

UNIVERZITET SINGIDUNUM

Departman za poslediplomske studije

Danijelova 32, Beograd

## Veću Departmanu za poslediplomske studije

Odlukom Veća Departmana poslediplomskih studija Univerziteta Singidunum, donetoj na sednici održanoj 06.04.2023. godine, određeni smo za članove Komisije za odbranu doktorske disertacije pod nazivom “ Primena veštačke inteligencije za analizu i klasifikaciju stanja izolacije na zgradama”, kandidatkinje Ivane Walter iz Ciriha o čemu podnosimo sledeći

### IZVEŠTAJ

#### 1. Biografski podaci o kandidatu i doktorskoj disertaciji

Ivana Walter je rođena u Beogradu 1982. U Trećoj beogradskoj gimnaziji na prirodno-matematičkom smeru u Beogradu bila je nosilac Vukove diplome. Završila je studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu na katedri za elektroniku, automatiku i telekomunikacije 2008. godine. Profesionalno iskustvo u oblasti telekomunikacija i mreža je skupila u kompanijama Sezampro i CommunicationPlus u Beogradu. Angažovana je na projektima u oblasti modernih telefonskih komunikacija u okviru organizacije SwissPro. Kroz brojne projekte za velike firme kao što su osiguravajuće kuće i bolnice, planira i realizuje komunikaciona rešenja i implementacije servisa za pametne gradove. U okviru međunarodne škole engleskog jezika pripremala je nastavu za mlade.

Kandidatkinja ima objavljen rad kategorije M21 čime je ispunjen preduslov za odbranu doktorske disertacije:

Walter I., Tanasković M., Stanković M., IR Building Analysis with Extraction of Elements Using Image Segmentation and RetinaNet, Buildings, 2023, <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/1/109>

Kandidatkinja je prvi autor i tema rada je direktno povezana sa sadržajem doktorske disertacije.

Kandidatkinja takođe ima niz radova i saopštenja objavljenih na domaćim i međunarodnim naučnim konferencijama

Doktorska disertacija kandidatkinje Ivane Walter je bila podvrgnuta proveru softverom za ustanovljavanje preklapanja i plagijarizma (iThenticate Plagiarism Detection Software). Kada se

eliminiraju poklapanja u nazivima literature i opštih pojmova koji su košišćeni, stepen preklapanja je jako mali.

## **2. Predmet i cilj istraživanja**

U cilju unapređenja uslova životne sredine, jedna od najznačajnijih okupacija u mnogim svetskim zemljama je nastojanje da se smanji utrošak energije. Stambeni i poslovni objekti predstavljaju velike potrošače energije usled zagrevanja i hlađenja objekata. Kako bi se ovaj značajan utrošak energije redukovao kao i emisija štetnih gasova, može se unaprediti izolacija zgrada. Izolacija zgrada ima važnu ulogu u smanjenju gubitaka toplote kroz elemente zgrade i u redukciji potrošnje energije.

Stoga je u ovom istraživanju predstavljena metodologija ispitivanja termalne otpornosti različitih zgrada jedne oblasti oslanjajući se na mogućnosti modernih tehnologija za snimanje veće oblasti, kao i na modele mašinskog učenja kojima se slike i video zapisi detaljno mogu obraditi u cilju izdvajanja potrebnih podataka.

Energetska efikasnost zgrada ispitana je pomoću infracrvene termografije snimanjem dronom uz paralelne vizuelne snimke objekata, što omogućuje njihovu simultanu obradu naprednim algoritmima i razvijenim modelima veštačke inteligencije. Primenjenim algoritmima veštačke inteligencije omogućena je automatizacija analize infracrvenih snimaka građevinskih objekata i klasifikacija njihove izolacione moći. Predloženi metod se može upotrebiti kako bi se na praktičan način pružila podrška u građevinarstvu u cilju poboljšanja kvaliteta stukture objekata i samim tim uštedela energija.

Ovaj metod obezbeđuje vrlo efikasnu analizu energetske efikasnosti zgrada jer se podaci o velikom broju različitih objekata mogu brzo prikupiti, a napredni algoritmi veštačke inteligencije izdvajaju ključne informacije o toplotnim gubicima sa infracrvenih snimaka i omogućuju klasifikaciju izolacije zgrada.

## **3. Hipoteze, cilj i metode istraživanja**

Opšta hipoteza od koje se polazi u disertaciji glasi „Infracrvenim snimcima drona pri preporučenim spoljnim parametrima sredine dobija se prava slika termalnih karakteristika građevinskih objekata“

Posebna hipoteza koja je izdvojena iz opšte je „Izdvajanjem oblasti zgrade sa uočljivim toplotnim gubicima pomoću kompjuterske vizije mogu se detektovati zone koje je potrebno obnoviti i rekonstruisati“

Formulisana je i pojedinačna hipoteza „Primenom veštačke inteligencije na infracrvene snimke zgrade naselja zabeležene dronom mogu se pronaći one sekvence koje iz najpovoljnije perspektive prikazuju objekat“

Sa napretcima veštačke inteligencije i robotike mogu se postići automatski servisi preko inteligentnih softvera za obradu podataka. Interpretacija termalnih slika uključuje visoku subjektivnost i oslanja se pre svega na ekspertizu opertera. Zbog toga je ovaj projekat imao za cilj razvoj metoda za automatsko tumačenje i karakterizaciju toplotnih slika.

