

Pregledni znanstveni članak / Review

# 3D modeliranje znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj pomoću bespilotne letjelice

Iva CIBILIC, Zvonimir NEVISTIĆ, Vesna POSLONČEC-PETRIĆ – Zagreb<sup>1</sup>, Nina MATOŠIĆ – Split<sup>2</sup>

*SAŽETAK. Ideja pametnih gradova osigurava značajan urbani razvoj primjenom inovativnih tehnoloških rješenja. Korištenje različitih uređaja i informacijsko-komunikacijskih tehnologija mijenja način na koji pojedinci komuniciraju s okruženjem, što dovodi do inovativnih pristupa korištenja suvremenih tehnologija. Svrha korištenja takve tehnologije jest pružanje novih servisa korisnicima s ciljem jačanja infrastrukture, iskorištavanje prirodnih energetske resursa i poboljšanje kvalitete života. Kako bi se odgovorilo na rastući proces urbanizacije i posljedičnu potražnju za energijom, potrebni su pristupi koji provode nove modele uspostave energetske učinkovitijih gradova. Sa sličnim problemima danas se susreću i sveučilišni kampusi, stoga se ovaj rad fokusira na koncept pametnog sveučilišnog kampusa i kako se tehnologija bespilotnih letjelica može koristiti za njegovo planiranje. U radu je prikazan kompletan proces snimanja iz zraka, zajedno s potrebnim koracima pripreme i naknadne obrade. Opisano je kako izraditi trodimenzionalni model promatranog kampusa te kako provesti analizu solarnog potencijala pomoću izrađenog modela, čime se uspostavljaju važni alati za postizanje energetske ravnoteže na području kampusa.*

*Ključne riječi: 3D model, bespilotne letjelice, pametni grad, pametni kampus, solarni potencijal.*

<sup>1</sup> Iva Cibilić, mag. ing. geod. et geoinf., Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: iva.cibilic@geof.unizg.hr

dr. sc. Zvonimir Nevistić, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: zvonimir.nevistic@geof.unizg.hr

izv. prof. dr. sc. Vesna Poslončec-Petrić, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: vesna.posloncec-petric@geof.unizg.hr

<sup>2</sup> Nina Matošić, mag. ing. geod. et geoinf., Geographica d.o.o., HR-21000 Split, Hrvatska, e-mail: nina.geographica@gmail.com

## 1. Uvod

Gospodarski, društveni i kulturni razvoj na globalnoj i nacionalnoj razini zahtijeva korištenje novih, inovativnih rješenja kako bi se postigla održivost i daljnji napredak. Održivi urbani razvoj, između ostalog, rezultat je pažljivog prostornog planiranja. Učinkovito prostorno planiranje ključni je čimbenik konkurentnosti država, gradova i manjih područja te omogućuje optimalno upravljanje određenim procesima, infrastrukturom i okolišem. Brzo rastući tehnološki napredak omogućuje širok raspon rješenja za individualne izazove. Potrebno je pronaći načine da se pojedini poslovi obavljaju što kvalitetnije i najučinkovitije.

Izraz pametni gradovi može se koristiti za opisivanje sve većeg broja urbanih područja. Upravo su to gradovi koji korištenjem suvremenih tehnologija ostvaruju urbani razvoj i ubrzani napredak u mnogim aspektima svakodnevnog života (Međunarodna telekomunikacijska unija 2014). Isti princip može se primijeniti na male sredine koje imaju slične zahtjeve. Primjer je optimizacija prostora sveučilišnih kampusa kako bi se sveučilište poboljšalo u obrazovnom, upravljačkom, uslužnom i konkurentskom smislu. Da bi to bilo moguće potrebne su velike količine prostornih podataka za čije prikupljanje je potrebno pronaći najučinkovitiji način.

Bespilotne letjelice (engl. *Unmanned aerial vehicle* – UAV) omogućuju snimanje velikih površina i prikupljanje potrebnih informacija na brz, jednostavan i učinkovit način. Prikupljene fotografije mogu se zasebno analizirati ili koristiti za izradu cjelovitog trodimenzionalnog modela područja interesa. Model se može koristiti za vizualizaciju određenog područja ili može poslužiti kao osnova za izvođenje različitih prostornih analiza, poput ispitivanja potencijala solarne energije kao jednog od gorućih problema s kojim se gradovi danas susreću radi posljedica rastućeg procesa urbanizacije. Adekvatno urbanističko planiranje može doprinijeti pretvaranju postojećih u solarne pametne gradove čime se postiže energetska ravnoteža u cijelom gradu (Amado i Poggi 2013).

Sa sličnim problemima susreću se i sveučilišni kampusi koji moraju pronaći inovativna tehnološka rješenja uslijed povećanja broja korisnika usluga, a posljedično tome i bolje načine planiranja i energetske učinkovitosti. Stoga je u ovom radu prikazano kako se UAV tehnologijom može prikupiti veliki broj podataka na relativno velikoj površini u kratkom vremenu te kako se ti podaci mogu iskoristiti za planiranje pametnog sveučilišnog kampusa izradom 3D modela i provođenjem prostornih analiza s naglaskom na izradu studije solarnog potencijala na izrađenom modelu.

### 1.1. Pametni grad

Pojam “pametni grad” odnosi se na različite koncepte urbanog planiranja koji, sa stajališta inovacija, optimiziraju urbani prostor korištenjem dostupnih tehnika i organizacijskih principa. Pametan grad podrazumijeva da su njegove tradicionalne institucije i usluge poboljšane za dobrobit njegovih građana kroz implementaciju digitalnih tehnologija (Nevistić i Bačić 2022). Izazovno je doći

do jedinstvene definicije pojma jer pokriva raznolik spektar tehnoloških pristupa (Nevistić i Bačić 2022). Kvalitete koje grad čine pametnim uključuju inovativna rješenja u prometu, urbanom planiranju, komunikacijama, proizvodnji i opskrbi energijom te interaktivno i digitalno upravljanje gradom i učinkovito upravljanje zgradama. Da bi ovo bilo učinkovito, potrebna je upotreba prave tehnologije. Suvremeni izumi i tehnologija mogu se primijeniti u brojnim okruženjima, olakšavajući ne samo poboljšano upravljanje i održivost gradova, već i svakodnevne aktivnosti i živote stanovnika pružajući različiti spektar usluga svojim korisnicima. Fakulteti bi trebali biti primjer napretka i mogućnosti koje nove tehnologije pružaju budući da su oni institucije koje podržavaju inovacije, rast i vrijednost obrazovanja (Mairescu i dr. 2020). Ovo se načelo najbolje može primijeniti na sveučilišnim kampusima, koji obično uključuju obrazovne ustanove, studentske domove te javne i uslužne objekte.

