

Savremene metode određivanja energetske gubitaka objekata

Toša Ninkov^{*1}, Vladimir Bulatović¹, Milivoj Vulić²

¹Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad

²Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana

Rezime:

Rad ukazuje na značaj utvrđivanja energetske gubitaka kod objekata u cilju saniranja problema energetske gubitaka i izdavanja energetske pasoša. Prikazane su dve savremene metode za prikupljanje informacija koje su zasnovane na principima termografije. Prva metoda odnosi se na primenu sistema daljinske detekcije koji sadrže senzore iz infracrvenog dela elektromagnetnog spektra. Druga metoda koristi LIDAR tehnologiju za prikupljanje oblaka tačaka i termalnih snimaka iz vozila u pokretu. Ovi podaci ne samo da omogućuju izgradnju 3D modela urbanih sredina, već i u kombinaciji sa termalnim snimcima predstavljaju osnovu za analizu velikog broja objekata, njihovih termalnih karakteristika i značajan resurs za izdavanje energetske pasoša.

Ključne reči: energetske gubici, termalni snimci, daljinska detekcija, LIDAR

1. Uvod

Detekcija i kvantifikacija energetske gubitaka objekata urbanih sredina je još uvek nedovoljno standardizovan problem. Istraživanje načina i metoda prikupljanja podataka doprinelo bi ovoj problematici, kako bi se na osnovu prikupljenih egzaktnih podataka obezbedile jednoznačne instrukcije za izdavanje energetske pasoša, izradu projekata energetske sanacije i rehabilitacije svakog pojedinačnog objekta. Prikupljeni podaci o energetskim gubicima mogu se koristiti i za mnoge druge potrebe vezane za planiranje razvoja energetske resursa i njihove distribucije u urbanim sredinama.

Trendovi korišćenja obnovljivih izvora energije i strategije održivog razvoja ne mogu se ni zamisliti bez energetske ušteda. Sagledavanje energetske gubitaka na objektima u urbanim sredinama nameće potrebu za razvijanjem metodologije prikupljanja relevantnih podataka i izgradnje baze podataka. Relevantne podatke čine: opšti podaci o zgradi (adresa, katastarska parcela, spratnost, površina), klimatski podaci, podaci o termotehničkim sistemima u zgradi, podaci o termičkom omotaču zgrade, podaci o sistemu grejanja, načinu regulacije, energetskim potrebama i gubicima [1].

* Corresponding author. Email: ninkov.tosa@gmail.com

Prikupljanje svih ovih informacija od nule za objekte u urbanim sredinama bio bi skup i mukotrpan proces. Alternativu predstavlja korišćenje postojećih prostornih podataka kao što su katastarski podaci uz podatke koji su proizvod neke od rapidnih metoda termalnog snimanja, a sve u cilju smanjenja količine podataka koja se mora prikupiti o svakom objektu neposrednim uvidom.

2. Princip infracrvene termografije

IC termografija je beskontaktna metoda merenja temperature i njene raspodele sa površine tela. Ova metoda zasnovana je na merenju intenziteta IC zračenja sa posmatrane površine. Kao rezultat merenja dobija se termogram, kodiranu sliku temperaturne raspodele na površini posmatranog objekta.

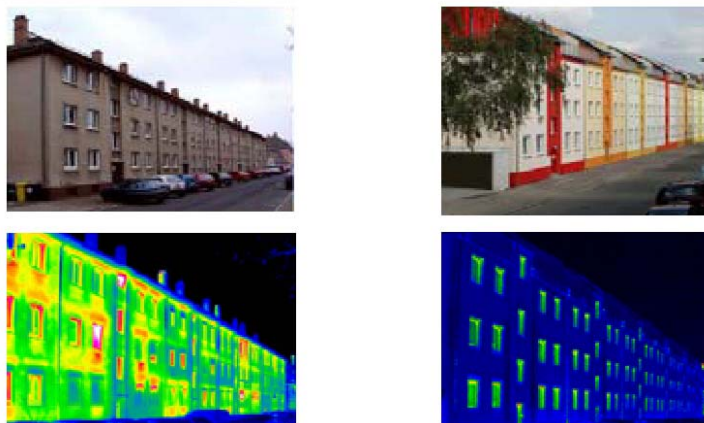
IC svetlost pripada oblasti elektromagnetnog spektra, talasne dužine od 740nm do 1mm. Ovaj opseg talasne dužine uključuje većinu termalnog zračenja koje emituju objekti na sobnoj temperaturi. IC svetlost molekuli emituju ili apsorbuju tokom svoji vibraciono-rotacionog kretanja. IC spektar se deli na:

- NIR, 750-1400nm
- SWIR, 1400-3000nm
- MWIR, 3000-8000nm
- LWIR, 8000-15000nm
- FIR, 15000nm-1mm

Longwavelenght Infrared, LWIR naziva se i termalni region, u kojem pasivni senzori mogu registovati termalno zračenje bez spoljnog termalnog izvora.

Sistemi za termografiju najčešće se sastoje od termalne kamere i kompjuterske jedinice za obradu termograma. Sama kamera sadrži IC optiku, senzor IC zračenja, jedinicu za pretvaranje električnog u video signal i memoriju za čuvanje podataka. Optika koja se koristi u ovim sistemima mora biti propusna za IC zračenje. Sam senzor meri količinu energije koja odgovara intenzitetu zračenja IC spektra. Energija koju registruje senzor jednaka je sumi energija koje dolaze od posmatranog tela (emisije i refleksije), energije koja prolazi kroz telo i energije koja dolazi od okoline. Kako bi se na osnovu intenziteta zračenja koje senzor registruje izračunala korektna vrednost temperature posmatranog objekta, potrebno je poznavati neke parametre kao što su: udaljenost kamerapoljna temperatura i vlažnost, temperatura okolnih objekata kao i svojstva površine objekta čija se temperatura meri.

Pored brojnih oblasti primene, termografija je našla veliku primenu i u građevinarstvu kod kontrole kvaliteta izvođenja novih objekata, ali i procene stanja postojećih [2]. Termografija omogućava uvid u stanje toplotne izolacije objekta i otkrivanje nedostataka i oštećenja kao i mogućeg prisustva vlage i toplotnih mostova.



Slika 1: Termografski snimak fasade pre i posle rekonstrukcije objekta

3. Daljinska detekcija energetskih gubitaka

Daljinska detekcija kao metoda snimanja podrazumeva prikupljanje podataka sensorima iz različitih opsega spektralnih vrednosti. U kombinaciji sa položajem senzora koristeći principe fotogrametrije, kao rezultat dobija se višekanalni snimak kojim se dalje u procesu obrade može generisati višekanalni ortofoto plan. Za dobijanje ortofoto plana u boji potrebno je izvršiti snimanje sensorima iz domena crvenog, zelenog i plavog spektra. Korišćenjem dodatnih senzora mogu se prikupiti i druge značajne informacije, kao što su toplotna emisija, apsorpcija i refleksija sunčevog zračenja i slično.

Povećanje urbanih površina, industrijska proizvodnja, poljoprivredni rast i ostali neminovni procesi doprinose menjanju prirodnih uslova i ugrožavanju životne sredine. U tom cilju daljinska detekcija je prepoznata kao veoma efikasan alat za potrebe razumevanja i monitoringa prirodnih procesa. U tom cilju je lansiran određen broj satelita koji kontinuirano prikupljaju prostorne informacije.

Nedavno lansirani *Worldview-2* je prvi komercijalni satelit visoke rezolucije kompanije *Digital Globe* koji generiše 8-kanalne multispektralne snimke u vidljivom infracrvenom opsegu, kod koga je svaki senzor fokusiran na određeni opseg elektromagnetnog spektra osjetljivog na određenu površinu na terenu. On omogućava generisanje panhromatskih snimaka visoke rezolucije i 8-kanalnih multispektralnih snimaka (*8-band*), od kojih se 4 odnose na standardne boje (*red, green, blue* i *near-infrared*). Novi kanali su [3]:

- **Coastal Band (400-450 nm)** - omogućava identifikaciju i analizu područja sa vegetacijom, batimetrijske studije podmorja, istraživanje tehnika atmosferske korekcije,
- **Yellow Band (585-625 nm)** – omogućava identifikaciju žutog spektra što je veoma važno kod aplikacija koje se odnose na vegetaciju i pomaže boljem generisanju *true-color* slika,
- **Red-Edge Band (705-745 nm)** - pomaže u analizi vegetativnih stanja i povećanju osetljivosti na biljni materijal

- **Near Infrared 2 Band (860 - 1040 nm)** – preklapa se sa *NIR1* kanalom ali je manje osjetljiv na atmosferski uticaj u smislu rasipanja, podržava posebne analize vezane za toplotno zračenje entiteta prostora kao i za studije vegetacije i biomase.

Svaka od emitovanih frekvencija iz različitih senzora, odbija se od površine na drugačiji način. Bilo da se radi o zračenjima iz vidljivog ili nevidljivog dela spektra, kao rezultat snimanja dobijaju se višekanalni snimci. Tačnije broj kanala odnosi se na broj senzora sa kojim je izvršeno snimanje. Procesima multispektralne analize, odnosno utvrđivanjem načina na koji se zračenje iz pojedinačnih senzora reflektuje od površine koja se snima, kombinovanjem ovakvih zaključaka, pruža se mogućnost definisanja zakonitosti koje sadrže niz informacija o snimljenom objektu ili površini objekta. Posebno korisne informacije mogu se dobiti multispektralnom analizom kanala iz spektra bliskom infracrvenom. Ovi senzori jasno mogu detektovati površine koje emituju ili reflektuju toplotno zračenje. Rezultat ovakve analize nije samo potvrda da neka površ odaje toplotnu energiju, već postoji i mogućnost dobijanja informacija o količini i temperaturi emitovane toplote. Ovim se otvara mogućnost izrade tematskih karata koji određenom skalom boje reprezentuje različite nivoa emisije ili refleksije toplote. Ovakve karte u zavisnosti od materijala i boje površi mogu doprineti donošenju zaključaka vezanih za detekciju i kvantifikaciju energetske gubitaka u urbanim sredinama. Pored skale boja mogu se koristiti i drugi načini vizualizacije kao što su izoterme.

Pomoću *Worldview-2* snimaka visoke rezolucije moguće je kreiranje interaktivnih karata u urbanim sredinama u cilju boljeg održavanja gradskih službi, upravljanja resursima, održavanja putne mreže, detektovanja zona sa velikim gubicima energije bez terenskih merenja. Sa prostornom rezolucijom od 0.5 do 1 m ovi satelitski senzori dosledno demonstriraju sposobnost klasifikacije površina različite zagrejanosti u urbanim područjima na osnovu različitih stambenih tipova, odvajanje asfaltiranih i neasfaltiranih puteva, itd. Čak i smanjenjem prostorne rezolucije, a povećanjem spektralnih osobina, 8-kanalni snimci omogućavaju ekstrakciju različitih tipova krovova i stanja njihove zagrejanosti. Kada je reč o *Worldview-2* senzoru i generisanju 8-kanalnih snimaka, drastično je poboljšano tačnost u poređenju sa dosadašnjim *VNIR* snimcima.



