

# Mara Vogrinec, Simon Koblar, Alenka Fikfak, Janez P. Grom: OD ANALIZE DO KLASIFIKACIJE: AVTOMATIZACIJA KLASIFIKACIJE STANOVANJSKIH STAVB Z ORODJI GIS

## FROM ANALYSIS TO CLASSIFICATION: AUTOMATION OF RESIDENTIAL BUILDING CLASSIFICATION USING GIS TOOLS

DOI: <https://doi.org/10.15292/IU-CG.2024.12.036-045> ■ UDK: 711.581:004:91(497.4) ■ SUBMITTED: November 2024 / REVISED: December 2024 / PUBLISHED: December 2024

1.01 Izvirni znanstveni članek / Scientific Article

### POVZETEK

Raziskava se osredotoča na razvoj analitičnega orodja GIS za klasifikacijo stanovanjskih stavb, zasnovanega za podporo prostorskemu načrtovanju in urbanistični analizi v Sloveniji. Klasične metode za analizo prostorskih podatkov so zamudne in pogosto temeljijo na ročnih postopkih, kar omejuje njihovo učinkovitost in uporabnost pri obsežnejših projektih. Razvito orodje, ki temelji na integraciji morfološke analize v okolju GIS, omogoča samodejno razvrščanje stavb glede na različne tipologije in vzorce zazidave, kar predstavlja pomemben korak k avtomatizaciji morfološke analize in standardizaciji prostorskih podatkov.

Orodje povezuje podatke iz katastra nepremičnin s pravili iz strokovne literature, kar omogoča dosledno razvrščanje stavb v prostostoječe in povezane stavbe, z nadaljnjo klasifikacijo po tipologiji in vzorcu zazidave.

Pri razvoju orodja sta bila uporabljena PostgreSQL z razširitvijo PostGIS za obdelavo podatkov in QGIS za vizualizacijo, kar zagotavlja odprtost in dostopnost. Orodje je bilo testirano na treh slovenskih mestih, Mariboru, Velenju in Škofji Loki, kjer se je pokazalo kot zanesljivo in prilagodljivo na lokalne razmere. Rezultati kažejo, da orodje GIS poenostavi delo prostorskim načrtovalcem ter prispeva k trajnostnemu urbanemu razvoju, saj omogoča nadzor nad urbano rastjo in prilagajanje prostorskih politik glede na natančne podatke o stavbah. Razvoj tovrstnih orodij v Sloveniji ima velik potencial, saj nadgrajuje obstoječe prostorske podatke in omogoča prihodnje izboljšave.

### KLJUČNE BESEDE

GIS, tipologija stanovanjskih stavb, morfologija, PostgreSQL, kataster nepremičnin, Slovenija

### ABSTRACT

The research focuses on the development of a GIS analytical tool for the classification of residential buildings, designed to support spatial planning and urban analysis in Slovenia. Traditional spatial data analysis methods are time-consuming and often rely on manual procedures, limiting their efficiency and applicability for large-scale projects. Developed tool integrates morphological analysis within a GIS environment to enable the automated classification of buildings based on various typologies and patterns, representing a significant advancement in the automation and standardization of spatial data analysis.

The tool integrates data from the real estate cadastre with established rules from literature, allowing for consistent classification of buildings into detached and connected types, with further classification by typology and building pattern.

The development process utilized PostgreSQL with the PostGIS extension for data processing and QGIS for visualization, ensuring accessibility through open-source software. The tool was tested in three Slovenian cities - Maribor, Velenje, and Škofja Loka - where it proved to be reliable and adaptable to local conditions. Results show that the GIS tool simplifies the work of spatial planners and supports sustainable urban development, as it facilitates monitoring urban growth and adjusting spatial policies based on precise building data. The development of such tools in Slovenia offers significant potential, as it enhances existing spatial data and allows for future improvements.

### KEY-WORDS

GIS, residential building typology, morphology, PostgreSQL, building cadastre, Slovenia

UVODNIK  
EDITORIAL  
ČLANEK  
ARTICLE

RAZPRAVA  
DISCUSSION  
RECENZIJA  
REVIEW  
PROJEKT  
PROJECT  
DELAVNICA  
WORKSHOP  
NATEČAJ  
COMPETITION  
PREDSTAVITEV  
PRESENTATION  
DIPLOMA  
MASTER THESIS

## 1. UVOD

V sodobnem urbanističnem načrtovanju je obdelava prostorskih podatkov ključnega pomena za učinkovito upravljanje mestnih območij. Hiter razvoj urbanih območij in kompleksne prostorske ureditve ustvarjajo potrebo po naprednih orodjih, ki omogočajo sistematično analizo stavbnega sklada. Klasifikacija stanovanjskih stavb, ki vključuje prepoznavanje tipologij in prostorskih vzorcev, ima pomembno vlogo pri vrednotenju obstoječih urbanih struktur in podpora strateškim odločitvam v procesu načrtovanja. Vendar pa Slovenija še vedno nima vzpostavljene enotne evidence stavbnih tipologij, kar otežuje dostop do celovitih in zanesljivih podatkov, potrebnih za prostorsko načrtovanje. Morfološka analiza je ključen pristop pri analizi urbanih prostorov, saj omogoča razumevanje fizičnih lastnosti mestnih območij, kot so gostota stavb, prostorski vzorci in tipologija stavb. Raziskave kažejo, da analiza morfologije prispeva k boljšemu razumevanju prostorskih struktur, kar je ključno za načrtovanje trajnostnih urbanih območij (Batty in Longley, 1994; Goodchild, 2009). Metode morfološke analize vključujejo različne tehnike, kot so uporaba prostorskih podatkov za identifikacijo tipologij stavb, analizo urbanih vzorcev in prepoznavanje odnosov med različnimi prostorskimi enotami (Hecht, 2014).

Na področju klasifikacije stavbnih tipologij v Sloveniji se pogosto pojavlja pomanjkanje enotnih in sistematičnih pristopov, ki bi omogočili učinkovito obdelavo velikih količin prostorskih podatkov. Tradicionalni ročni postopki so zamudni, zanesljivost teh metod pa je omejena. Pomanjkanje standardiziranih orodij za klasifikacijo tipologij stavb predstavlja izziv za urbaniste in prostorske načrtovalce, saj otežuje dostop do celovitih in točnih podatkov, ki so potrebni za sprejemanje informiranih odločitev v prostorskem načrtovanju. Obstoječe rešitve na tem področju, čeprav omogočajo osnovne analize, niso dovolj napredne za obvladovanje velikih količin podatkov, ki so potrebni za sodobno prostorsko načrtovanje. Večina teh metod temelji na ročnem razvrščanju, kar je zelo časovno zahtevno, posledično je pri večjih območjih pogosto vprašljiva natančnost rezultatov. Poleg tega so številna orodja, ki obravnavajo tipologije stavb, pogosto nepovezana z uradnimi evidencami, kot na primer kataster nepremičnin, kar omejuje njihovo uporabnost v praksi.

Raziskava se osredotoča na razvoj orodja za avtomatizirano klasifikacijo stanovanjskih stavb, ki temelji na morfološki analizi in uporabi prostorskih podatkov iz katastra nepremičnin (GURS, 2024a). Ta rešitev omogoča hitrejšo in zanesljivo klasifikacijo stavb ter podpira trajnostni razvoj urbanih območij z zagotavljanjem kakovostnih podatkov za nadaljnje raziskave in prostorsko načrtovanje. Razvito orodje zapolnjuje vrzel v sistematičnem evidentiranju tipologij stavb v Sloveniji ter prispeva k razvoju novih metod za učinkovitejšo prostorsko načrtovanje in upravljanje urbanih območij. Glavni cilj raziskave je razviti rešitev, ki bo omogočila avtomatizirano in standardizirano obdelavo prostorskih podatkov, kar bo omogočilo lažje in hitrejšo razvrščanje stanovanjskih stavb glede na tipologijo in prostorske značilnosti. S tem bo podprto strateško načrtovanje urbanih območij, kjer so podatki o tipologijah stavb ključnega pomena za oblikovanje trajnostnih urbanih politik. S tem pristopom raziskava prispeva k izboljšanju prostorskega načrtovanja v Sloveniji, saj zagotavlja orodje, ki omogoča učinkovito obdelavo in analizo velikih količin prostorskih podatkov, kar bo pomagalo urbanistom pri sprejemanju bolj informiranih odločitev. Razvito orodje je prilagodljivo in omogoča prihodnje izboljšave, kar zagotavlja njegovo uporabnost tako v Sloveniji kot tudi v drugih urbanih okoljih.