## 1.2. Pametni kampus

Iako ne postoji formalna definicija “pametnog kampusa”, temeljna je ideja stvoriti kampus koji najbolje iskorištava svoje resurse, pruža sveučilišnoj zajednici visokokvalitetne usluge, a to čini trošeći manje sredstava za svoje funkcioniranje i održavanje. Prema Alghamdi i Shetty (2016), mnoge su prednosti moguće unutar pametnog kampusa, poput pružanja interaktivnog i kreativnog okruženja za studente i nastavno osoblje, promicanja pametnog upravljanja energijom, donošenja učinkovitog nadzora i upozorenja na incidente u stvarnom vremenu, automatizacije održavanja i poslovnih procesa, održavanja učinkovite upravljanje parkingom i kontrolom pristupa, pružanje sigurnih plaćanja i transparentnih sustava glasovanja i još mnogo toga. Zahtjev za povećanom učinkovitošću odražava se u smanjenim proračunima, povećanju broja učenika i sve većim troškovima po učeniku. Temeljni cilj koncepta pametnog kampusa je stvaranje ekološki prihvatljivog, energetski učinkovitog i održivog razvoja. Prema Han i dr. (2022) izgradnja pametnog kampusa ključna je poveznica digitalne transformacije sveučilišta.

## 1.3. 3D modeliranje za pametno upravljanje

3D modeliranje se može definirati kao proces stvaranja matematičkog prikaza trodimenzionalnog objekta, pri čemu je rezultat 3D model koji sadrži podatke o točkama u 3D prostoru i druge informacije koje računalo interpretira u virtualni oblik (Danilina i dr. 2018). Takvim modeliranjem gradova moguće je dobiti virtualne prikaze urbanih sredina, uključujući zgrade, teren, značajnosti, infrastrukturni krajolik i vegetaciju. Pritom se različiti geoprostorni podaci integriraju u stvarnu, trodimenzionalnu vizualizaciju grada. Kao što je navedeno u Salleh i dr. (2021), pomaže u procjeni arhitektonskih i planskih rješenja teritorija za podršku organizacijskim i upravljačkim odlukama koje se tiču planova održivog razvoja. Na taj način pružaju mogućnost pojednostavljenja, vizualizacije i urbanističkog planiranja.

Koncept pametnog grada omogućuje pristup spajanju različitih informatičkih

tehnika usmjerenih na optimizaciju teritorijalnog upravljanja i urbanog razvoja. 3D modeliranje i stvaranje simulacija omogućavaju precizne vizualne prikaze stvarne uporabe urbanih područja što je od velike važnosti za potporu organizacijskim i upravljačkim odlukama koje se tiču održivog razvoja. Iako postoje mnoge komponente planiranja pametnog grada, 3D vizualizacija postaje sve važnija kao sredstvo približavanja ovog koncepta široj javnosti. S porastom popularnosti 3D modela pojavila se potreba za razvojem standarda podataka koji bi omogućili njihovu razmjenu između različitih softvera, kao i njihovu objavu na Internetu. CityGML je otvoreni podatkovni model za predstavljanje, pohranu i razmjenu virtualnih 3D modela gradova i krajolika. Pruža standardni model i mehanizam za opisivanje 3D objekata s obzirom na njihovu geometriju, topologiju, semantiku i izgled te definira 5 različitih razina detalja (engl. *Level of Detail – LOD*) (slika 1) (URL 1):

- LOD 0 – prikaz digitalnog modela terena,
- LOD 1 – prikaz osnovnih oblika objekta, tzv. box model,
- LOD 2 – prikaz objekta s teksturama i detaljnom krovnom strukturom koji bi trebao u potpunosti podržavati korisnički definirane tekstualne atribute koje korisnici mogu proširiti,
- LOD 3 – detaljan prikaz vanjske arhitekture objekta s detaljnom krovnom konstrukcijom,
- LOD 4 – detaljan prikaz interijera.



Slika 1. Razine detalja – LOD (Biljecki 2017).

3D modeli gradova omogućuju integraciju kvalitativnih podataka i informacija iz različitih disciplina kako bi se najbolje replicirali stvarni uvjeti u gradu (Salleh i dr. 2021). Kako je sveučilišni kampus manje područje od grada, sa svojim zgradama raspoređenim na velikoj površini, može se usporediti s minijaturnim gradovima. Unatoč tome, kampuse treba također modelirati u 3D kako bi se postavili temelji za razvoj pametnih kampusa.

#### 1.4. Solarni potencijal sveučilišnih kampusa

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 energetske resursima. Fotonaponski sustavi koriste solarne ćelije kako bi pretvorili sunčevo zračenje u električnu energiju. 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 2):

- 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 3).
- 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.

## 2. Razvoj i implementacija 3D modela

U ovom radu opisana je metodologija izrade 3D modela znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj Sveučilišta u Zagrebu (u daljnjem tekstu Kampus) korištenjem bespilotne letjelice kako bi se postavili temelji za razvoj pametnog kampusa. Opisani proces uključuje rekognosciranje terena, izradu signalizacijskih oznaka i određivanje kontrolnih točaka te programiranje najoptimalnijih putanja leta bespilotne letjelice za postizanje što boljih rezultata. Kako bi se pronašla najučinkovitija rješenja, pri obradi dobivenih snimaka pažljivo su istražene sve mogućnosti softvera. Nakon obrade slika, izrađen je fotorealistični 3D model koji daje uvid u stvarni izgled Kampusa. Korištenjem tako razvijenog modela može se učinkovito upravljati rastom kampusa u budućnosti. Također, klasifikacija prikupljenih točaka kao i generiranje digitalnog modela visina pruža mogućnost izvršavanja brojnih analiza među kojima je i istraživanje solarnih potencijala, što je jedan od ciljeva ovog istraživanja.

Kampus (slika 2) prostire se na 92,8 hektara površine na području četvrti Peščenica–Žitnjak u gradu Zagrebu. Svečano je otvoren 12. listopada 2007. godine, a čine ga devet objekata nekadašnjeg vojnog kompleksa Borongaj, preuređenog u znanstveno-učilišni kampus. Također je obnovljen i objekt za

studentski restoran, uređen je okoliš, uspostavljena je IT-infrastruktura te je uspostavljena autobusna linija koja vodi do kampusa. Kako bi se osigurala logika, funkcionalnost i održivost kampusa, planiran je razvoj sportskog kompleksa kao i brojnih državnih instituta i agencija (URL 4). 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 antidoping.



