (2.6.2021.)

URL 12. Solarsense – sveučilišta, [https://www.solarsense-uk.com/filter\\_sector/universities/](https://www.solarsense-uk.com/filter_sector/universities/), (2.6.2021.)

URL 13. Sveučilište u Sussexu, <https://www.sussex.ac.uk/about/sustainable-university/energy>, (2.6.2021.)

URL 14. Solarna rasvjeta za sigurnost studenata, <https://solarlighting.com/solar-landscape-lighting-odessa-texas/>, (2.6.2021.)

URL 15. Solarna rasvjeta za kampuse, <https://solarlighting.com/businesses/school-campuses/>, (2.6.2021.)

URL 16. Sveučilište u Rutgersu - solarni parking, [https://kenall.com/Kenall-Files/Product-Files/Literature/Kenall\\_RutgersUniversity\\_casestudy.pdf](https://kenall.com/Kenall-Files/Product-Files/Literature/Kenall_RutgersUniversity_casestudy.pdf), (2.6.2021.)

- URL 17. 3D modeli gradova, <https://www.microdesk.com/articles/5-ways-3d-city-models-plan-a-better-tomorrow-for-urban-communities/>, (2.6.2021.)
- URL 18. 3D City DB, <https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/citygml/>, (13.7.2021.)
- URL 19. Znanstveno-učilišni kampus Borongaj, <http://www.unizg.hr/o-sveucilistu/sveuciliste-jucer-danas-sutra/razvojni-projekti/znanstveno-ucilisni-kampus-borongaj/>, (13.6.2021.)
- URL 20. Područje kampusa, <https://studentski.hr/oznake/kampus-borongaj?page=3>, (1.7.2021.)
- URL 21. Urbanistički plan uređenja – studentski kampus Borongaj, [https://www.zagreb.hr/userdocsimages/arhiva/prostorni\\_planovi/izid%20upu%20studentski%20kampus%20borongaj/PP\\_UPU%20Studentski%20kampus%20Borongaj.pdf](https://www.zagreb.hr/userdocsimages/arhiva/prostorni_planovi/izid%20upu%20studentski%20kampus%20borongaj/PP_UPU%20Studentski%20kampus%20Borongaj.pdf), (1.7.2021.)
- URL 22. Trimble R8 GNSS, [https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-468451/022543-079N-HRV\\_TrimbleR8GNSS\\_DS\\_1014\\_LR.pdf](https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-468451/022543-079N-HRV_TrimbleR8GNSS_DS_1014_LR.pdf), (10.7.2021.)
- URL 23. Trimble TSC3 R8 kontroler, <https://geoprema.com/products/used-equipment/used-survey-gps-gnss/trimble-r8-model-2-controller-tsc3-access/>, (10.7.2021.)
- URL 24. DJI Phantom 4 Pro V2.0, <https://www.dji.com/hr/phantom-4-pro-v2>, (10.7.2021.)
- URL 25. Izdavanje odobrenja za snimanje iz zraka i uporabu zračnih snimaka, <https://gov.hr/hr/izdavanje-odobrenja-za-snimanje-iz-zraka-i-odobrenja-za-uporabu-zracnih-snimaka/1550>, (2.6.2021.)
- URL 26. Orijentacijske točke, <https://dgu.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/Pristup%20informacijama/Zakoni%20i%20ostali%20propisi/Specifikacije/SP%20SNIMANJE%20IZ%20ZRAKA%20I%20ORIJENTACIJSKE%20TOCKE%20Ver%201.pdf>, (10.7.2021.)
- URL 27. Postavljanje kontrolnih točki, <https://support.esri.com/en/technical-article/000023042>, (1.7.2021.)
- URL 28. CROPOS, [CROPOS - Državna mreža referentnih stanica Republike Hrvatske](#), (2.6.2021.)
- URL 29. Sitiescan, <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/site-scan/imagery/drone-imagery-and-site-scan-for-arcgis-frequently-asked-questions/>, (1.7.2021.)
- URL 30. Sitiescan – načini leta, <https://apps.apple.com/th/app/site-scan-for-arcgis/id1113156576>, (20.6.2021.)
- URL 31. Agisoft Metashape korisnički priručnik, [https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_1\\_7\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_7_en.pdf), (1.7.2021.)
- URL 32. Hardversko ubrzanje, <https://pcchip.hr/helpdesk/sto-je-hardversko-ubrzanje-hardware-acceleration-i-zasto-je-bitno/>, (1.7.2021.)
- URL 33. Grafičke kartice, <https://pcchip.hr/helpdesk/razlika-izmedu-dedicated-i-integriranih-grafickih-kartica/>, (1.7.2021.)

