

Spatial Patterns of the Residential Real Estate Market in the City of Zagreb

Dino BEČIĆ¹

¹ University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Geography
dbecic.geog@pmf.hr

Abstract: This paper investigates spatial patterns in the residential real estate market in the city districts of Zagreb. Through an analysis of existing advertisements for the sale and rental of residential real estate, the primary goal was to apply spatial analysis techniques to the real estate market. The analyses included global and local spatial autocorrelation, namely Moran's I index, Getis-Ord G_i^* statistic, and correlation. The research involved data collection and integration from various sources, including the processing of large datasets related to advertised residential real estate published on advertising and sales platforms. Geographic data science concepts were used to create a unique methodological framework and conduct detailed spatial analyses. Specifically, the R programming language was utilized, enabling structured data management, visualization of spatial patterns, and the application of specific statistical methods. The results of this research provide detailed insights into the spatial distribution of market characteristics, i.e., patterns at the level of the Zagreb city districts. By using ESDA spatial analysis methods and integrating various datasets, the paper offers a complex spatial analysis and an overview of Zagreb's residential housing market through the detection of spatial patterns.

Keywords: residential real estate market, spatial analysis, ESDA, R, Zagreb

1 Motivation

The spatial distribution of residential real estate markets reflects broader socio-economic processes and urban dynamics. Zagreb, as the capital of Croatia, has undergone significant urban development and spatial transformation in recent years, shaping the characteristics of its residential real estate market. Investigating spatial patterns in advertised residential properties for sale and rent per month provides an opportunity to uncover critical insights into the relationships between spatial inequalities and market trends. This study leverages ESDA spatial analysis methods and geographic data science to explore these patterns, contributing to a deeper understanding of the city's residential real estate dynamics at the level

of city districts. Understanding and researching spatial patterns in the advertised residential rent per month and sale real estate market is crucial for gaining a detailed understanding of spatial regularities. This paper investigates these spatial patterns within the residential real estate market at the level of the Zagreb city districts. Spatial analysis methods and geographic data science concepts were employed to identify the trends and patterns in the distribution of advertised residential properties on specialized online platforms. The research builds on existing literature that integrates spatial analysis, the concept of big data, and modern tools for spatial evaluation. By focusing on these methods, the study aims to provide a clear and structured analysis of the spatial dynamics shaping Zagreb's residential real estate market.

Prostorni obrasci tržišta stambenih nekretnina u Gradu Zagrebu

Dino BEČIĆ¹

¹ Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek
dbecic.geog@pmf.hr

Sažetak: Ovaj rad analizira prostorne obrasce na tržištu stambenih nekretnina u gradskim četvrtima Zagreba. Korištenjem podataka iz oglasa za prodaju i mjesečni najam nekretnina, cilj istraživanja bio je primijeniti metode prostorne analize na tržište nekretnina. Analize su obuhvatile globalnu i lokalnu prostornu autokorelaciju, uključujući Moranov I indeks i statistiku Getis-Ord G_i^* te korelacijsku analizu. Istraživanje se temelji na prikupljanju i integraciji podataka iz različitih izvora, uz obradu velikih skupova podataka o oglašenim nekretninama dostupnim na digitalnim platformama. Koncepti geografske podatkovne znanosti korišteni su za razvoj metodološkog okvira i provedbu detaljnih prostornih analiza. U praktičnom dijelu korišten je programski jezik R, koji je omogućio strukturirano upravljanje podacima, vizualizaciju prostornih obrazaca te primjenu specifičnih statističkih metoda. Rezultati istraživanja pružaju detaljan uvid u prostornu distribuciju tržišnih karakteristika, odnosno u obrasce na razini gradskih četvrti Zagreba. Primjenom metoda ESDA prostorne analize i integracijom različitih skupova podataka, rad daje složenu analizu i pregled zagrebačkog tržišta stambenih nekretnina kroz identifikaciju prostornih obrazaca.