Slika 2. Znanstveno-učilišni kampus Borongaj (URL 5).

## 2.1. Preduvjeti za snimanje iz zraka bespilotnom letjelicom

Upravljanje bespilotnim letjelicama 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 2018) prestao je važiti 1.1.2021. godine nakon čega se počinju primjenjivati Delegirana uredba (EU) 2019/945 i Provedbena uredba Komisije Europske unije (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 tri potkategorije (tablica 1).



Tablica 1. *Potkategorije otvorene kategorije UAS operacija.*

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

Sukladno Provedbenoj uredbi Komisije Europske unije (EU) 2019/947, svi UAV operatori moraju se registrirati kad unutar “otvorene kategorije” izvode operacije bespilotnim zrakoplovima dopuštene mase pri polijetanju od najmanje 250 g ili bespilotnim zrakoplovima koji u slučaju udara na čovjeka mogu prenijeti kinetičku energiju veću od 80 J ili bespilotnim zrakoplovima opremljenima senzorima 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 iz zraka i uporabu zračnih snimaka. Kako bi to bilo moguće, potrebno je dobiti suglasnost vlasnika katastarskih čestica obuhvaćenih u planu leta. Odobrenje za uporabu zračnih snimaka moguće je dobiti tek nakon dostavljanja cjelokupno snimljenog materijala na pregled zajedno s odgovarajućom dokumentacijom (URL 6).

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

## 2.2. Prikupljanje podataka

Podaci prikupljeni bespilotnom letjelicom direktno su georeferencirani pomoću ugrađenih GNSS sustava i inercijskih senzora. Dobiveni modeli imaju visoku relativnu točnost, međutim, apsolutna točnost modela, odnosno njegov položaj na Zemlji, može varirati i do nekoliko metara. Najveće odstupanje događa se duž Z osi koordinatnog sustava, koja predstavlja visinu. Kako bi se povećala točnost dobivenog modela te kako bi se modelu mogle pridružiti stvarne koordinate na Zemlji u odabranom koordinatnom sustavu koriste se zemaljske kontrolne točke (engl. *Ground Control Points – GCP*). GCP-ovi povećavaju apsolutnu preciznost ortomozaika, 3D oblaka točaka, 3D modela i različitih modela terena kao i samih prostornih analiza nad dobivenim modelima. Preciznost mjernih stavki ne može biti veća od preciznosti mjerenih GCP-ova. To su točke koje se mogu identificirati na snimci, s koordinatama u službenom koordinatnom sustavu, a služe za povezivanje preklapajućih snimaka iz zraka s referentnim koordinatnim sustavom i izjednačavanje bloka aerotriangulacije. Sve kontrolne točke moraju biti određene geodetskim metodama mjerenja koje osiguravaju potrebnu točnost i pouzdanost. Moraju biti vidljive iz zraka, stoga su potrebne odgovarajuće oznake poput kontrastnih uzoraka ili križeva. Također treba uzeti u obzir da se ne postavljaju ispod drveća ili drugih pre-

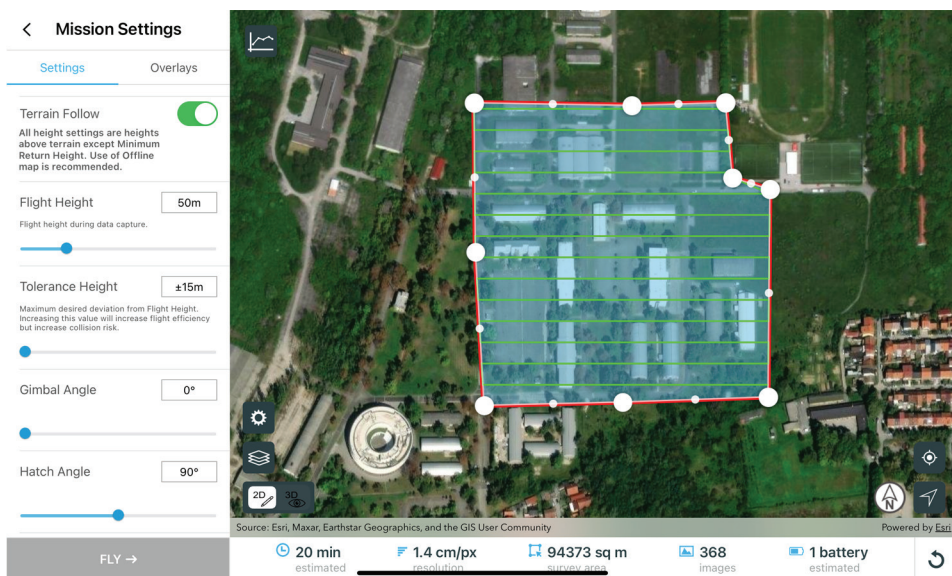
preka. Moraju biti stabilizirane i postavljene na mjesta gdje ne postoji opasnost od njihovog uništenja tijekom snimanja. Potrebne su minimalno tri kontrolne točke, dok se za optimalne rezultate preporuča korištenje pet točaka. Postavljaju se na rubovima područja snimanja te u središtu, a za područja nepravilnih oblika kao i za veće visinske promjene poželjno je korištenje dodatnih točaka. Za potrebe ovog snimanja korišteno je ukupno 10 zemaljskih kontrolnih točaka (slika 3), mjerenih GNSS prijemnikom Trimble R8 (URL 7). Referentni koordinatni sustav korišten za mjerenje GCP-ova je Hrvatski terestrički referentni sustav iz 1995. godine s korištenom transverzalom Mercatorovom projekcijom (HTRS96/TM). Za visinsku komponentu u ovom sustavu kao referentni elipsoid koristi se globalni model EGM2008.



Slika 3. Kontrolne točke na kampusu Borongaj (Matošić 2021).

Snimanje znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj bespilotnom letjelicom obavljeno je 20. svibnja 2021. u poslijepodnevni satima. Snimanje iz zraka provedeno je pomoću DJI Phantom 4 Pro V.2.0 (URL 8) na iPad Pro 3. generacije u aplikaciji SiteScan. SiteScan za ArcGIS je proizvod organizacije Esri (URL 9). Omogućuje planiranje i izvođenje leta te upravljanje podacima o letu i metapodacima, sigurne i učinkovite letove, generiranje 2D i 3D podataka i analitičkih proizvoda. Slika 4 prikazuje sučelje prilikom planiranja jednog od letova na području kampusa Borongaj.