Slika 2: Klasifikacija površi prema zagrejanosti

4. LIDAR u detekciji energetskih gubitaka

LIDAR (Light Detection And Ranging) je sistem za premer iz vozila ili iz letelice u pokretu koji integriše nekoliko uređaja: GPS, inercijalni sistem, laserski skener i optičke senzore. LIDAR ima veoma jednostavan princip merenja. Skener emituje impulse sa visokom frekvencijom i reflektuje se od površi nazad do instrumenta. Ogledalo unutar laserskog transmitera se pomera rotirajući upravno na pravac letanja čime se omogućuje merenje u širem pojasu. Vreme proteklo od emisije do povratka svakog impulsa i ugao otklona od vertikalne ose instrumenta se koriste za određivanje relativne pozicije svake merene tačke. Apsolutna pozicija senzora se određuje GPS-om kada god je to moguće, a pozicije između se određuju predikcijom uz pomoć inercijalnog sistema koji takođe obezbeđuje i orijentaciju. Podaci laserskog skeniranja se kombinuju sa pozicijom skenera i orijentacijom da bi se dobila trodimenzionalna koordinata laserskog otiska na površi terena. Emitovani zrak može imati višestruku refleksiju što uzrokuje da određena tačka ima iste koordinate, ali različitu visinu. Prva refleksija može poticati od vegetacije ili ivice objekta, voda ili sličnog, dok poslednja najverovatnije potiče od površi Zemlje ili veštačkog objekta. Ukoliko je prvi impuls skoro jednak poslednjem najčešće se radi o površi Zemlje. Ne postoji informacija da li refleksija potiče od Zemljine površi ili objekta [4].

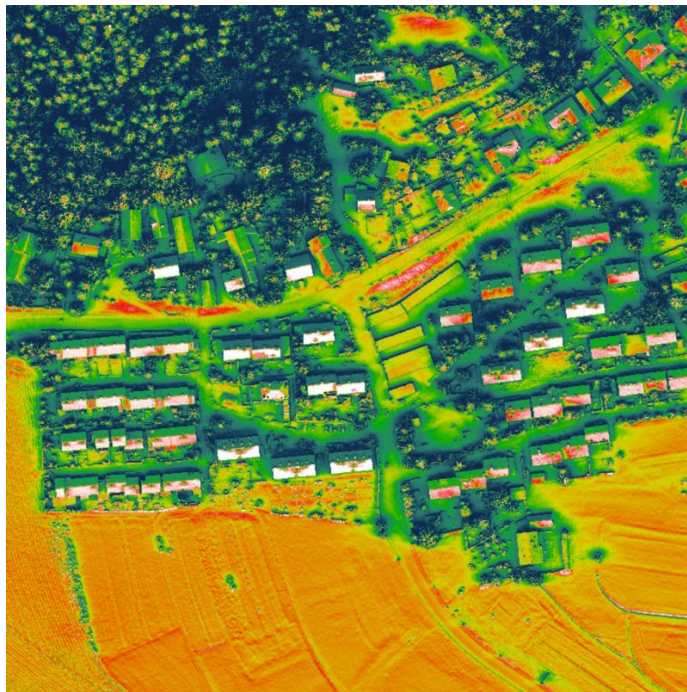
DEM (Digital Elevation Model) je kontinualni matematički model koji reprezentuje površ Zemlje. Visina je funkcija položajnih koordinata. Važno je ukazati na dve vrste DEM-a: Digital Surface Model (DSM), tj. digitalni model površi koji reprezentuje Zemljinu površ sa svim prirodnim i veštačkim objektima na zemlji uključujući kuće, zgrade, vegetaciju i Digital Terrain Model (DTM), tj. digitalni model terena koji reprezentuje "golu" Zemljinu površ bez vegetacija i veštačkih objekata. Tokom izrade topografskih planova i u raznim fazama projektovanja, oba modela se intenzivno koriste.

U cilju dobijanja DTM-a potrebno je primenom inteligentnih algoritama izvršiti klasifikaciju tačaka u tri kategorije. Tačka pripada Zemljinoj površi, objektu ili vegetaciji. Bez većeg zalaženja u detalje, princip klasifikacije je sledeći [5]:

- Identifikuju se tačke po principu prva i poslednja od sličnih po visini. Na osnovu identifikovanih tačaka kreiraju se poligoni.
- Sve tačke poslednjeg eha koje padaju u detektovane poligone i imaju sličnu visinu u prvom i poslednjem ehu najverovatnije pripadaju objektu.
- Sve tačke prvog eha koje padaju u detektovane poligone i imaju značajno različitu visinu od poslednjeg eha najverovatnije pripadaju vegetaciji
- Na osnovu tačaka koje su klasifikovane kao tačke koje pripadaju terenu kreira se model. Ovakav model predstavlja DTM.