Ključne riječi: tržište stambenih nekretnina, prostorna analiza, ESDA, R, Zagreb

1. Uvod

Prostorna raspodjela stambenog tržišta nekretnina odražava šire socioekonomske procese i urbanu dinamiku. Zagreb, kao glavni grad Hrvatske, posljednjih je godina prošao kroz značajan urbani razvoj i prostorne transformacije što je oblikovalo karakteristike njegovog stambenog tržišta nekretnina. Analiziranje prostornih obrazaca oglašenih nekretnina za prodaju i mjesečni najam omogućuje dublje razumijevanje odnosa između prostornih nejednakosti i tržišnih trendova. Ova studija primjenjuje metode ESDA prostorne analize i geografske podatkovne znanosti kako bi istražila te obrasce, pridoneći boljem razumijevanju dinamike stambenog tržišta na razini gradskih četvrti Zagreba. Razumijevanje i

istraživanje prostornih obrazaca na tržištu oglašenih stambenih nekretnina ključno je za dobivanje detaljnog uvida u prostorne zakonitosti. Ovaj rad istražuje te obrasce unutar zagrebačkog tržišta stambenih nekretnina na razini gradskih četvrti. Korištene su metode prostorne analize i koncepti geografske podatkovne znanosti kako bi se identificirali trendovi i obrasci u raspodjeli oglašenih stambenih nekretnina na specijaliziranim online platformama. Istraživanje se temelji na postojećoj literaturi koja integrira prostornu analizu, koncept big data podataka i suvremene alate za prostornu evaluaciju. Fokusiranjem na te metode, cilj rada je pružiti jasnu i strukturiranu analizu prostornih dinamika koje oblikuju zagrebačko stambeno tržište nekretnina.

2. Literature Review

The importance of spatial dynamics in real estate markets has been widely demonstrated across diverse contexts. For example, Pochwatka (2020) analysed the spatial development of the residential real estate market in Lublin, Poland. The study found that properties sold over a 21-month period were predominantly located on the city's outskirts, reflecting an urban spatial expansion and suburbanization trend. This pattern, driven by spatial policies and planning processes, illustrates how urban growth shapes real estate markets by extending housing demand to peripheral areas (Pochwatka 2020; 3). These findings underline the significant role of spatial planning in shaping market trends.

Building on this analysis, various factors influencing real estate prices have been explored in the literature, including property location, access to amenities, transport connectivity, and demographic characteristics. Chica-Olmo et al. (2019) highlighted the importance of spatio-temporal methods for analysing housing price variations, particularly in addressing data heterogeneity across different years. Their study revealed significant price variations between the city outskirts and central areas, identifying urban development as a key driver of early price increases. By employing iso-value maps, they demonstrated spatial inequalities in housing prices, emphasizing the need for analytical tools to manage these complexities effectively (Chica-Olmo 2019; 16).

Expanding on the theme of spatial dependencies, Li et al. (2016) explored the role of spatial autocorrelation in housing markets, demonstrating that housing prices are not randomly distributed but exhibit clear clustering and location-based variation. Their use of Geographically Weighted Regression (GWR) provided deeper insights into how relationships between variables vary across space, while Kernel Density Estimation highlighted the density and spatial patterns of residential properties. This dual approach underscored the importance of localized analysis in fully understanding the dynamics of housing markets (Li et al. 2016; 7). Cellmer et al. (2020) analyzed the spatial heterogeneity of the real estate market in Poland using Geographically Weighted Regression (GWR) and Mixed Geographically Weighted Regression (MGWR). Their study demonstrated that spatially adjusted models better explain market relationships compared to conventional regression approaches. They identified spatial clusters of high and low prices, highlighting the importance of both local and global factors

such as demographic indicators, economic activity, and environmental conditions. The MGWR model provided a more precise understanding of local variations in market conditions, reinforcing the significance of spatial methods in real estate market analysis.

Similarly, Chen et al. (2020) examined the spatial dynamics of housing prices in Guangzhou, China, focusing on the impacts of rapid urban expansion and infrastructural development. Employing multiple quantitative models, including multiple linear regression, GWR, and spatial autocorrelation methods such as Moran's I and LISA, the study identified significant spatial heterogeneity and nonstationarity in housing prices. Factors such as geographical location, transportation accessibility, and service intensity emerged as critical determinants, with the analysis revealing high-value clusters in urban cores and low-value clusters in peripheral areas. These findings further emphasize the utility of spatial methodologies in addressing urban inequalities (Chen 2020; 11).

The spatial distribution of public housing also contributes to our understanding of urban socio-spatial inequalities. Gallego-Valadés et al. (2021) investigated public housing patterns in Valencia, Spain, using spatial autocorrelation, exploratory spatial data analysis (ESDA), and clustering methods. Their research revealed a partial agglomeration and peripheral dispersion pattern, with notable clusters in districts like Benicalap and Faitanar. However, the study found no consistent relationship between public housing distribution and socio-residential characteristics, observing instead local forms of association. Despite limitations in data availability, the study highlighted the complexity of public housing distribution and the value of spatial techniques in uncovering urban housing dynamics (Gallego-Valadés et al. 2021; 11).