Slika 4. Sučelje Site Scan Flight Planning aplikacije.

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 navedenih postavki mijenja se predviđeno vrijeme trajanja leta, broj slika koje će biti prikupljene, broj baterija bespilotne letjelice potrebnih za izvršavanje leta, ali i rezolucija snimanja (engl. *Ground Sample Distance – GSD*), koja pokazuje koliko jedan piksel na ekranu predstavlja jedinica u stvarnosti. Za snimanje Kampusa ukupno je isplanirano 5 letova. Jedan 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 snimanje je vršila s visine od 50 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 kako bi se na taj način osiguralo dobivanje što gušćeg oblaka točaka. Nakon pripreme željenih putanja leta pristupilo se snimanju iz zraka. Kao rezultat snimanja dobivene su ukupno 2033 slike u JPG formatu lokacije kampusa Borongaj s 1,4 cm/px.

### 2.3. Obrada podataka

Kako bi se dobio reprezentativan model koji je prikladan za analize, snimke prikupljene bespilotnom letjelicom potrebno je međusobno povezati te obraditi. Agisoft Metashape je softverski proizvod koji omogućuje fotogrametrijsku ob-

radu 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 tijekom snimanja postojanje zajedničkih točaka na uzastopnim snimcima. Tijek obrade prikupljenih fotografija prikazan je na slici 5.



Slika 5. Tijek rada izrade 3D modela.

Nakon što su dobivene slike učitane u softver, može se pristupiti njihovoj daljnjoj obradi. Prvi korak je utvrditi imaju li snimljene slike dovoljnu kvalitetu. Procjena kvalitete snimaka je važna jer može imati značajan utjecaj na kasniju obradu. Agisoft Metashape pruža mogućnost automatske procjene kvalitete svake snimke, pri čemu je utvrđeno da je kvaliteta svih snimaka odgovarajuća. Budući da su snimke u WGS84 referentnom koordinatnom sustavu, nužno je isti sustav namjestiti i u postavkama projekta.

Učitava se datoteka koja sadrži koordinate kontrolnih točaka izmjerene GPS-om. Točke su ručno postavljene na svoja mjesta na snimkama zbog velikog odstupanja modela od kontrolnih točaka duž Z osi. Najbolje je učiniti ovaj korak prije poravnanja snimki zbog promjene parametara lokacije i rotacije slike, što utječe na točnost oblaka točaka.

Poravnanje snimki omogućuje određivanje položaja kamere tijekom snimanja, što rezultira oblakom točaka niske gustoće (slika 6). Od svih 2033 prikupljenih slika, samo 4 nije bilo moguće uspješno poravnati. U sljedećem je koraku referentni koordinatni sustav konvertiran u HTRS96/TM, referentni sustav Republike Hrvatske.



Slika 6. Oblak točaka niske gustoće kampusa Borongaj (Matošić 2021).

Agisoft Metashape omogućuje stvaranje gustog oblaka točaka na temelju izračunatih parametara unutarnje i vanjske orijentacije preklapajućih slika. Generirani prikaz vidljiv je na slici 7.



Slika 7. Gusti oblak točaka kampusa Borongaj (Matošić 2021).

U 3D računalnoj grafici, mesh ili poligonalna mreža odnosi se na skup čvorova, bridova i lica koji definiraju geometriju poliedarskih objekata (URL 10). Izgradnjom mreže dobiva se geometrijska struktura modela željenog područja. Postavljanje pravih parametara ključno je za postizanje najboljih rezultata. U ovom slučaju, mreža se stvara na temelju karte dubine. Radi se o slici ili slikovnom kanalu koji sadrži informacije o udaljenosti površine objekata do određene točke gledišta (URL 11). 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.

Maksimalan broj poligona u rezultirajućem meshu postavljen je na najvišu razinu. Također, točke se mogu interpolirati dok se model gradi. Karte dubina već su formirane tijekom stvaranja oblaka točaka niske gustoće. Slika 8 prikazuje rezultat obrade.



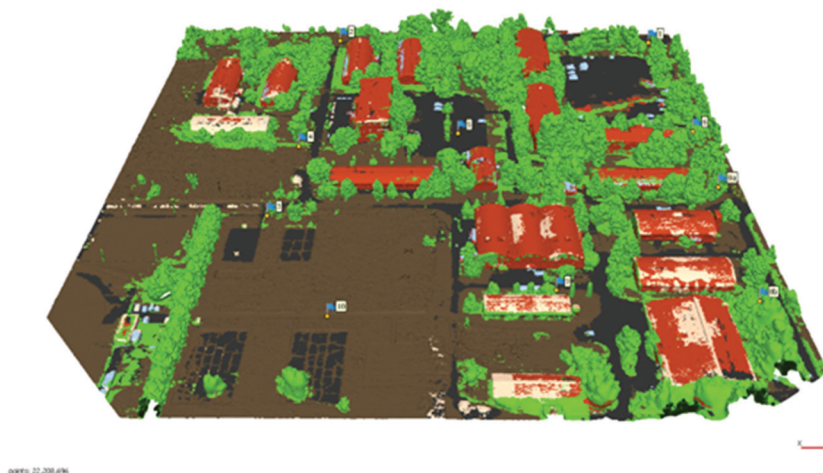
Faces: 53,639,077 vertices: 26,834,900

Slika 8. Mesh model kampusa Borongaj (Matošić 2021).

Za dobivanje što detaljnijeg prikaza područja interesa, potrebno je dodati teksture dobivenoj poligonalnoj mreži. Korištenjem naredbe *Build Texture* korisnici mogu generirati razne teksture postavljanjem odgovarajućih parametara. Korištena naredba *Diffuse map* daje teksture ovisno o bojama koje su prisutne na površini modela. Za razliku od dodavanja tekstura, stvaranje popločanog modela rezultira detaljnijim, oštrijim modelom. Naredba *Build Tiled Model* omogućuje stvaranje modela čija je tekstura generirana korištenjem prikupljenih fotografija u njihovoj izvornoj razlučivosti. Ovakva izrada modela dobro je rješenje prilikom modeliranja gradskih površina. Pruža odgovarajuću vizualizaciju 3D modela većih područja u visokoj rezoluciji (Matošić 2021).