- URL 34. Karte dubina, <https://medium.com/@Giscle/depth-map-depth-calculation-ce4d914c6afd>, (20.6.2021.)
- URL 35. Wikipedia – Mesh, [https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon\\_mesh](https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_mesh), (1.7.2021.)
- URL 36. Obnovljiva energija, <https://www.rsengineering.ng/renewable-energy/>, (10.7.2021.)
- URL 37. <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis> (29.7.2021.)
- URL 38. PVGIS, <http://www.saga-gis.org/en/index.html>, (10.7.2021.)
- URL 39. [http://www.eihp.hr/stari/hrvatski/sunceva\\_energija3.htm](http://www.eihp.hr/stari/hrvatski/sunceva_energija3.htm) (15.7.2021.)
- URL 40. Sunčevo zračenje, <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/atmospheric-effects>, (1.8.2021.)
- URL 41. Solarni paneli, <https://naturalsolar.com.au/solar-news/how-much-energy-is-generated-by-solar-panels/>, (1.8.2021.)
- URL 42. Izračun godišnje solarne energije fotonaponskog sustava, <https://photovoltaic-software.com/principle-ressources/how-calculate-solar-energy-power-pv-systems>, (1.8.2021.)
- URL 43. 3D City DB, <https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/>, (15.8.2021.)
- URL 44. QGIS2threejs, <https://plugins.qgis.org/plugins/Qgis2threejs/>, (15.8.2021.)
- URL 45. 3D model Grada Zagreba, <https://www.zagreb.hr/objavljena-je-nova-verzija-3d-modela-grada-zagreba/146869>, (15.8.2021.)
- URL 46. Three.js editor, <https://threejs.org/editor/>, (15.8.2021.)
- URL 47. 3D City DB – Vizualizacije za različite aplikacije, <https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/visualizationsapp/>, (15.8.2021.)

## POPIS SLIKA

Slika 2.1 Ilustracija pametnoga grada (URL 2).....	2
Slika 2.2 Integracija pametnih brojila u elektroenergetski sistem (URL 4).....	3
Slika 3.1 Primjena NFC tehnologije (URL 6).....	5
Slika 3.2 RFID kontrola pristupa (URL 8).....	6
Slika 3.3 Solarni paneli - Sveučilištu u Sussexu (URL 13) .....	8
Slika 3.4 Solarna rasvjeta – Fakultet Odessa (URL 14).....	8
Slika 3.5 Solarna nadstrešnica za parking – Sveučilište Rutgers (URL 16) .....	9
Slika 4.1 Prikaz razine detalja – LOD (Biljecki, 2017) .....	10
Slika 5.1 Znanstveno učilišni kampus Borongaj (URL 20) .....	11
Slika 5.2 Trimble R8 prijemnik i Trimble TSC3 kontroler (URL 23).....	13
Slika 5.3 DJI Phantom 4 Pro V.2.0 (URL 24).....	14
Slika 5.4 Lokacije kontrolnih točaka.....	17