Advances in data collection methods, such as web scraping, have further enriched the study of real estate markets by enabling researchers to gather large-scale, real-time data. Boeing and Waddell (2017) demonstrated the utility of web scraping by collecting over 11 million Craigslist rental listings, revealing localized affordability patterns and spatial anomalies often missed by traditional data sources. This technique has been widely applied to enhance market analysis and predictive modeling. For instance, Wang et al. (2020) developed a housing price index based on online listing information for the Chinese real estate market, demonstrating how online data can serve as a valuable alternative to official transaction records. Their study found that online listing data provide a better trade-off between accuracy, reliability, and feasibility, particularly in

2. Pregled literature

Važnost prostornih dinamika na tržištima nekretnina široko je dokazana u različitim kontekstima. Primjerice, Pochwatka (2020) analizirao je prostorni razvoj tržišta stambenih nekretnina u Lublinu u Poljskoj. Studija je pokazala da su nekretnine prodane tijekom razdoblja od 21 mjeseca bile pretežno smještene na rubnim dijelovima grada, što odražava trend prostorne ekspanzije i suburbanizacije. Taj obrazac, koji je rezultat prostornih politika i procesa urbanog planiranja, ilustrira kako urbani rast oblikuje tržište nekretnina širenjem potražnje za stambenim prostorom prema perifernim područjima (Pochwatka 2020; 3). Ti nalazi naglašavaju ključnu ulogu prostornog planiranja u oblikovanju tržišnih trendova. Nadovezujući se na spomenutu analizu i istraživanje, uvid u literaturu je pokazao različite čimbenike koji utječu na cijene nekretnina, uključujući lokaciju nekretnine, dostupnost sadržaja, prometnu povezanost i demografske karakteristike. Chica-Olmo i dr. (2019) istaknuli su važnost prostorno-vremenskih metoda u analizi varijacija cijena stambenih nekretnina, posebno u rješavanju problema heterogenosti podataka tijekom različitih godina. Njihova studija otkrila je značajne razlike u cijenama između rubnih dijelova grada i središnjih zona, pri čemu se urbani razvoj pokazao kao ključni pokretač ranih porasta cijena. Korištenjem isovrijednosnih karata autori su prikazali prostorne nejednakosti u cijenama nekretnina, naglašavajući potrebu za analitičkim alatima koji omogućuju učinkovito upravljanje tim kompleksnostima (Chica-Olmo 2019; 16).

Proširujući temu prostornih ovisnosti, Li i dr. (2016) istraživali su ulogu prostorne autokorelacije na tržištima stambenih nekretnina, pokazujući da se cijene nekretnina ne raspodjeljuju nasumično, već tvore jasne klustere i variraju ovisno o lokaciji. Korištenjem Geografski ponderirane regresije (GWR) autori su pružili dublji uvid u to kako se odnosi između varijabli mijenjaju u prostoru, dok je procjena jezgrene gustoće (Kernel Density Estimation) omogućila prikaz gustoće i prostornih obrazaca stambenih nekretnina. Ta dvostruka metodološka strategija, odnosno pristup naglasila je važnost lokalizirane analize za potpuno razumijevanje dinamike tržišta nekretnina (Li i dr. 2016; 7). Cellmer i dr. (2020) analizirali su prostornu heterogenost tržišta nekretnina u Poljskoj koristeći Geografski ponderiranu regresiju (GWR) i Mješovitu geografski ponderiranu regresiju (MGWR). Njihova studija pokazala je da prostorno prilagođeni modeli bolje objašnjavaju tržišne odnose u usporedbi s konvencionalnim regresijama. Identificirali su prostorne klustere visokih i niskih cijena, naglašavajući važnost lokalnih i globalnih faktora poput demografskih pokazatelja, ekonomske aktivnosti i ekoloških uvjeta. Model MGWR omogućio je preciznije

razumijevanje lokalnih varijacija tržišnih uvjeta, potvrđujući značaj prostornih metoda u analizi nekretninskog tržišta.