## 2. CILJI IN METODE

Raziskava se osredotoča na razvoj orodja GIS za klasifikacijo stanovanjskih stavb v Sloveniji, ki podpira urbanistično načrtovanje s ciljem učinkovitega zbiranja in analiziranja prostorskih podatkov. Glavni cilji raziskave vključujejo zasnovanje, razvoj, testiranje in optimizacijo orodja, ki bo omogočilo avtomatizirano razvrščanje stanovanjskih stavb po tipologijah in vzorcih zazidave. To je ključnega pomena za boljše razumevanje urbanih vzorcev in za sprejemanje informiranih odločitev v prostorskem načrtovanju, predvsem v kontekstu naraščajočih potreb po natančnih podatkih v urbaniziranih območjih (Nicholson, 2021).

Prvi cilj raziskave je oblikovanje celovitega nabora klasifikacijskih meril in tipologij stanovanjskih stavb, ki temeljijo na morfoloških značilnostih in prostorskih odnosih stavb. Klasične metode klasifikacije so se doslej večinoma osredotočale na osnovne značilnosti stavb, kot so velikost, oblika in lokacija, vendar pogosto niso bile zmožne zajeti prostorskih interakcij med stavbami v večjem obsegu. Orodje GIS, razvito v tej raziskavi, vključuje napredne morfološke analize, ki upoštevajo tudi prostorske razmerje med stavbami, kot so povezljivost, bližina in prostorski vzorci zazidave. Ta orodja omogočajo natančnejšo razvrstitev in omogočajo prostorskim načrtovalcem boljše preglednost nad stavbnim skladom.

Drugi cilj je avtomatizacija postopkov klasifikacije stavb, kar pomeni, da orodje ne bo le hitro, ampak tudi učinkovito pri obdelavi velikih prostorskih podatkovnih nizov. Z avtomatizacijo se bo zmanjšala potreba po ročnih postopkih, kar pomeni, da bo proces klasifikacije hitrejši, z manj napakami in bo omogočal lažje posodabljanje podatkov. Avtomatizacija omogoča prostorskim načrtovalcem hitrejši dostop do aktualnih prostorskih podatkov, ki so potrebni za spremljanje in prilagajanje urbanističnih politik glede na spremembe v urbanem okolju.

Orodje smo zasnovali na odprtokodni programski opremi, s čimer se omogoča njena uporaba širšemu krogu potencialnih uporabnikov. Programska orodja, kot so PostgreSQL z razširitvijo PostGIS za prostorske podatke ter QGIS za vizualizacijo in analizo, so bila izbrana zaradi svoje široke uporabe v strokovni skupnosti, prilagodljivosti in možnosti integracije z drugimi prostorskimi sistemi. Razvito orodje (Vogrinc, 2024a) bo torej dostopno širokemu krogu uporabnikov in omogočalo tudi nadaljnje nadgradnje, prilagoditve in prilagajanje posebnim potrebam v različnih prostorskih okoljih, vključno z uporabo v drugih državah ali regijah z lastnimi prostorskimi podatki.

### 2.1. METODOLOŠKI PRISTOP

Pri doseganju zgoraj opisanih ciljev je bila uporabljena kombinacija metod za zbiranje podatkov, analizo in razvoj orodij, ki omogočajo natančno razvrščanje stavb. Metodološki pristop zajema več ključnih korakov:

#### **Določitev klasifikacijskih meril in oblikovanje podatkovnih baz**

Osnovna klasifikacijska merila, kot so morfološke značilnosti stavb, povezljivost med objekti ter prostorski vzorci zazidave, so bila določena na podlagi pregleda obstoječe literature (Čerpes idr., 2001, Azinović idr., 2014, Čerpes idr., 2019) in analize aktualnih prostorskih podatkov. Vhodni podatki za orodje so bili pridobljeni iz podatkovne baze E-prostor, ki jih zagotavlja Geodetska uprava Republike Slovenije (GURS, 2024b). Ta baza podatkov vsebuje ključne podatke o geometriji in atributih stavb, ki so bili uporabljene za morfološke analize. Ključni podatki so kataster nepremičnin, državni topografski model in namenska raba zemljišč.

**Razvoj metode in orodja za klasifikacijo**

Razvoj orodja je temeljil na pristopu podprtem z znanjem, kjer so bili vnaprej določeni klasifikacijski kriteriji in pravila, ki temeljijo na strokovni literaturi in preteklih raziskavah. Orodje je bilo razvito v PostgreSQL z razširitvijo PostGIS, ki omogoča natančno analizo in obdelavo prostorskih podatkov. Orodje je bilo kot SQL poizvedba integrirano v QGIS v klasifikacijske sklope, ki omogočata uporabnikom izvedbo analiz z uporabo grafičnega vmesnika.

**Testiranje in umerjanje orodja na konkretnih primerih**

Orodje je bilo testirano na primeru treh slovenskih mest, Maribora, Velenja in Škofje Loke, ki so bila izbrana zaradi njihovih različnih urbanih značilnosti. Maribor, kot večje urbano središče, omogoča analizo raznolikih tipov stanovanjskih stavb, Velenje kot srednje veliko mesto z močnim industrijskim in urbanim vplivom, medtem ko Škofja Loka predstavlja zgodovinsko manjše urbano okolje. Testiranje je omogočilo preverjanje zanesljivosti klasifikacijskih postopkov, kjer so bile preverjene zmožnosti orodja za prilagajanje lokalnim prostorskim značilnostim.

**Vrednotenje in prilagoditev klasifikacijskega orodja**

Po opravljenem testiranju je bilo orodje prilagojeno in izboljšano glede na rezultate testiranja. Analiza zmogljivosti orodja je vključevala oceno različnih metrik, kot so zanesljivost klasifikacije, učinkovitost obdelave podatkov in uporabnost v praksi. Prilagoditve so omogočile boljše delovanje orodja na večjih podatkovnih nizih in izboljšanje zanesljivosti klasifikacije.

**Prilagodljivost orodja za mednarodno uporabo**

Ker je orodje zasnovano na odprtokodni platformi in uporablja univerzalne klasifikacijske metode, je prilagodljivo za uporabo tudi izven slovenskih meja. Za pravilno klasifikacijo stanovanjskih stavb v širšem mednarodnem kontekstu, je potrebno narediti več korakov za prilagoditev, ki vključujejo pripravo vhodnih podatkov ter prilagoditev klasifikacijskih pogojev lokalnim značilnostim.

**Vizualizacija rezultatov in uporabniški priročnik**

Orodje vključuje vizualizacijo klasifikacijskih rezultatov v programu QGIS, kar omogoča uporabnikom enostaven pregled nad podatki in rezultati analiz. Poleg tega je bil pripravljen uporabniški priročnik, ki je predstavljen v obliki magistrske naloge z naslovom *Integracija analitičnih metod v GIS za klasifikacijo stanovanjskih stavb: Razvoj orodja* (Vogrinc, 2024b). Priročnik vsebuje opis osnovnih funkcionalnosti orodja, navodila za njegovo uporabo in prilagoditev ter praktične nasvete za razlago rezultatov.