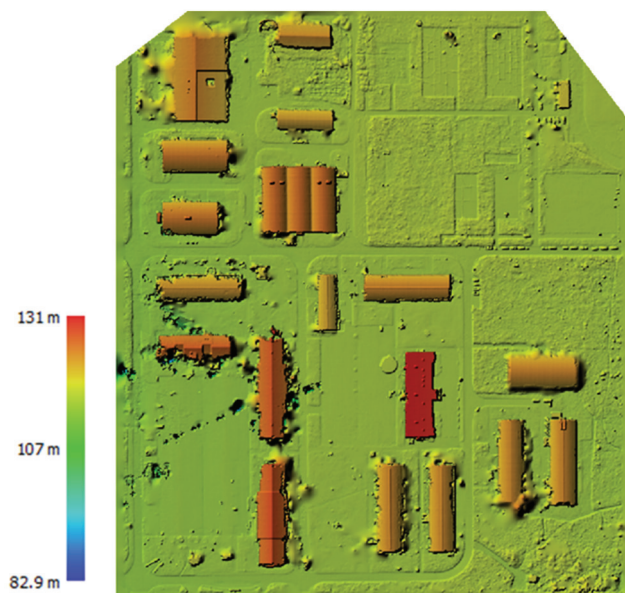
Digitalni model visina (engl. *Digital Elevation Model – DEM*) je rasterska slika sa svakim pikselom koji predstavlja visinu. Ako model predstavlja nadmorske visine tla zajedno s visinama struktura kao što su zgrade i drveće, može se nazvati digitalnim modelom površine (engl. *Digital Surface Model – DSM*). Ako elevacije predstavljaju samo tlo ili golu zemlju, model se naziva digitalni model terena (engl. *Digital Terrain Model – DTM*) (Krtalić i dr. 2019). Opći pojam koji opisuje bilo koju vrstu rasterske elevacijske površine je digitalni model visina (Cetl i dr. 2013). U Agisoft Metashapeu se može dobiti iz oblaka točaka, mesha ili iz dubinskih karti (URL 12). Kako bismo razlikovali točke na tlu od točaka različitih objekata, potrebno je izvršiti klasifikaciju gustog oblaka točaka. Koristeći metodu strojnog učenja, Agisoft Metashape omogućuje semantičku klasifikaciju točaka, što potom omogućuje dodatnu interpretaciju na visokoj razini. U ovom slučaju točke su razvrstane u 6 klasa: tlo, visoka vegetacija, zgrade, ceste, automobili i izgrađeni objekti (slika 9).





Slika 9. Klasifikacija oblaka točaka gustoće kampusa Borongaj (Matošić 2021).

Digitalni visinski model izrađen je u projekciji HTRS96/TM. Prilikom izrade DEM-a potrebno je odabrati gusti oblak točaka kao izvor podataka i identificirati klase od interesa. S obzirom na to da je svrha izrade ovoga modela ispitivanje solarnog potencijala zgrada, dovoljni su podaci o visinama zgrada te površine tla. Odabrane klase su: građevine, tlo, ceste i izgrađeni objekti. Slika 10 prikazuje generirani DEM.



Slika 10. Digitalni visinski model kampusa Borongaj (Matošić 2021).

Ortomozaik je kombinirana slika nastala spajanjem originalnih snimaka bez vidljivih granica, projiciranih na površinu objekta i transformiranih u odabranu projekciju (URL 12). Kao površina na koju će se projicirati slike može poslužiti poligonalni model (mesh) ili DEM. Korištena je projekcija HTRS96/TM, a mesh je odabran za površinu na temelju koje se izrađuje ortomozaik. *Ghosting filter* u ovoj je obradi isključen, što ukazuje na korištenje snimaka snimljenih okomito na površinu za snimanje i izostavljanje svih ostalih snimaka iz obrade. Konačni rezultat je prikazan na slici 11.



Slika 11. *Ortomozaik kampusa Borongaj (Matošić 2021).*

## 2.4. Semantički model

3D vizualizacije prostornih objekata koriste se u sve većem broju aplikacija iz područja (urbanog) planiranja, gradskog marketinga, turizma i upravljanja objektima (Wendel i dr. 2017). Međutim, 3D modeliranje gradova nije isto što i 3D vizualizacija stvarnosti. Svaki entitet virtualnog 3D modela može nositi mnogo

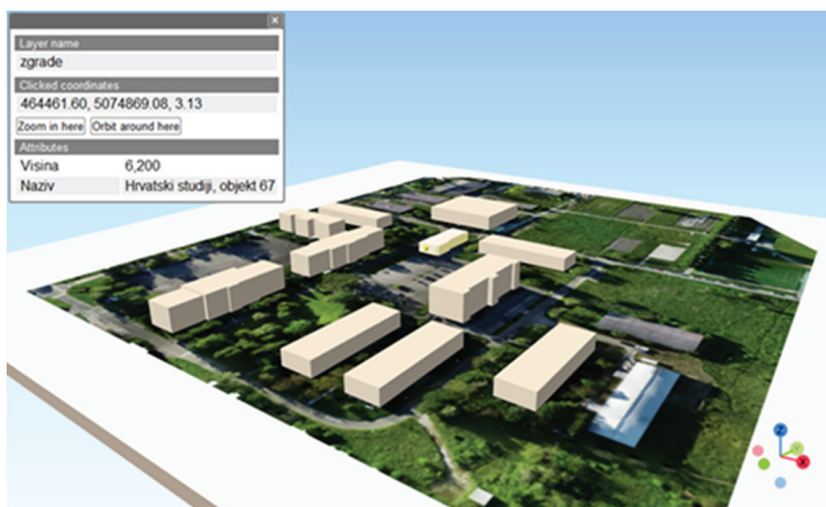


više semantičkih informacija i znanja o objektima te njihovim funkcionalnostima. Semantičko modeliranje u kontekstu geografskih informacija donosi prijelaz iz geometrijski orijentiranih modela u prikaze dobro definiranih objekata s njihovim svojstvima, strukturama i međusobnim odnosima (Wang i dr. 2013).

Vizualizacija dobivenog 3D modela kampusa Borongaj provedena je u GIS softveru. Softver QGIS prikladan je za kreiranje, uređivanje, analizu i objavlivanje geoinformacija. Instaliranjem raznih dodataka moguće je dodatno proširiti njegovu funkcionalnost te između ostalog omogućiti 3D vizualizaciju. Qgis2threejs je dodatak koji se koristi za vizualizaciju podataka na webu. Moguće je na jednostavan način izraditi različite vrste 3D objekata i generirati datoteke za objavu na Internetu (URL 13). Prilikom izrade 3D modela znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj u QGIS-u kao podloga korišten je prethodno izrađeni ortomozaik, a visinski podaci preuzeti su iz 3D modela Grada Zagreba – ZG3D (URL 14). U tablici atributa vektorskog sloja unose se relativne visine svake od zgrada, a zatim se svaki poligon zgrade prikazuje kao zasebni objekt odgovarajuće visine.