Na osnovu RGB i NIR snimaka i DSM prvog eha, vrši se ortorektifikacija i georeferenciranje i kao finalni rezultat dobijaju se ortofoto planovi u boji i u spektru bliskom IR [6]. Klasifikacijom tačaka LIDAR podataka i kreiranjem modela od tačaka koji pripadaju terenu dobija se DTM.

DSM prvog eha, DTM i ortofoto plan dobijen iz RGB i NIR snimka predstavlja set podataka koji čini trodimenzionalni ortofoto plan. Nad ovim setom podataka mogu se vršiti brojne analize korišćenjem GIS tehnologije i ekstrakcija sekundarnih sadržaja kao što su izohipse, podužni i poprečni profili, digitalizacija sadržaja snimaka i sl [7]. Takođe sam oblak tačaka može preuzeti svojstva sa RGB ili NIR snimaka, pri čemu svaka tačka dobija odgovarajuću boju ili intenzitet zračenja ako su u pitanju NIR snimci.



Slika 3: NIR Ortofoto plan dobijen iz LIDAR podataka

5. Primena GIS tehnologije

Od postojećih podataka iz službi kao što su katastar, toplane i druge koje sadrže neophodne podatke i podataka prikupljenih nekom od navedenih metoda, kreiranje GIS sistema koji bi omogućio prikupljanje, ažuriranje, prezentovanje, analizu, podršku odlučivanju i izveštavanje predstavljao bi moćan resurs za planiranje i donošenje odluka, kao i za izdavanje energetske pasoša o objektima. Korišćenjem GIS alata moguće je automatski generisati izveštaje za sve objekte za koje se prikupe relevantne informacije [8]. Takođe, moguće je sprovesti i analizu na bazi kategorija energetske efikasnosti i eventualno utvrditi prioritete zadatke u sanaciji objekata čiji su gubici kritični. Ovakva baza podataka omogućila bi projektantima kvalitetnije sagledavanje aktuelnog stanja kao i mogućnost praćenja promena na energetskim gubicima po završetku sanacije i donošenje značajnih zaključaka kada je reč o masovnijim kampanjama sanacije objekata

6. Zaključak

Uzimajući u obzir prikaze mogućnosti napred navedenih tehnologija može se zaključiti da je masovno prikupljanje relevantnih podataka o energetskim gubicima građevinskih objekata realnost te se do baze podataka može doći u relativno kratkom roku i za mala finansijska sredstva. Njihovom primenom proces prikupljanja podataka za izdavanje energetske pasoša značajno bi se pojednostavio. Korišćenjem baze podataka o energetskim gubicima i podataka aktuelnog energetske stanja građevinskih objekata mogu se raditi kvalitetni projekti sanacija objekata i praviti kvalitetna planska akta upravljanja energetskim troškovima u urbanim sredinama. Izrada kvalitetnih planskih akata i njihova realizacija mogu obezbediti uslove za optimalno upravljanje energetskim resursima urbanih sredina.

Literatura

- [1] Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada, Sl. glasnik RS br. 61/2011
- [2] Švaić S., Boras I., Suša M.: Termografija u zgradarstvu, Strojarsvo, Vol. 51 (5), 2009
- [3] Worldview II, <http://worldview2.digitalglobe.com/about/>
- [4] M. A. Brovelli, M. Cannata, U. M. Longoni: Managing and processing LIDAR data within GRASS, 2002.
- [5] M. Neteler, H. Mitasova: Open Source GIS: A GRASS GIS Approach, 2002
- [6] Ninkov T., Bulatović V., Sušić Z., Vasić D.: Application of laser scanning technology for civil engineering projects in Serbia , FIG Congress 2010, Sydney, Australia, 2010.
- [7] Šumarac D., Ninkov T., Todorović M., Bulatović V.: Review of a methodology for determination of energy loss in civil construction buildings, Konferencija o energetskoj efikasnosti 2011, Portorož
- [8] Bulatović V., Ninkov T., Sušić Z.: Open Geospatial Consortium Web Services in Complex Distribution Systems, Geodetski list, Zagreb 2010