Metodologija, uporabljena pri razvoju tega orodja GIS, temelji na natančni integraciji analitičnih metod, ki omogočajo zanesljivo klasifikacijo tipologij stavb. Vključitev morfoloških analiz v GIS omogoča učinkovito identifikacijo prostorskih vzorcev in tipologij, kar je ključno za prostorsko načrtovanje. Z zagotavljanjem avtomatizacije in prilagodljivosti orodja je mogoče to orodje uporabiti za izboljšanje prostorskega načrtovanja na lokalni, regionalni in mednarodni ravni.

### 3. ORODJE

Pred razvojem orodja za klasifikacijo stanovanjskih stavb smo izvedli temeljito analizo strokovne literature (Azinović idr., 2014; Čerpes idr., 2001, 2019; Hecht idr., 2015), obstoječih raziskav (Dascalaki idr., 2011; Loga idr., 2012; Tibermacine in Zemouri, 2017) in že razvitih orodij za klasifikacijo stavb (Atwal idr., 2022; Hecht idr., 2015; Meinel idr., 2009) ter analizo stavbnega sklada in dostopnih podatkovnih virov. Cilj te analize je bil določiti

ustrezno metodologijo in parametre za klasifikacijo, opredeliti cilje in pričakovanja glede funkcionalnosti orodja, kot tudi določiti zahteve glede natančnosti, ustreznost tlorisov stavb, odpravo napak v katastru nepremičnin in opredelitev tipologij.

Na podlagi teh ugotovitev je bil postavljen načrt za razvoj orodja, ki mora:

- avtomatizirati proces analize in klasifikacije stavb,
- omogočati hitro obdelavo velikih podatkovnih nizov,
- zagotavljati natančne in zanesljive rezultate,
- biti prilagodljiv za različne prostorske kontekste,
- podpirati ročne preglede in prilagoditve, kadar so potrebni dodatni posegi.

#### 3.1. Izbor programske opreme

V procesu razvoja smo za obdelavo prostorskih podatkov izbrali odprtokodno programsko opremo PostgreSQL 16.3 z razširitvijo PostGIS 3.5.0 in QGIS 3.38.1 za vizualizacijo in urejanje podatkov. PostgreSQL z razširitvijo PostGIS omogoča kompleksno prostorsko obdelavo podatkov, kar je ključno za hitro in natančno analizo ter klasifikacijo stavb. Prednosti teh orodij v primerjavi z drugimi podobnimi programi so predvsem zmogljivost pri obdelavi velikih prostorskih podatkovnih nizov, prilagodljivost za različne prostorske kontekste ter možnost integracije z drugimi sistemi GIS, kar zagotavlja široko uporabnost razvitega orodja.

#### 3.2. Pristop, temelječ na znanju strokovnjakov

Obstoječe raziskave so pokazale, da je strojno učenje najzanesljivejša metoda, vendar zahteva obsežno bazo podatkov, kar je v Sloveniji trenutno pomanjkljivo. Zato smo se odločili za razvoj metode, ki temelji na strokovnem znanju, kar nam omogoča ustrezno stopnjo avtomatizacije in zanesljivosti ter večjo prilagodljivost v primerjavi s strojnim učenjem. Z znanjem podprta metoda omogoča strokovnjakom, da v procesu analize izvajajo redne preglede in ročne popravke. Tako ohranjamo nadzor nad procesom ter zagotavljamo zanesljivo klasifikacijo, prilagojeno posebnim značilnostim stavb in okolja. Tak pristop omogoča dodaten nadzor in prilagodljivost pri obdelavi kompleksnih primerov, kjer nenadzorovana avtomatizacija lahko privede do napačnih rezultatov.

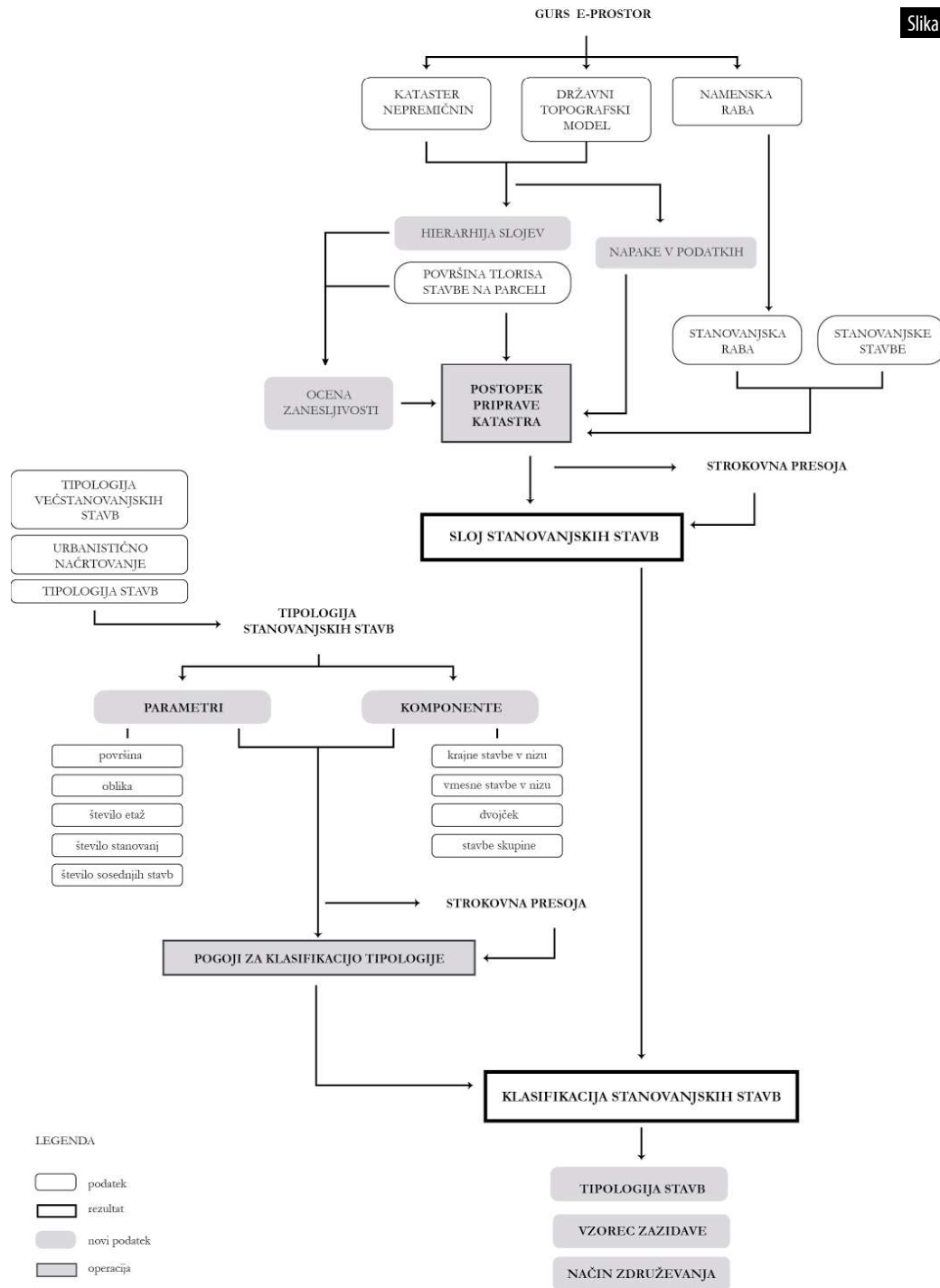
#### 3.3. Metodologija

Razvoj orodja je bil prilagojen posebnim značilnostim slovenskega prostora in je vključeval prilagojene vhodne podatke ter klasifikacijska merila. Razvita metodologija (*Slika 1*) poskrbi za vrednotenje ključnih vhodnih podatkov in pripravo kakovostnega sloja tlorisov stavb, izbira primernih tipologij stanovanjskih stavb ter ključnih meril za njihovo klasifikacijo. Metodološki pristop temelji na treh fazah.