Rezultirajući model može se prikazati pomoću biblioteke three.js editor–JavaSript3D koja se koristi za stvaranje i prikaz jednostavnog 3D sadržaja u web pregledniku (URL 15). Slika 12 prikazuje LOD 1 model kampusa Borongaj kreiran korištenjem dodatka Qgis2threejs.

Atributna tablica sadrži podatke o relativnim visinama pojedinih zgrada kao i nazive zgrada, odnosno fakulteta čija se nastava izvodi u pripadajućim prostorima. Tablica atributa može se dodatno popuniti podacima kao što su broj učionica i njihov kapacitet. Dodavanjem više atributa moguće je kreirati bazu podataka koja je slobodno dostupna i omogućuje lakše informiranje i snalaženje u prostoru sveučilišnog kampusa, kao i donošenje određenih odluka i provođenje analiza.



Slika 12. LOD 1 3D model kampusa Borongaj (Matošić 2021).

## 2.5. Solarni potencijal

Softver SAGA GIS sadrži module pogodne za provođenje analize solarnog potencijala. Radi se o besplatnom softveru otvorenog koda dizajniranom za jednostavnu i efikasnu uporabu algoritama za automatske prostorne analize. Jedna od brojnih analiza koje je moguće provesti odnosi se na određivanje potencijalne dolazne solarne energije (engl. *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>. 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. To su digitalni model visina, ortomozaik i poligoni zgrada kampusa. Tablica 2 prikazuje parametre i njihove vrijednosti korištene prilikom analize.

Tablica 2. Parametri korišteni za određivanje solarnog potencijala.

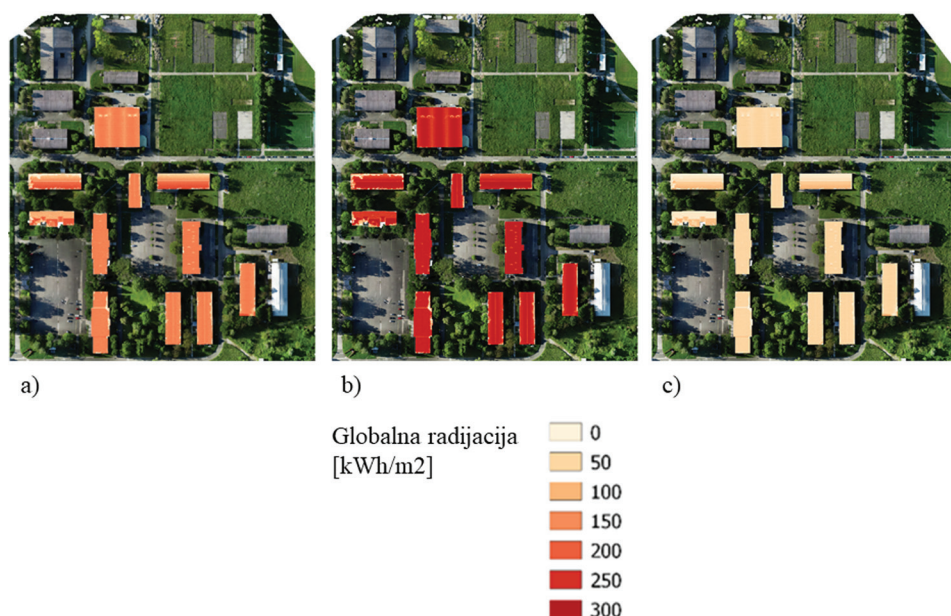
Parametar	Vrijednost
Konstanta solarnog zračenja [W/m <sup>2</sup> ]	1367
Vremenski period	Cijela godina/Ožujak/Srpanj/Prosinac
Rezolucija [d]	5
Vremenski raspon [h]	0; 24
Visina atmosfere [m]	12 000 m
Tlak vodene pare [mbar]	10

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 solarni potencijal minimalan, maksimalan te prosječan. Također je provedena i analiza godišnjeg potencijala za 2020. godinu.

Analiza je izvršena na digitalnom visinskom modelu kampusa na kojemu su klasifikacijom izdvojeni samo površina tla, zgrade i izgrađeni objekti. Za iznos solarne konstante korištena je vrijednost 1367 W/m<sup>2</sup> (Li i dr. 2011). Za ožujak, srpanj i prosinac 2020. godine odabrana je analiza unutar cijelog mjeseca s vremenskom rezolucijom od 5 dana. Podaci su razmatrani za svaki od analiziranih dana u periodu od 0 do 24h s rezolucijom od 30 minuta. 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 uzeta vrijednost od 10 mbar. Za analize svih mjeseci korištene su jednaki ulazni parametri, a jedini varijabilni faktor bio je razmatrani raspon dana.

Analiza godišnjeg potencijala s druge strane zahtijeva manji broj ulaznih podataka. Analiza je provedena s vremenskom rezolucijom od 0,5h za 2020. godinu. Radi se o zahtijevanom izračunu stoga je za generiranje rezultata potrebno značajno više vremena.

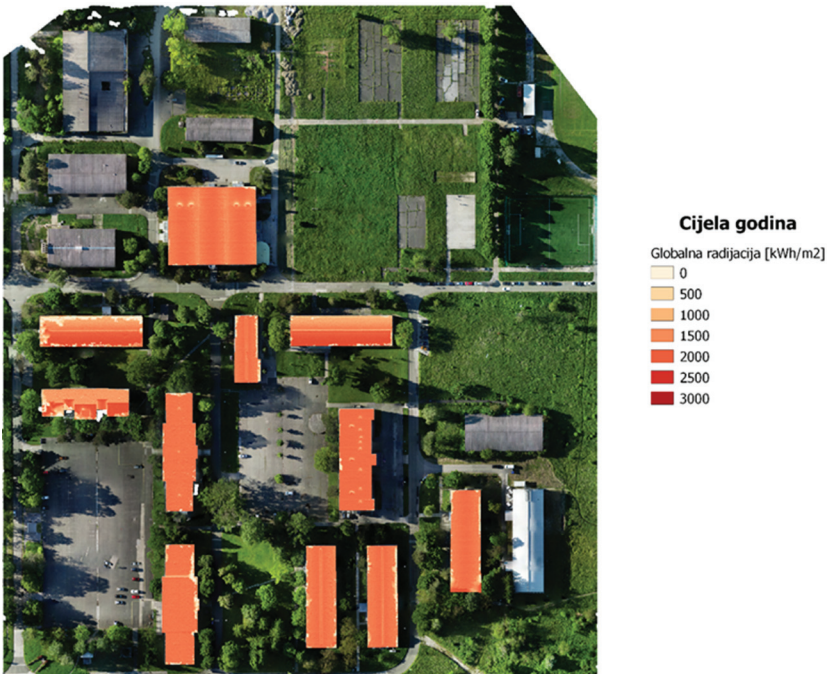
S obzirom na to da je cilj ovog istraživanja bio određivanje solarnog potencijala znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj, odnosno isplativosti ugradnje solarnih panela na zgrade kampusa, potrebno je uzeti u obzir solarni potencijal koji se odnosi na krovove zgrada na promatranom području. SAGA GIS pruža 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.