Slika 5.5 Signalizacijska oznaka na kontrolnoj točki.....	17
Slika 5.6 Site Scan for ArcGIS – načini leta (URL 30) .....	18
Slika 5.7 Sučelje Site Scan Flight Planning aplikacije.....	19
Slika 5.8 Snimanje Znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj.....	20
Slika 5.9 Tijek rada u Metashape softveru .....	21
Slika 5.10 Oblak točaka male gustoće .....	22
Slika 5.11 Položaj kontrolnih točki u odnosu na početni model .....	22
Slika 5.12 Postavljanje markera .....	23
Slika 5.13 Gusti oblak točaka.....	24
Slika 5.14 Build Mesh parametri.....	24
Slika 5.15 Mesh model kampusa Borongaj.....	25
Slika 5.16 Postavljeni parametri za Build Texture naredbu .....	26
Slika 5.17 Model nakon korištenja Built Texture naredbe.....	27
Slika 5.18 Tiled model .....	27
Slika 5.19 Klasifikacija gustog oblaka točaka .....	28
Slika 5.20 Digitalni elevacijski model .....	29
Slika 5.21 Ortomozaik.....	30
Slika 6.1 Totalno solarno zračenje (prilagođeno prema URL 36) .....	31
Slika 6.2 Mjesečno globalno zračenje na području kampusa Borongaj – PVGIS .....	32
Slika 6.3 Potencijalna proizvodnja energije na području kampusa Borongaj- PVGIS .....	32
Slika 6.4 Difuzna i direktna radijacija za cijelu 2020. godinu na području kampusa Borongaj .....	35
Slika 6.5 Globalna radijacija za cijelu 2020. godinu na području kampusa Borongaj .....	36
Slika 6.6 Globalna radijacija u ožujku 2020. godine na području kampusa Borongaj .....	37
Slika 6.7 Globalna radijacija u srpnju 2020. godine na području kampusa Borongaj .....	38
Slika 6.8 Globalna radijacija u prosincu 2020. godine na području kampusa Borongaj .....	39
Slika 7.1 3D model izrađen u QGIS-u .....	42
Slika 7.2 3D model Berlina s podacima o solarnom potencijalu zgrada (URL 47).....	43

## POPIS TABLICA

Tablica 5.1 Specifikacije Trimble R8 prijemnika .....	13
Tablica 5.2 Specifikacije DJI Phantom 4 Pro V.2.0.....	14
Tablica 5.3 Potkategorije otvorene kategorije UAS operacija.....	15

---

Tablica 6.1 Ulazni skup podataka .....	33
Tablica 6.2 Korišteni parametri.....	33
Tablica 6.3 Vrijednosti korištene u izračunu efikasnosti solarnih panela.....	40

## PRILOZI

Prilog br.1: CD s diplomskim radom i prikupljenim dozvolama i potvrdama:






Naziv datoteke/mape:	Opis:
Pametna rješenja za sveučilišne kampuse.docx	Diplomski rad (word datoteka )
Pametna rješenja za sveučilišne kampuse.pdf	Diplomski rad (PDF datoteka )
Potvrda registracije operatora sustava bespilotnih zrakoplova.pdf	Potvrda registracije operatora sustava bespilotnih zrakoplova
Suglasnost Sveučilišta u Zagrebu.pdf	Suglasnost Sveučilišta u Zagrebu za snimanje kampusa Borongaj iz zraka
Rješenje za snimanje iz zraka.pdf	Odobrenje DGU za snimanje iz zraka na području kampusa Borongaj
Rješenje za uporabu zračnih snimaka.pdf	Odobrenje DGU za upotrebu zračnih snimaka prikupljenih na području kampusa Borongaj

Prilog br.2: Potvrda registracije operatora sustava bespilotnih zrakoplova

Prilog br.3: Suglasnost Sveučilišta u Zagrebu za snimanje kampusa Borongaj iz zraka

Prilog br.4: Odobrenje DGU za snimanje iz zraka na području kampusa Borongaj:

Prilog br.5: Odobrenje DGU za upotrebu zračnih snimaka prikupljenih na području kampusa Borongaj

		<b>HRVATSKA/CROATIA</b>	
			<p>Ovime se potvrđuje da je NINA MATOŠIĆ registrirani operator sustava bespilotnih zrakoplova pri Hrvatskoj agenciji za civilno zrakoplovstvo i time je ovlašten/a izvoditi letačke operacije u skladu s primjenjivim propisima.</p> <p>This is to confirm that NINA MATOŠIĆ is a registered Unmanned Aircraft System operator with Croatian Civil Aviation Agency and is therefore allowed to conduct flight operations in accordance with applicable rules and regulations.</p>
Klasa / Class	343-06/21-13/1017	<p align="center"><b>REGISTRACIJA OPERATORA SUSTAVA BESPILOTNIH ZRAKOPLOVA / UAS OPERATOR REGISTRATION</b></p> <p align="center">u skladu s Uredbom Komisije (EU) 2019/947 / in accordance with Commission regulation (EU) 2019/947</p>	
Ur.broj / Number	376-03-04-21-02		
Datum / Date	15.04.2021.		
Operator / Operator	NINA MATOŠIĆ	 <p>Za provjeru valjanosti ovog dokumenta skenirajte QR kod / To check the validity of this document, scan the QR code</p>	
Registracijski broj / Registration number	HRV2068aad6c449w-f37		
Adresa operatora / Operator's address	Dubrovačka 20, Split 21000, Croatia (Hrvatska)		
Broj telefona / Telephone number	+385989747817		
Adresa elektroničke pošte / Email address	nmatosic@geof.hr		