**Priprava sloja stanovanjskih stavb**

Prva faza obsega pripravo sloja stanovanjskih stavb, ki predstavlja vhodni podatek za nadaljnjo morfološko analizo in klasifikacijo stavb. Sloj temelji na podatkih iz baze e-prostor, ki jo upravlja Geodetska uprava Republike Slovenije (GURS, 2024), pri čemer je ključni vir kataster nepremičnin. Zaradi pomembnosti zagotavljanja kakovostnega vhodnega podatka je bilo potrebno razviti postopek sestave tlorisov stavb. V razpoložljivih podatkih namreč ni ustreznega sloja tlorisov stavb, na podlagi katerih bi lahko izdelali kakovostno klasifikacijo. Kataster nepremičnin vključuje devet različnih slojev, vezanih na podatke o stavbah, med katerimi štiri vsebujejo tlorise stavb – tloris nadzemnega

**Slika 1: Metodološki pristop.**



dela stavbe (v nadaljevanju *Nadzemni\_tloris*), tloris zemljišča pod stavbo (v nadaljevanju *Tloris\_stavbe\_parcele*), tloris stavb (v nadaljevanju *Tloris\_stavbe*) in tloris zemljišča pod stavbo (v nadaljevanju *Tloris\_ZPS*). Poleg omenjenih je na voljo tudi sloj tlorisov stavb iz državnega topografskega modela (v nadaljevanju *Tloris\_DTM*). Žal noben od razpoložljivih slojev ne vsebuje popolnega nabora vseh tlorisov stavb. To pomeni, da lahko podatki o posamezni stavbi manjkajo v enem sloju, medtem ko so prisotni v drugem. Zato je razvit postopek (*Slika 2*), zasnovan na principu »If-Than«, kateri vključuje 13 pogojev, ki poskrbijo za izbor najprimernejšega tlorisa za vsako stavbo, pri čemer se upošteva natančnost izrisov stavb ter površino tlorisa stavbe na parceli (v nadaljevanju  $P_{TSPM}$ ). Za vsako stavbo se preverja, ali ustreza posameznemu pogoju (označenimi od A do M). Če stavba izpolnjuje pogoj A, se prevzame geometrija, določena za

**Preglednica 1 : Napake v katastru nepremičnin po občinah.**

|                                                                     | Maribor         | Velenje        | Škofja Loka    |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------|----------------|
| Število stavb z napačnim vpisom površine tlorisa stavbe na parceli* | 1940<br>(5,3 %) | 699<br>(7,6 %) | 827<br>(9,2 %) |
| Število stavb brez podatka o tlorisu stavbe**                       | 55<br>(0,2 %)   | 93<br>(1,0 %)  | 27<br>(0,3 %)  |

\*izračunano na podlagi površine izbranega tlorisa in vpisane površine tlorisa stavbe na parceli z dovoljeno toleranco  $\pm 5\%$ .

\*\*\* izračunano na podlagi števila stavb iz točkovnega sloja ter stavb, za katere obstaja tloris.

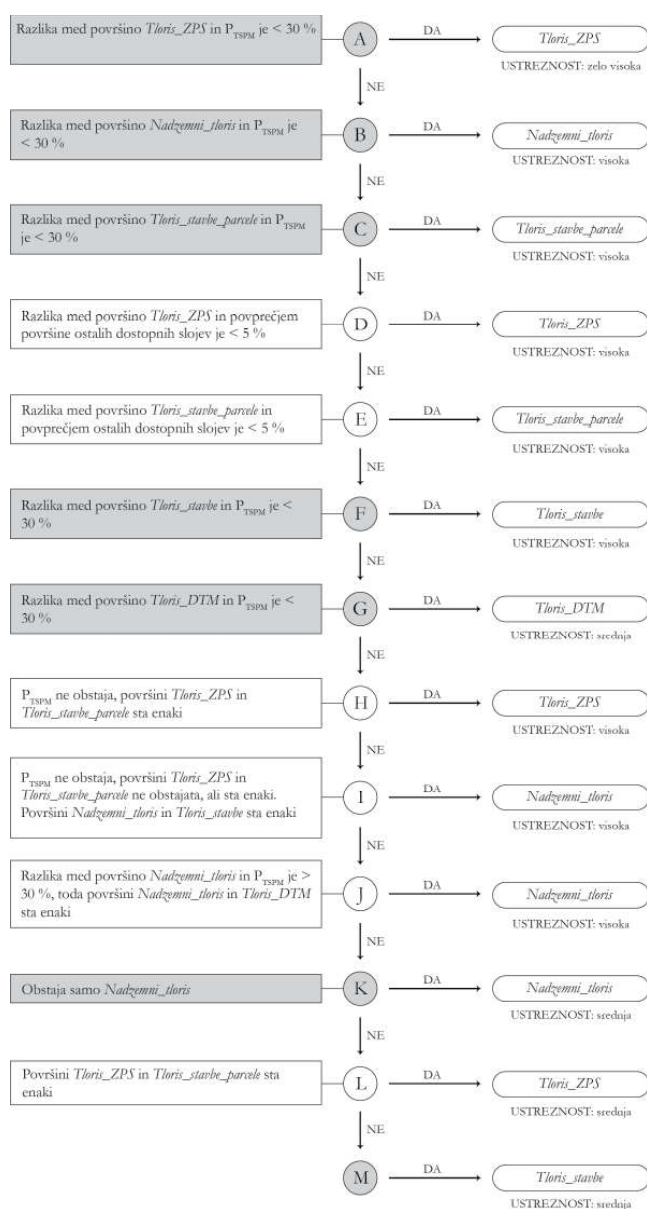
ta pogoj. Če stavba ne izpolnjuje pogoja A, se izvede nadaljnja preveritev, ali ustreza pogoju B, in tako naprej. V kolikor noben od prejšnjih pogojev ni izpolnjen, je uporabljen *Tloris\_stavbe* (pogoj M). Postopek vključuje tudi vrsto pogojev za zmanjševanje vpliva napak, odkritih v katastru nepremičnin. Tri najpogostejše napake v katastru nepremičnin, ki vplivajo na natančnost podatkov v okviru te raziskave, so: 1. Napačen vpis površine tlorisa stavbe na parceli, 2. Geodetska nenatančnost ter 3. Pomanjkanje tlorisov. V preglednici 1 je prikazana pogostost omenjenih napak na obravnavanem območju, razen geodetske nenatančnosti, ki je ni bilo možno izračunati.

Poleg tega je za vsak pogoj dodeljena tudi ocena ustreznosti, ki odraža natančnost in zanesljivost podatkov, ki jih določa posamezen pogoj. Za potrebe analize so nato izločene zgolj stanovanjske stavbe, ki smo jih opredelili kot stavbe z najmanj enim stanovanjem in ki so v območjih stanovanjske namenske rabe.

### Izbir tipologije in določitev klasifikacijskih meril

Postopek izbire je temeljil na analizi razpoložljivih podatkov in oceni pomembnosti tipologij glede na posebne pogoje raziskave. Tipologije, ki niso zagotavljale zadostnih podatkov

Slika 2: Postopek izbire ustreznega tlorisa, z oceno ustreznosti posameznega tlorisa.