Slika 13. Globalna radijacija u a) ožujku, b) srpnju i c) prosincu (Matošić 2021).

Slika 13 ukazuje na globalnu radijaciju na području kampusa za mjesec ožujak. 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 ju–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>. Vrijednosti solarnog zračenja za vrijeme mjeseca srpnja su puno veće nego u ožujku. Radi se o rasponu do 300 kWh/m<sup>2</sup>. Srednja vrijednost iznosi 250 kWh/m<sup>2</sup>. Prosinac zato donosi najmanje vrijednosti globalne radijacije, između 0 i 123 kWh/m<sup>2</sup>. Statistički podaci ukazuju na srednja vrijednost svih piksela u

prosincu iznosi 48 kWh/m<sup>2</sup>. Globalnu radijaciju za cijelu godinu prikazuje slika 14. Godišnja radijacija dobije se zbrajanjem vrijednosti za sve mjesece u godini. Iz prikazane analize vidljiv je značajan solarni potencijal na području kampusa Borongaj. Glavni cilj ovog rada bio je prokazati kako se prikazanom metodologijom može doći do korisnih rezultata s ciljem postizanja pametnog kampusa. Solarni potencijal, kao i izrađeni semantički model mogu se dodatno proširiti, u kojem smjeru će ići i daljnje istraživanje.



Slika 14. Globalna radijacija za cijelu godinu (Matošić 2021).

### 3. Zaključak

Pametna rješenja za sveučilišne kampuse odnose se na korištenje suvremenih tehnologija i inovativnih pristupa za poboljšanje obrazovanja, usluga i upravljanja sveučilišnim kampusima. U navedenom području mogu se koristiti svi principi i koncepti koji se primjenjuju za održivi razvoj gradova. Štoviše, s obzirom na znatno manju površinu, nadogradnja kampusa konceptom pametnih gradova znatno je jednostavnija i učinkovitija, a može dati veliki doprinos.

Prilikom projektiranja pametnih kampusa, 3D modeliranje je moćna i neophodna komponenta. Izrada 3D modela temeljenog na aerofotogrametrijskom prikupljanju podataka, proces je koji zahtijeva pažljivo planiranu pripremu i poznavanje softvera te njegovih funkcionalnosti koje omogućuju obradu priku-

pljenih podataka. Podaci dobiveni na ovaj način mogu se obraditi na različite načine. Kako bi se dobili najbolji rezultati, postupak snimanja snimaka i njihove obrade potrebno je modificirati na temelju zahtjeva projekta. Pri opisanom 3D modeliranju znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj prikazano je kako je korištenjem inovativnih tehnoloških rješenja u obliku bespilotnih letjelica moguće relativno jednostavno modelirati područje interesa u kratkom roku s velikom razinom detalja te iskoristiti prikupljene podatke i dobivene modele za uspostavu pametnih urbanističkih rješenja i prostornih analiza.

Kako bi se dobio realističan model znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj, određene su optimalne putanje snimanja UAV-om pod određenim kutom. Za obradu svih snimljenih podataka korišten je softver Agisoft Metashape, a rezultati su bili zadovoljavajući. Izrađeni su digitalni model visine, ortomozaik i 3D model promatranog područja koji se mogu dalje obrađivati i analizirati pomoću dodatnih alata. Realistični modeli mogu se koristiti za promociju kampusa, stvaranje virtualnih animacija, informativne svrhe uz lakšu navigaciju. Orthomosaic se može koristiti kao početna točka za 3D model kampusa koji ne samo da vizualizira područje već također pruža semantičke informacije. 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 kao što je u ovom radu prikazan značajan solarni potencijal kampusa na temelju modeliranih podataka UAV-a.

Korištenje UAV-a za 3D modeliranje je u značajnoj ekspanziji, a svakim danom se otkrivaju nove primjene i funkcionalnosti. Budući da je njihova uporaba ključna za dizajn pametnih kampusa, važno je razmotriti sve mogućnosti koje korištenje suvremenih tehnologija pruža.

## Literatura

- Alghamdi, A., Shetty, S. (2016): Survey toward a smart campus using the internet of things, Proceedings – 2016 IEEE 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud, FiCloud 2016, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 235–239.
- Amado, M., Poggi, F. (2013): Planning for solar smart cities, Proceedings of CISBAT 2013 – September 4–6, 2013, Lausanne, Switzerland, doi: 10.13140/2.1.4327.2964.
- Biljecki, F. (2017): Level of detail in 3D City models, doktorska disertacija, Delft University of Technology, Delft.
- Cetl, V., Tomić, H., Lisjak, J. (2013): Primjena 3D modela u upravljanju gradom, studija, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb.
- Danilina, N., Slepnev, M., Chebotarev, S. (2018): Smart city: Automatic reconstruction of 3D building models to support urban development and planning, U: MATEC Web of Conferences, EDP Sciences.
- Europska unija (2019): Delegirana uredba Komisije (EU) 2019/945 od 12.