Ova registracija se izdaje u elektroničkom obliku i valjana je bez potpisa i žiga / This Registration is issued electronically and is valid without signature and stamp.



Sveučilište u  
Zagrebu

Prilog br. 3.

Prof. dr. sc. Damir Boras  
REKTOR

Klasa: 372-03/21-01/3  
Urbroj: 380-184/011-21-7

Zagreb, 7. travnja 2021.

Temeljem članka 13. Statuta Sveučilišta u Zagrebu, prema molbi studentice Studija geodezije i geoinformatike Geodetskog fakulteta od 29. ožujka 2021. godine, za korištenjem dijela terena u sklopu ZUK Borongaj, na privremeno korištenje, dajem

### Suglasnost

Geodetskom fakultetu, Kačićeva 26, Zagreb, OIB: 43594593297, zastupano po dekanu, prof.dr.sc. Almin Đapo, na privremeno korištenje prostora u sklopu ZUK Borongaj na adresi Borongajska bb, prema uvjetima navedenim u nastavku:

1. navedeni teren se daje na privremeno korištenje u razdoblju od 30 dana, od dana izdavanja ove suglasnosti, s mogućnošću produljenja;
2. korištenje terena se odobrava isključivo za provođenje snimanja besposadnom letjelicom (dronom) tipa DJI Phantom Pro 4 u svrhu izrade diplomskog rada, na način da ne ometa druge korisnike na prostoru ZUK Borongaj Sveučilišta u Zagrebu;
3. prilikom korištenja Geodetski fakultet obvezuje se da neće devastirati postojeće objekte, okoliš niti ostavljati otpad iza sebe, te će sukladno svojim potrebama i o svom trošku održavati teren, čuvati okoliš te voditi računa o protupožarnim mjerama za cijelo vrijeme korištenja terena;
4. Sveučilište u Zagrebu oslobođeno je odgovornosti za bilo kakve štetne posljedice koje bi mogle nastati korištenjem predmetnog terena.

Temeljem ove suglasnosti pravo korištenja predmetnog terena za gore navedenu namjenu imaju isključivo ovlaštenici Geodetskog fakulteta u svrhu izvođenja letova i snimanja besposadnom besposadnom letjelicom (dronom) tipa DJI Phantom Pro 4 te ih se obvezuje da teren ne koriste u nikakve druge svrhe osim ove za koju je dana suglasnost. Korištenje terena suprotno gore navedenim uvjetima dovodi do opoziva ove suglasnosti bez odlaganja. Suglasnost je sastavljena u 2 (dva) istovjetna primjerka od kojih 1 (jedan) primjerak zadržava Sveučilište u Zagrebu.



Sposlovanjem,  
Prof. dr. sc. Damir Boras

Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR - 10000 Zagreb  
Služba zaštite i tehničkog održavanja ZUK Borongaj, Borongajska bb, HR - 10000 Zagreb,  
3. Pismohrana



**REPUBLIKA HRVATSKA  
DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA**

SEKTOR ZA DRŽAVNU IZMJERU  
SLUŽBA ZA TOPOGRAFSKU IZMJERU  
I DRŽAVNE KARTE

KLASA: UP-I-804-07/21-07/335  
URBROJ: 541-02-02-02/5-21-2  
Zagreb, 27.04.2021.