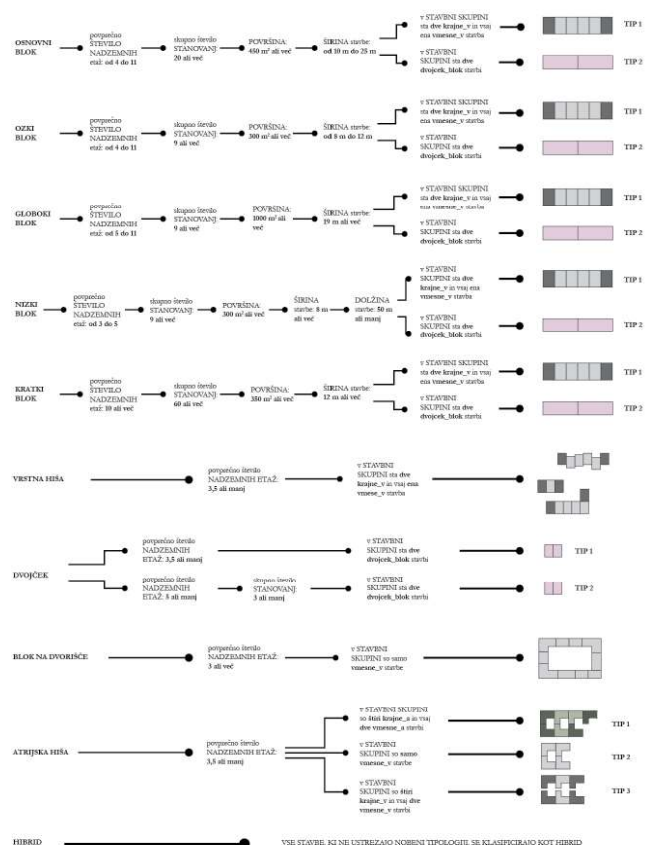
ali niso bile dosledno definirane v prostoru, so bile izločene, saj niso omogočale ustrezne analize in klasifikacije v okviru razvitega orodja. S tem pristopom smo zagotovili, da izbrane tipologije ustrezajo tako vsebinskim kot metodološkim zahtevam raziskave, kar omogoča natančno in zanesljivo klasifikacijo stanovanjskih stavb. Na koncu je bilo izbranih 16 tipologij stanovanjskih stavb. Iz priročnikov Tipologija stavb (Čerpes idr., 2019) in Tipologija večstanovanjskih stavb (Azinovič idr., 2014) ter knjige Urbanistično načrtovanje (Čerpes idr., 2001) smo izbrali 14 tipologij, ki smo jim dodali še dve: večstanovanjska stavba in hibrid. Vključitev teh dveh tipologij omogoča klasifikacijo tudi netipičnih stavb.

Za natančno klasifikacijo posameznih tipologij stanovanjskih stavb so določeni posebni parametri in skupine parametrov, ki so ključni za opredelitev vsake tipologije. Vsak parameter je najprej izračunan na podlagi podatkov in dimenzij, navedenih v strokovni literaturi, nato pa so te vrednosti preverjene v dejanskem prostoru. Preveritev parametrov v prostoru je ključnega pomena, saj se zavedamo obstoječih napak v katastru nepremičnin in njihovega možnega vpliva na končne rezultate. Prav tako strokovne izkušnje pogosto pokažejo, da se določene tipologije ne držijo vedno striktnih pogojev in meril iz literature, kar lahko vodi do odstopanj.

Parametri za klasifikacijo vključujejo morfometrične lastnosti stavbe (površina, oblika, število stanovanj in število nadzemnih etaž), ter kriterije poveztivosti stavbe z okolico (število sosednjih stavb, sestava stavbnih skupin ipd.).

Slika 3: Pogoji za klasifikacijo tipologij povezanih stanovanjskih stavb.

### KLASIFIKACIJA TIPOLOGIJ STANOVANJSKIH STAVB POVEZANE STAVBE



## Klasifikacija stanovanjskih stavb

Za klasifikacijo vsake tipologije je določena posebna kombinacija parametrov in komponent. Pogoji za klasifikacijo so razdeljeni glede na tip stavb – prostostoječe in povezane stavbe, saj zahtevajo različne kombinacije parametrov (Slika 3). Proces klasifikacije vključuje večstopenjski pristop, ki združuje avtomatizacijo in ročne preglede, kar omogoča prilagoditev za kompleksnejše primere in zagotavlja višjo stopnjo natančnosti pri klasifikaciji. Na koncu so stanovanjske stavbe razdeljene na tipologije in njim določen vzorec zazidave. Klasifikacija, skupaj z vsemi izračunanimi parametri, je zapisana v atributivno tabelo vsake posamezne stavbe.

### 3.4. Načrtovanje in uporaba

Orodje je zasnovano kot SQL-poizvedba v PostgreSQL z razširitvijo PostGIS, kar omogoča napredne analize in prilagoditve. Za izboljšanje uporabniške izkušnje je SQL poizvedba tudi pretvorjena v pet analitičnih sklopov v QGIS (Slika 4). Ti sklopi vsebujejo modele, kjer algoritmi berejo SQL-poizvedbo in omogočajo sprotno preverjanje ter ročne spremembe. Analitični sklopi omogočajo uporabo orodja tudi tehnično manj večim strokovnjakom, saj so zasnovani z vnaprej določenimi nastavitvami in prilagoditvami. Uporabniki orodje uporabljajo kot SQL-poizved-

Slika 4: Struktura SQL poizvedbe in vsebine analitičnih sklopov.

| FAZA 1: PRIPRAVA KATASTRA STANOVANJSKIH STAVB                                     |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--|
| analitični sklop 01 Priprava slojastanovanjskih stavb                             |  |
| A - Priprava podatkov                                                             |  |
| A1 - združevanje slojev tlorisa stavbe na parceli (ploskev in točka)              |  |
| A2 - združevanje slojev tlorisa stavbe na parceli (ploskev)                       |  |
| A3 - številka pritlične etaže                                                     |  |
| B - Priprava sloja vseh geometrij                                                 |  |
| B1 - atributi                                                                     |  |
| B2 - združevanje vseh geometrij                                                   |  |
| B3 - izbira občine (območja obdelave)                                             |  |
| C - Priprava katastra nepremičnin                                                 |  |
| C1 - atributi                                                                     |  |
| C2 - postopek sestave slojev                                                      |  |
| D - Ocena zanesljivosti                                                           |  |
| E - Odstanitev nestanovanjskih stavb                                              |  |
| analitični sklop 02 Posodobitev sloja stanovanjskih stavb                         |  |
| G - Posodobitev tlorisov stavb                                                    |  |
| FAZA 2: ANALIZA STANOVANJSKIH STAVB                                               |  |
| analitični sklop 03 Število sosednjih stavb                                       |  |
| H - Izračun števila sosednjih stavb                                               |  |
| analitični sklop 04 Parametri in komponente                                       |  |
| I - Razdelitev stavb glede na način združevanja - prostostoječe / povezane stavbe |  |
| J - Izračun parametrov oblike - širina, dolžina, razmerje med dolžino in širino   |  |
| J1 - MBG* širina                                                                  |  |
| J2 - MBG dolžina                                                                  |  |
| J3 - MBG razmerje dolžine in širine                                               |  |
| J4 - Posodobitev vrednosti za stavbe nepravilnih oblik                            |  |
| K - Razdelitev povezanih stavb na komponente                                      |  |
| L - Določanje stavbnih skupin                                                     |  |
| FAZA 3: KLASIFIKACIJA TIPOLOGIJ STANOVANJSKIH STAVB                               |  |
| analitični sklop 05 Klasifikacija stanovanjskih stavb                             |  |
| M - Klasifikacija tipologij prostostojećih stavb                                  |  |
| N - Klasifikacija tipologij povezanih stavb                                       |  |
| O - Klasifikacija tipologij glede na vzorec zazidave                              |  |
| P - Priprava 'lookup' tabele za nadomestne tipologije                             |  |
| *MBG - minimalni usmerjeni pravokotnik, ki opisuje stavbo                         |  |

bo za napredne analize ali v obliki analitičnih sklopov v QGIS-u za hitrejšo izvajanje klasifikacij. Rezultati analiz so shranjeni v podatkovni bazi PostgreSQL, kar omogoča integracijo z drugimi sistemi in nadaljnjo obdelavo podatkov.