- ožujka 2019. o sustavima bespilotnih zrakoplova i o operatorima sustava bespilotnih zrakoplova iz trećih zemalja, preuzeto s [http://data.europa.eu/eli/reg\\_del/2019/945/oj](http://data.europa.eu/eli/reg_del/2019/945/oj), (6. 3. 2024.).
- Europska unija (2019): Provedbena uredba Komisije (EU) 2019/947 od 24. svibnja 2019. o pravilima i postupcima za rad bespilotnih zrakoplova, preuzeto s [https://eur-lex.europa.eu/eli/reg\\_impl/2019/947/2022-04-04](https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2019/947/2022-04-04), (6. 3. 2024.).
- Han, X., Yu, H., You, W., Huang, C., Tan, B., Zhou, X., Xiong, N. N. (2022): Intelligent Campus System Design Based on Digital Twin. *Electronics*, 11 (21), 3437, <https://doi.org/10.3390/electronics11213437>.
- Krtalić, A., Gajski, D., Maltarski, M. (2019): Digitalni trodimenzionalni prikazi scene i satelitska stereofotogrametrija, *Geodetski list*, 73 (96) (2), 147–164, <https://hrcak.srce.hr/222996>.
- Li, H., Lian, Y., Wang, X., Ma, W., Zhao, L. (2011): Solar constant values for estimating solar radiation, *Energy*, 36, 1785–1789, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.12.050>.
- Li, X. Q., Chen, Z. A., Zhang, L. T., Jia, D. (2016): Construction and Accuracy Test of a 3D Model of Non-Metric Camera Images Using Agisoft PhotoScan, *Procedia Environmental Sciences*, 36, 184–190, <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.09.031>.
- Maiorescu, I., Sabou, G. C., Zota, R. D. (2020): Would Smart Solutions Lead to Sustainability Within University? R. Pamfilie, V. Dinu, L. Tăchiciu, D. Pleșea, C. Vasiliu (eds), 6th BASIQ International Conference on New Trends in Sustainable Business and Consumption, Messina, Italy, 4–6 June 2020, Bucharest, ASE, 1049–1055.
- Matošić, N. (2021): Pametna rješenja za sveučilišne kampuse, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb.
- Međunarodna telekomunikacijska unija (2014): Smart sustainable cities: An analysis of definitions, ITU-T Focus Group on Smart Sustainable Cities, Technical Report, Geneva.
- Narodne novine (2018): Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova, br. 104/2018, Zagreb.
- Nevistić, Z., Bačić, Ž. (2022): The Concept, Realizations and Role of Geosciences in the Development of Smart Cities, *Tehnicki Vjesnik*, 29, 330–336, <https://doi.org/10.17559/TV-20201023143444>.
- Salleh, S., Ujang, U., Azri, S. (2021): Virtual 3d campus for universiti Teknologi Malaysia (Utm), *ISPRS Int J Geoinf* 10, <https://doi.org/10.3390/ijgi10060356>.
- Wang, W., De, S., Cassar, G., Moessner, K. (2013): Knowledge Representation in the Internet of Things: Semantic Modelling and its Applications, *Automatika*, 54 (4), <https://doi.org/10.7305/automatika.54-4.414>.



Wendel, J., Simons, A., Nichersu, A., Murshed, S. M. (2017): Rapid development of semantic 3D city models for urban energy analysis based on free and open data sources and software, Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL Workshop on Smart Cities and Urban Analytics, <https://doi.org/10.1145/3152178.3152193>.

### Mrežne adrese

- URL 1: CityGML – 3DCityDB Database, <https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/citygml/>, (21. 2. 2024.).
- URL 2: Solarni sustavi za škole i sveučilišta, <https://www.ysgsolar.com/blog/solar-schools-universities-benefits-costs-2021-ysg-solar>, (27. 2. 2024.).
- URL 3: Solarsense – sveučilišta, [https://www.solarsense-uk.com/filter\\_sector/universities/](https://www.solarsense-uk.com/filter_sector/universities/), (27. 2. 2024.).
- URL 4: Urbanistički plan uređenja – studentski kampus Borongaj izmjene i dopune 2019, [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), (6. 3. 2024.).
- URL 5: Geoportal, <https://geoportal.dgu.hr/>, (19. 2. 2024.).
- URL 6: Izdavanje odobrenja za snimanje iz zraka i odobrenja za uporabu zračnih snimaka, <https://gov.hr/hr/izdavanje-odobrenja-za-snimanje-iz-zraka-i-odobrenja-za-uporabu-zracnih-snimaka/1550>, (26. 2. 2024.).
- URL 7: Trimble R8 GNSS, [https://geoprema.com/products/used-equipment/used-survey-gps-gnss/trimble-r8-model-2-controller-tsc3-access/?attachment\\_id=31475&download\\_file=nhjvld84bz4zl](https://geoprema.com/products/used-equipment/used-survey-gps-gnss/trimble-r8-model-2-controller-tsc3-access/?attachment_id=31475&download_file=nhjvld84bz4zl), (21. 2. 2024.).
- URL 8: DJI Phantom 4 Pro V2.0, <https://www.dji.com/hr/phantom-4-pro-v2>, (27. 2. 2024.).
- URL 9: Site Scan, <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/site-scan/imagery/drone-imagery-and-site-scan-for-arcgis-frequently-asked-questions/>, (21.2.2024.).
- URL 10: Wikipedia – Polygon mesh, [https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon\\_mesh](https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_mesh), (21. 2. 2024.).
- URL 11: Karte dubina, <https://medium.com/@Giscle/depth-map-depth-calculation-ce4d914c6afd>, (27. 2. 2024.).
- URL 12: Agisoft Metashape Upute, [https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_1\\_7\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_7_en.pdf), (21. 2. 2024.).

- URL 13: QGIS Python Baza dodataka,  
<https://plugins.qgis.org/plugins/Qgis2threejs/>, (21. 2. 2024.).
- URL 14: Objavljena je nova verzija 3D modela Grada Zagreba,  
<https://www.zagreb.hr/objavljena-je-nova-verzija-3d-modela-gradazagreba/146869>, (21. 2. 2024.).
- URL 15: The three.js editor, <https://threejs.org/editor/>, (21. 2. 2024.).

## 3D Modeling of the Borongaj University Campus Using an Unmanned Aerial Vehicle

*ABSTRACT. The idea of smart cities ensures significant urban development through the application of innovative technological solutions. The use of various devices with information and communication technologies changes the way individuals interact with the environment, which leads to innovative approaches to modern technologies. Such technology aims to provide new services to strengthen the infrastructure, utilize natural energy resources and improve the quality of life. To respond to the growing urbanization process and the consequent demand for energy, new approaches are needed to implement new models of establishing more energy-efficient cities. University campuses face similar problems, so this paper focuses on the concept of a smart university campus and how drone technology can be used for its planning. The paper presents the complete process of aerial photography, together with the necessary preparation and post-processing steps. It describes the creation of a three-dimensional model of the observed campus and how to perform an analysis of the solar potential with the created model, which establishes an important tool in achieving energy balance in the campus area.*

*Keywords: 3D model, drones, smart city, smart campus, solar potential.*

*Primljeno / Received: 2024-05-14*

*Prihvaćeno / Accepted: 2024-05-28*