Državna geodetska uprava na temelju članka 98. stavka 3. Zakona o obrani („Narodne novine“, br. 73/13, 75/15, 27/16, 110/17, 30/18, 70/19), temeljem zahtjeva Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu u postupku izdavanja odobrenja za snimanje iz zraka, donosi

**RJEŠENJE**

1. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, OIB: 43594593297, **odobrava se snimanje iz zraka** područja Znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj označenog na planu snimanja dostavljenom uz zahtjev za izdavanje odobrenja.
2. Snimanje iz zraka će se izvršiti od 01.05.2021. do 31.05.2021. , u svrhu Izrada diplomskog rada.
3. Naručitelj snimanja Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu je dužan prije uporabe, a najkasnije u roku od osam dana od dana snimanja, dostaviti zračne snimke Državnoj geodetskoj upravi na pregled.

**Obrazloženje**

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, OIB 43594593297 je dana 22.04.2021. podnio zahtjev za snimanje iz zraka u skladu sa člankom 98. stavkom 2. Zakona o obrani („Narodne novine“, br. 73/13, 75/15, 27/16, 110/17, 30/18, 70/19 – dalje: Zakon) i člankom 9. Uredbe o snimanju iz zraka („Narodne novine“, br. 77/20) .

U postupku po zahtjevu za izdavanje odobrenja za snimanje iz zraka izvršen je uvid u popis i položaj vojnih lokacija i građevina iz članka 96. stavka 1. Zakona, te je utvrđeno da se na području snimanja 9 zgrada fakulteta i studentska menza u sklopu Znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj na česticama: 1322/41, 1322/42, 1322/44, 1322/45, 1322/46, 1322/63, k.o. Peščenica **ne nalaze** vojne lokacije i građevine.

Nadalje, iz zahtjeva je utvrđeno da će izvršitelj snimanja Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, OIB 43594593297 za obavljanje letačkih operacija u vremenu iz točke 2. izreke rješenja koristiti zrakoplove DJI, Phantom 4 Pro V2.0, 11USH9RR710029.



REPUBLIKA HRVATSKA  
DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA

SEKTOR ZA DRŽAVNU IZMJERU  
SLUŽBA ZA TOPOGRAFSKU IZMJERU  
I DRŽAVNE KARTE

KLASA: UP-I-804-07/21-07/508  
URBROJ: 541-02-02-02/2-21-3  
Zagreb, 8. lipnja 2021.

Državna geodetska uprava na temelju članka 98. stavka 3. Zakona o obrani („Narodne novine“, br. 73/13, 75/15, 27/16, 110/17, 30/18, 70/19), temeljem zahtjeva Geodetskog fakulteta iz Zagreba, Kačićeva 26, u postupku izdavanja odobrenja za uporabu zračnih snimaka, donosi

#### RJEŠENJE

Geodetskom fakultetu iz Zagreba, Kačićeva 26, OIB: 43594593297, odobrava se uporaba zračnih snimaka snimljenih na temelju odobrenja za snimanje iz zraka KLASA: UP-I-804-07/21-07/335, URBROJ: 541-02-02-02/5-21-2 od 27.4.2021, područja Znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj u svrhu izrade diplomskog rada.

#### Obrazloženje

Geodetski fakultet iz Zagreba, Kačićeva 26, OIB: 43594593297 je dana 2. lipnja 2021. podnio zahtjev za uporabu zračnih snimaka snimljenih na temelju odobrenja za snimanje iz zraka KLASA: UP-I-804-07/21-07/335, URBROJ: 541-02-02-02/5-21-2 od 27.4.2021, na području Znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj u svrhu izrade diplomskog rada.

Dana 7. lipnja 2021. Državna geodetska uprava je zaprimila zračne snimke snimljene na temelju odobrenja za snimanje iz zraka KLASA: UP-I-804-07/21-07/335, URBROJ: 541-02-02-02/5-21-2 od 27.4.2021., a na kojima se **ne nalaze** vojne lokacije i građevine određene člankom 96. stavkom 1. Zakona.

Zahtjev je osnovan, te je sukladno članku 98. stavku 3. Zakona, riješeno kao u izreci.

Za izdavanje ovoga rješenja, a sukladno Zakonu o upravnim pristojbama („Narodne novine“, br. 115/16) te Uredbi o tarifi upravnih pristojbi („Narodne novine“, br. 08/17, 37/17, 129/17, 18/19, 97/19 i 128/19), upravna pristojba po tarifnom broju 1. nije naplaćena, a po tarifnom broju 44. naplaćena je u iznosu od 15,00 kuna.