## 4. RAZVOJ METODE IN PREVERBA NA PRIMERU MARIBORA

V okviru raziskovanja procesa in oblikovanja orodja za klasifikacijo stavb v okolju GIS ter njegovo prilagajanje in testiranje, smo izvedli podrobno raziskavo za mesto Maribor. Kot drugo največje mesto v Sloveniji, Maribor nudi raznoliko urbano okolje z različnimi tipi stanovanjskih stavb in prostorskimi vzorci. Zaradi kompleksne urbane strukture je torej idealen primer za preizkušanje robustnosti, zanesljivosti in prilagodljivosti orodja GIS, ki smo ga razvili za razvrščanje stavb glede na tipologijo in vzorce zazidave.

### Rezultati testiranja in prilagoditev orodja

Analiza vrednotenja je narejena na podlagi enajstih urbani-  
stičnih načrtov – občinskih podrobnih prostorskih načrtov, zazidalnih načrtov in občinskih lokacijskih načrtov. To so edini uradni dokumenti, ki vsebujejo podatek o stavbnih tipologijah. Rezultati testiranja v Mariboru so pokazali, da orodje z dobro zanesljivostjo – 94 % klasificira stavbe glede na njihove tipološke in prostorske značilnosti (Preglednica 2). Različni tipi stavb so bili uspešno razvrščeni v tipologije, ki odražajo prostorski kontekst in morfološke značilnosti urbanega območja. Na podlagi rezultatov smo izvedli prilagoditve orodja, ki vključujejo optimizacijo klasifikacijskih algoritmov ter prilagoditev SQL poizvedb za boljše delovanje na večjih območjih.

Preglednica 2: Zanesljivost klasifikacije tipologija stanovanjskih stavb v Mariboru.

|                                                                       | Delna avtomatizacija<br>– z ročnimi popravki | Popolna avtomatizacija –<br>brez ročnih popravkov |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Vzorec za vrednotenje<br>(število stavb)                              | 265                                          | 265                                               |
| Število pravilno klasificiranih stavb                                 | 250                                          | 247                                               |
| Število stavb za katere je klasifikacijo potrebno preveriti na terenu | 11                                           | 11                                                |
| Število napačno klasificiranih stavb                                  | 4                                            | 7                                                 |
| Zanesljivost klasifikacije (%)                                        | <b>94</b>                                    | <b>93</b>                                         |

Orodje je bilo nadgrajeno tudi z dodatnimi funkcijami za spremljanje klasifikacije, kar omogoča uporabnikom sprotno oceno učinkovitosti klasifikacijskih meril. Te prilagoditve so omogočile, da orodje deluje z večjo natančnostjo in učinkovitostjo, kar je ključno za njegovo uporabo v drugih urbanih okoljih.

### Uporabnost orodja za prostorsko načrtovanje v Sloveniji

Na podlagi testiranja v Mariboru je orodje dokazalo svojo uporabnost za prostorsko načrtovanje v Sloveniji. Avtomatizirana klasifikacija tipologij stavb omogoča urbanistom dostop do kakovostnih in standardiziranih podatkov, ki so ključni za načrtovanje in upravljanje urbanih območij. Razvito orodje predstavlja pomembno podporo za prostorsko načrtovanje, saj omogoča natančno analizo in prilagajanje politik prostorskega razvoja glede na dejanske prostorske podatke.

Slika 5: Vizualna predstavitev rezultatov klasifikacije tipologij stanovanjskih stavb - izsek mesta Maribor. Rezultat delne avtomatizacije; ročni popravki tlorisov stavb in popolna avtomatizacija klasifikacije tipologij stanovanjskih stavb.



Orodje ima potencial za širšo uporabo tudi v drugih slovenskih mestih, saj omogoča prilagoditev lokalnim prostorskim značilnostim in se lahko uporablja za različne analize, vključno z načrtovanjem infrastrukture, upravljanjem stanovanjskega sklada in ocenjevanjem vpliva urbanizacije na okolje. Sposobnost orodja, da obdeluje velike količine podatkov in jih samodejno razvršča, pomeni, da lahko prostorski načrtovalci s pomočjo orodja hitro ocenijo stanje urbanega območja in sprejemajo informirane odločitve.

Preverba orodja na primeru Maribora je pokazala, da je orodje GIS zmožno klasificirati tipologije stavb in zagotoviti kakovostne prostorske podatke, ki so ključni za prostorsko načrtovanje. Rezultati raziskave (Slika 5) potrjujejo, da je razvito orodje učinkovi-

to pri obdelavi prostorskih podatkov in omogoča uporabnikom razvrščanje stavb na podlagi meril, ki temeljijo na prostorskih in morfoloških značilnostih stavb.

## 5. PREVERJANJE DELOVANJA ORODJA NA PRIMERIH VELENJA IN ŠKOFJE LOKE

Preverjanje delovanja orodja v različnih prostorskih kontekstih je bil ključen korak za razvoj in vrednotenje njegove učinkovitosti ter zanesljivosti. Poleg prvotnega testiranja na območju Maribora, kjer je bilo na voljo več podatkov za preverjanje, je bilo orodje dodatno preizkušeno še na območjih Škofje Loke in Velenja. Namen teh dodatnih testiranj je bil zagotoviti, da orodje deluje dosledno in zanesljivo v mestih z različnimi prostorskimi

|                                                  | Maribor | Velenje | Škofja Loka | Skupaj |
|--------------------------------------------------|---------|---------|-------------|--------|
| Površina območja (km <sup>2</sup> )              | 148     | 84      | 146         | 378    |
| Število stavb na območju                         | 36716   | 9243    | 8955        | 54914  |
| Število stanovanjski stavb na območju            | 14013   | 3610    | 3814        | 21437  |
| Generiranje rezultata (minute)*                  | 6,5     | 2,5     | 2,1         | 7      |
| Število klasificiranih stanovanjskih tipologij** | 15      | 14      | 12          | 16     |

Preglednica 3: Osnovna statistika obdelave podatkov v obravnavanih območjih.

\*generirano na istem računalniku. Opomba: čas obdelave je odvisen od zmogljivosti računalnika.

\*\*orodje razlikuje med 16 stanovanjskimi tipologijami

značilnostmi, velikostjo, tipologijami stavb in urbanističnimi razvojnimi vzorci.

Izbrana mesta so se razlikovala po več vidikih:

- Velikost mesta: Škofja Loka predstavlja manjše zgodovinsko mesto, Maribor je drugo največje mesto v Sloveniji, Velenje pa je srednje veliko mesto z izrazitim industrijskim značajem.
- Stopnja urbanizacije in tip razvoja: Škofja Loka ima bolj organsko zasnovano urbano strukturo, ki se je razvijala brez večjih planskih posegov. Maribor predstavlja kombinacijo organsko razvitega in načrtovanega mestnega jedra, medtem ko Velenje večinoma odraža planski urbanistični razvoj s poudarkom na industriji. Takšne razlike omogočajo primerjavo, kako zgodovinski in urbanistični razvoj vplivata na prostorske značilnosti mest ter ustreznost delovanja orodja v različnih okoljih.