Metodika ovog istraživanja obuhvata preradu rezultata infracrvenih termografskih merenja i predstavlja analizu termalnih slika zgrada višestrukim algoritmima mašinskog učenja radi donošenja konačnih odluka o izolacionom stanju zgrada.

Pomoću inspekcije dronom dobijene su korisne grafičke informacije kao i infracrveni video zapis, a primenom algoritama kompjuteske vizije prevazilaze se teškoće analize podataka. Ova studija opisuje protokole ispitivanja različitih zgrada jedinstvenom metodom koja obuhvata višestruke akcije algoritama veštačke inteligencije. Primenjene su metode izdvajanja ivica i linija radi određivanja pozicionih parametara objekata zbog uticaja ugla kamere pri ispitivanju objekta. Upotrebljena je Mask R-CNN neuralna mreža, detekcija objekata pomoću RetinaNet modela i CNN za identifikaciju termalnih mostova. Proračunima IoU je potvrđena tačnost algoritma za detekciju segmenata zgrada.

Za sve izdvojene elemente sa infracrvenih slika zgrada algoritamski su utvrđene najčešće nijanse boja i ukupan broj piksela da bi se odredila zahvaćenost objekta toplotnim gubicima i uticaj na celokupne termalne procese objekta. To daje procene prosečnih temperatura pojedinačnih elemenata zgrade koje se upoređuju sa temperaturom fasade. Metodom klasterizacije slike omogućeno je upoređivanje svetlih i tamnih segmenata infracrvenih slika, kako bi se poboljšala tačnost analize oblasti sa toplotnim gubicima. Razrađena je detaljna analiza scenarija gubitaka toplote.

#### **4. Sadržaj disertacije**

U prvom poglavlju navode se aktuelni aspekti u težnji za uštedom energije i dati su razlozi za ispitivanje problema. Izneti su osnovni principi klasičnih termografskih merenja, primena veštačke inteligencije i dat je iscrpan pregled postojeće literature iz ovog domena uz osvrt na uočena ograničenja u klasifikaciji izolacije zgrada.

Drugo poglavlje opisuje arhitekture modela veštačke inteligencije koji je primenjen u obradi prikupljenih podataka.

U trećem poglavlju prezentovane su metode kompjuterske vizije u obradi snimaka kao i postupak klasifikacije izolacije zgrada.

U četvrtom poglavlju dati su rezultati merenja termalnih karakteristika ispitanih građevina, a u petom poglavlju analizira se pouzdanost termalnih merenja.

U šestom poglavlju kompariran je u ovom istraživanju primenjen pristup sa drugim pristupima i dat je osvrt na buduće trendove u ovoj oblasti.

U zaključku su uz sažet opis istraživačkog pristupa, iznete prednosti razvijenog metoda za kategorizaciju izolacije građevinskih objekata.

## 5. Postignuti rezultati i naučni doprinos doktorske disertacije

Razvijen je pristup za pojednostavljenu, brzu metodu za utvrđivanje izolacionog stanja zgrada upotrebom infracrvenih merenja dronom i dubokih neuralnih mreža za obradu video zapisa. Razvijeni metod se može upotrebiti kao polazni instrument za donošenje zaključaka o izolaciji objekata i njenom poboljšanju.

Zgrade su izložene kompleksnim uslovima okruženja i klime, a predstavljenim metodom putem proračuna prosečnih temperatura površina, doneti su zaključci o stanju izolacije. Obezbeđena je analiza kompletnog termalnog stanja zgrade i detekcija termalnih anomalija.

Pomoću predloženog metoda, može se razviti strategija održavanja zgrade na osnovu utvrđenog energetskeg ponašanja zgrade. Zato se ovo istraživanje može upotrebiti kao polazna osnova za planiranje investicija za obnovu objekata radi poboljšanja njihove energetske efikasnosti. U poređenju sa tradicionalnim infracrvenim inspekcijama ove operacije su fleksibilnije i omogućuju bolju efikasnost i smanjene troškove.

## 6. Mišljenje i predlog Komisije o doktorskoj disertaciji

Na osnovu svega izloženog Komisija je mišljenja da doktorska disertacija kandidatkinje Ivane Walter po svojoj temi, pristupu, strukturi i sadržaju rada, kvalitetu i načinu izlaganja, metodologiji istraživanja, načinu korišćenja literature, relevantnosti i kvalitetu sprovedenog istraživanja donetim zaključcima zadovoljava kriterijume zahtevane za doktorsku disertaciju, te se može prihvatiti kao podobna za javnu odbranu.

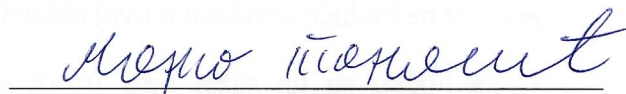
Sagledavajući ukupnu ocenu disertacije kandidatkinje Ivane Walter pod nazivom "Primena veštačke inteligencije za analizu i klasifikaciju stanja izolacije na zgradama" predlažemo Veću departmana za posle diplomске studije i Senatu Univerziteta Singidunum da prihvati napred navedenu doktorsku disertaciju i odobri njenu javnu odbranu

Beograd, 21 novembar, 2023



Prof. dr Miloš Stanković,

Univerzitet Singidunum, Beograd



Prof. dr Marko Tanasković,

Univerzitet Singidunum, Beograd



Doc. dr Milan Čabarkapa,

Univerziteta u Kragujevcu