## Metodologija vrednotenja

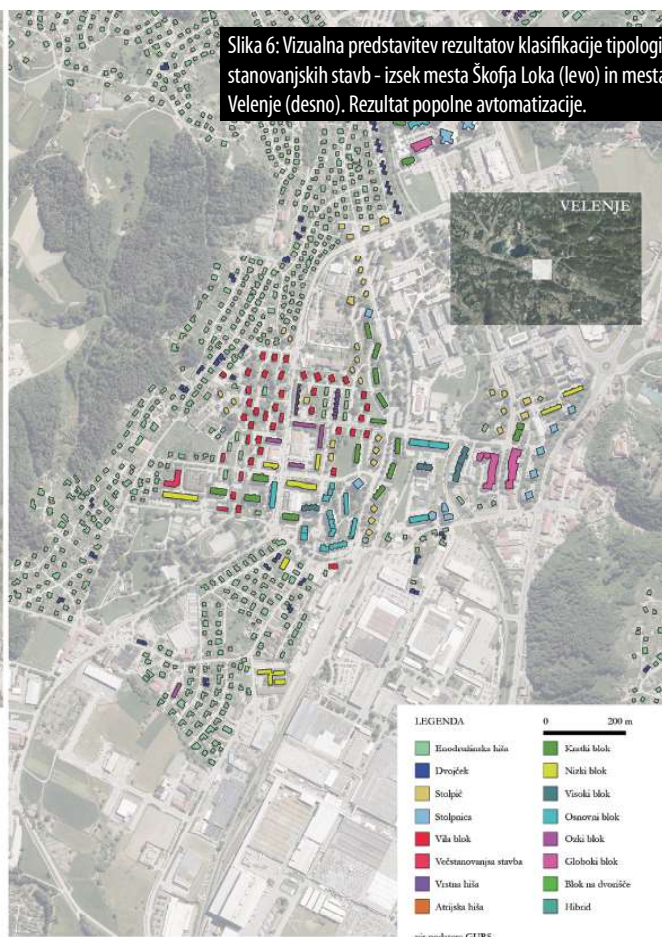
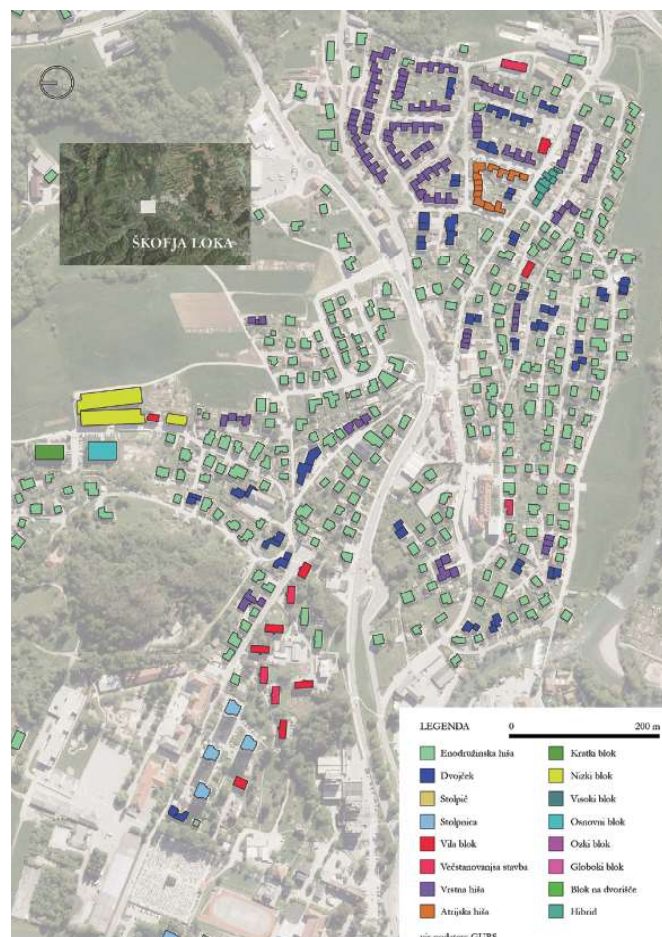
Za razliko od primera Maribora, kjer je bilo mogoče vrednotenje opraviti z obstoječimi urbanističnimi načrti, je bilo pri Škofji Loki

in Velenju potrebno dodatno prilagoditi metodo vrednotenja. Zaradi pomanjkanja urbanističnih načrtov z natančnimi podatki o stavbnih tipologijah je bila ocena delovanja orodja v Škofji Loki in Velenju izvedena z ročnim pregledom in primerjavo s terenskimi podatki. Ta pristop je omogočil preverjanje zanesljivosti klasifikacije, ki jo orodje zagotavlja tudi v manjših in srednje velikih mestih, kjer so pogosto prisotne stavbe s posebnimi prostorskimi in tipološkimi značilnostmi stavb.

## Rezultati vrednotenja

Rezultati vrednotenja (Slika 6) kažejo, da je orodje učinkovito prepoznalo ključne tipologije stavb in prostorske vzorce v Škofji Loki in Velenju, pri čemer so bile izpostavljene naslednje ugotovitve:

Zanesljivost klasifikacije: Kljub ročnemu pregledu se je orodje izkazalo za enako zanesljivo kot v Mariboru, saj je uspešno identificiralo in klasificiralo stavbe glede na vnaprej določene tipološke kriterije. To potrjuje, da orodje deluje zanesljivo ne glede na velikost mesta ali poseben prostorski kontekst.



Slika 6: Vizualna predstavitev rezultatov klasifikacije tipologij stanovanjskih stavb - izsek mesta Škofja Loka (levo) in mesta Velenje (desno). Rezultat popolne avtomatizacije.

Hitrost obdelave: Obdelava podatkov je potekala zadovoljivo hitro, kar kaže na prilagodljivost orodja za različne obsege podatkov. Obdelava vzorca podatkov je trajala do 10 minut, kar nakazuje, da je orodje primerno tudi za večje količine podatkov in obsežnejše analize, tudi za celotno državo.

Prilagodljivost v različnih prostorskih kontekstih: Raznolikost izbranih mest (z zgodovinsko, mešano in industrijsko usmeritvijo) potrjuje, da je orodje prilagodljivo za uporabo v različnih urbanističnih kontekstih. V vseh primerih je orodje uspešno zajelo prostorske posebnosti, ki so značilne za posebne vrste mest in način njihovega razvoja.

Testiranja v Škofji Loki in Velenju so potrdila, da orodje zanesljivo deluje tudi v manjših in srednje velikih mestih z različnimi stopnjami urbanizacije in razvojno-zgodovinskimi značilnostmi. S tem je zagotovljeno, da lahko orodje prispeva k hitrejši in natančnejši klasifikaciji stavb, kar omogoča njegovo širšo uporabo pri prostorskem načrtovanju in upravljanju mest različnih velikosti in razvojnih ozadij.

## 6. UGOTOVITVE

Orodje za klasifikacijo stavb se je izkazalo z zelo visoko zanesljivostjo in učinkovitostjo. Omogoča tako popolnoma avtomatizirano klasifikacijo kot tudi nadzorovano klasifikacijo. Pri testiranju na primeru mesta Maribor je nadzorovano klasifikacija, ki vključuje ročne popravke, dosegla zanesljivost 94 %, medtem ko popolnoma avtomatizirana klasifikacija doseže nekoliko nižjo zanesljivost (93 %). Poleg visoke zanesljivosti orodje omogoča hitro obdelavo velikih podatkovnih nizov, kar omogoča uporabo tudi na večjih analiznih območjih. Poleg zmogljivosti pri obdelavi podatkov se je orodje izkazalo tudi za izjemno prilagodljivo glede na različne lokacijske in prostorske značilnosti mest. Uporabnikom in strokovnjakom omogoča vključitev v proces analize in sprotno prilagajanje, s čimer je omogočena večja stopnja zaupanja ter upoštevanje posebnih strokovnih kriterijev. Orodje je preprosto za uporabo in hkrati omogoča nadaljnje izboljšave in prilagoditve, kar zagotavlja njegovo prilagodljivost za različne strokovne panoge, kot so urbanistično načrtovanje, prostorsko upravljanje in arhitekturno svetovanje. Njegova vsestranskost omogoča uporabo v različnih strokovnih okoljih in za širok nabor namenskih analiz.

### Smer razvoja in nadgradnje orodja

Kljub prednostim orodja, kot sta visoka učinkovitost in uporabniška prijaznost, se pojavljajo nekatere omejitve, ki jih je treba upoštevati. Prva omejitev je v tem, da orodje temelji na katastru nepremičnin, ki se je izkazal za manj zanesljiv vir podatkov. Napake v katastru, kot so nepravilni vpisi in nepravilni tlorisi, neposredno vplivajo na rezultate klasifikacije ter zmanjšujejo zanesljivost analize. Čeprav je razvoj postopka za izbiro najprimernejšega tlorisa bistveno izboljšal njegovo natančnost, še vedno obstaja potreba po novih terenskih preveritvah in dodatnih preverjanjih atributivnih podatkov o stavbah, kar bi še dodatno prispevalo k natančnosti rezultatov. Poleg tega se soočamo z omejitvami same tehnologije. Določene tipologije, ki so za načrtovalce intuitivne je težko opisati parametrično. Tako na primer ni bilo mogoče ločevati med vrstno hišo, verižno hišo in atrijsko vrstno hišo. Nerešen izziv je predstavljala določitev štirih glavnih stranic objekta. Ta podatek bi lahko še dodatno izboljšal natančnost klasifikacije stavb.

Nazadnje, pomanjkanje analize tipologij stanovanjskih stavb v Sloveniji in enotnosti uporabe tipologij v praksi predstavlja dodatno oviro. Uradnih dokumentov s podatki o stavbni tipo-

logiji je malo in njihova pomanjkljivost vpliva na ovrednotenje natančnosti podanih rezultatov, kar zmanjšuje verodostojnost orodja. Za izboljšanje kakovosti podatkov in natančnosti analize so potrebne nadaljnje raziskave in razvoj metodologij. Ker je orodje prosto dostopno in objavljeno pod odprtokodno licenco, pričakujemo, da ga bodo uporabniki še dodatno izboljševali in nadgrajevali. Eden naslednjih korakov je vključitev gradbenih parcel (ko bo ta podatek dostopen), kar bi omogočilo vključitev gostote zazidave v analizo, ključnega faktorja za urbanistično načrtovanje.

## 7. ZAKLJUČEK

Razvito orodje za klasifikacijo stanovanjskih stavb prinaša pomembno novost na področje urbanističnega načrtovanja, saj učinkovito avtomatizira proces klasifikacije z visoko stopnjo natančnosti in prilagodljivosti, kar omogoča njegovo široko uporabo v različnih prostorskih kontekstih. Orodje omogoča hiter odziv na prostorske zahteve ter nudi podporo strokovnim pregledom, kar pripomore k povečanju učinkovitosti v prostorskem načrtovanju in upravljanju urbanih območij.

Raziskava je osvetlila vrzel v klasifikaciji stavbnih tipologij v Sloveniji. Pomanjkanje enotne evidence stavbnih tipologij ter odsotnost standardiziranih dokumentov in načrtov, ki bi vsebovali te podatke, otežujeta natančno vrednotenje tovrstnih orodij. Medtem, ko strokovna literatura podaja smernice za klasifikacijo, se te v praksi in uradnih evidencah še niso uveljavile, kar predstavlja priložnost za nadaljnje raziskave in razvoj. Za nadaljnje izboljšanje natančnosti klasifikacije in zanesljivosti sistema je ključno vzpostaviti obsežno podatkovno bazo stavb, morda z uporabo naprednih tehnologij, kot so LIDAR posnetki, ki omogočajo bolj natančne izrise tlorisov stavb.

Kljub trenutnim omejitvam orodje že zdaj predstavlja pomemben prispevek k oblikovanju enotne evidence tipologij stavb tako v uradnih dokumentih kot tudi v praksi. Poleg tega je dodatna vrednost orodja prepoznavanje sistemskih napak v katastru nepremičnin, kar lahko prispeva k izboljšanju uradnih evidenc. Orodje lahko služi kot osnova za terensko preverjanje in dopolnjevanje podatkov, kar bi prispevalo k večji zanesljivosti klasifikacije stavb.

V širšem kontekstu ta raziskava odpira ključna vprašanja o razpoložljivosti in kakovosti prostorskih podatkov, ki so nujno potrebni za celovito in trajnostno načrtovanje urbanih območij. Pomanjkanje natančnih evidenc o stavbah ne vpliva le na tehnično klasifikacijo, ampak ima širše posledice za prostorsko načrtovanje, saj kakovostni prostorski podatki omogočajo bolj informirane odločitve glede rabe prostora, infrastrukturnega načrtovanja in prenove mestnih jeder. Razvoj orodij za klasifikacijo bi torej izboljšal urbanistične pristope, optimiziral rabo prostora in omogočil trajnostni razvoj z višjo kakovostjo bivanja v mestih. Pričakujemo, da bo to orodje spodbudilo razvoj novih metod na področju klasifikacije stavb in postalo temelj za izboljšano prostorsko načrtovanje in trajnostni razvoj mestnih območij.

## LITERATURA IN VIRI

- Atwal, K. S., Anderson, T., Pfoser, D. in Züfle, A. (2022). Predicting building types using OpenStreetMap. *Scientific Reports*, 12(1), 19976. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24263-w>
- Azinović, D., Kregar, P., Marn, T., Sajovic, P. in Vujović, A. (2014). *Tipologija večstanovanjskih stavb* (J. Koželj, Ur.; 2. dopolnjena izd.). In obs medicus. <https://plus.cobiss.net/cobiss/si/si/bib/ulij/77151233>

- Batty, M. in Longley, M. (1994). *Fractal Cities - A Geometry of Form and Function*. Academic Press, London.
- Čerpes, I., Gregorčič, G. in Koželj, J. (2001). Urbanistično načrtovanje. *Priporočila za urejanje naselij: zaključno poročilo o raziskovalni nalogi*, 313–363.
- Čerpes, I., Grohar, J., Perović, V. in Vidic, A. (2019). *Tipologija stavb: priručnik* (J. Červek, Ur.). Fakulteta za arhitekturo. <https://www.gov.si/assets/ministrstva/MNVP/Dokumenti/Prostorski-red/Tipologija-stavb.pdf>
- Dascalaki, E. G., Drousa, K. G., Balaras, C. A. in Kontoyiannidis, S. (2011). Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock. *Energy and Buildings*, 43(12), 3400–3409. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.002>
- Goodchild, M. (2009). Geographic information systems and science: Today and tomorrow. *Procedia Earth and Planetary Science*, 1, 1037–1043. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2009.09.160>
- GURS (2024a). *Kataster nepremičnin*, 14. 07. 2024. Portal prostor. <https://www.e-prostor.gov.si/podrocja/parcele-in-stavbe/kataster-nepremicnin/>
- GURS (2024b). *Portal Prostor Geodetske uprave RS*. <https://www.e-prostor.gov.si/>
- Hecht, R. (2014). *Automatische Klassifizierung von Gebäudegrundrissen: ein Beitrag zur kleinräumigen Beschreibung der Siedlungsstruktur* (Let. 63). Rhombos-Verl.
- Loga, T., Diefenbach, N., Stein, B., Dascalaki, E., Balaras, C., Drousa, K., Kontoyiannidis, S., Zavrl, M., Rakušček, Z., Corrado, V., Corgnati, S., Ballarini, I., Roarty, C., Hanratty, M., Sheldrick, B., Van Holm, M., Renders, N., Popiolek, M., Kwiatkowski, J. in Jovanovic Popovic, M. (2012). *Typology Approach for Building Stock Energy Assessment. Main Results of the TABULA project*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22343.57767>
- Meinel, G., Hecht, R. in Herold, H. (2009). Analyzing building stock using topographic maps and GIS. *Building Research and Information - BUILDING RES INFORM*, 37, 468–482. <https://doi.org/10.1080/09613210903159833>
- Nicholson, M. (2021, maj 19). *Why Accurate Data is Crucial for the Future of Smart Cities*. VivaCity. <https://vivacitylabs.com/why-accurate-data-is-crucial-for-the-future-of-smart-cities/>
- Tibermacine, I. in Zemmouri, N. (2017). Effects of building typology on energy consumption in hot and arid regions. *Energy Procedia*, 139, 664–669. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.269>
- Vogrinc, M. (2024a). *GIS orodje*. [https://github.com/mV-777/GIS\\_rodje](https://github.com/mV-777/GIS_rodje) (Original work published 2024)
- Vogrinc, M. (2024b). *Integracija analitičnih metod v GIS za klasifikacijo stanovanjskih stavb: Razvoj orodja*. <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpis/Gradiva.php?id=164021&lang=slv>