Slično, Chen i dr. (2020) istraživali su prostornu dinamiku cijena stambenih nekretnina u Guangzhouu u Kini, s naglaskom na utjecaj brze urbane ekspanzije i razvoja infrastrukture. Koristeći više kvantitativnih modela, uključujući višestruku linearnu regresiju, geografski ponderiranu regresiju (GWR) te metode prostorne autokorelacije poput Moranova I indeksa i LISA-e, studija je identificirala značajnu prostornu heterogenost i nestacionarnost u cijenama nekretnina. Ključni čimbenici poput geografske lokacije, prometne dostupnosti i intenziteta usluga pokazali su se presudnima, pri čemu je analiza otkrila klustere visokih vrijednosti u urbanim jezgrama i niskih vrijednosti u perifernim područjima. Ti nalazi dodatno naglašavaju važnost prostorne metodologije u rješavanju urbanih nejednakosti (Chen 2020; 11).

Prostorna raspodjela javnog stanovanja također doprinosi razumijevanju urbanih socio-prostornih nejednakosti. Gallego-Valadés i dr. (2021) istraživali su obrasce javnog stanovanja u Valenciji u Španjolskoj, koristeći prostornu autokorelaciju, eksploratornu prostornu analizu podataka (ESDA) i metode klasteriranja. Njihovo istraživanje otkrilo je djelomičnu aglomeraciju i perifernu disperziju, pri čemu su se značajni klusteri javnog stanovanja pojavili u četvrtima poput Benicalapa i Faitanara. Međutim, studija nije pronašla dosljednu povezanost između raspodjele javnog stanovanja i socio-stambenih karakteristika, već je identificirala lokalne obrasce povezanosti. Unatoč ograničenjima u dostupnosti podataka, istraživanje je istaknulo složenost raspodjele javnog stanovanja i vrijednost prostorne analize u otkrivanju dinamike urbanog stanovanja (Gallego-Valadés i dr. 2021; 11).

Napredak u metodama prikupljanja podataka, poput *web scrapinga* (automatsko rudarenje podataka ili prikupljanje informacija s interneta), dodatno je obogatio istraživanja tržišta nekretnina omogućujući istraživačima prikupljanje velikih skupova podataka u stvarnom vremenu. Boeing i Waddell (2017) pokazali su korisnost *web scrapinga* prikupljanjem više od 11 milijuna oglasa za najam s platforme Craigslist, čime su otkrili lokalne obrasce pristupačnosti stanovanja i prostorne anomalije koje često ostaju nevidljive u tradicionalnim izvorima podataka. Ta tehnika je široko primijenjena za poboljšanje analize tržišta i prediktivnog modeliranja. Na primjer, Wang i dr. (2020) razvili su indeks cijena stanovanja temeljen na informacijama iz online oglasa za kinesko tržište nekretnina, pokazujući kako online podaci mogu poslužiti kao vrijedna alternativa službenim evidencijama transakcija. Njihova studija otkrila je da podaci iz online oglasa nude bolji kompromis između točnosti, pouzdanosti i izvedivosti, posebno na novim tržištima stanovanja gdje podaci o transakcijama

nascent housing markets where transaction data may be incomplete or manipulated. Similarly, Souza et al. (2021) employed web scraping and spatial autocorrelation methods such as Global Moran's I and LISA to analyse housing prices in Salvador, Brazil. Also, Gutiérrez et al. (2021) conducted an exploratory spatial analysis of housing prices obtained through web scraping in Salvador, Brazil. By applying spatial autocorrelation techniques such as Global Moran's I and Local Indicators of Spatial Association (LISA), they identified significant spatial heterogeneity in housing prices. Their study supports the argument that online real estate data can reveal spatial patterns and market dynamics that might not be captured through traditional data sources. These studies underscore the importance of integrating real-time data from online platforms to enhance the analysis of spatial patterns in housing markets. Üzümcü and Eligüzel (2023) extended the application of web scraping by employing machine learning techniques to predict real estate prices in Gaziantep, Turkey. Their study integrated decision trees, random forests, and extra trees algorithms to assess the affordability of different neighborhoods based on a buyer's financial status and property attributes. The results indicated that decision tree classification yielded the highest predictive accuracy, reinforcing the utility of automated data collection and machine learning for real estate market analysis.

Advanced methods of web mining have further enhanced real estate market research, enabling automated data collection and analysis from listing platforms. While previous studies have demonstrated the usefulness of web scraping in analyzing spatial patterns and market dynamics, a comprehensive approach to applying web mining for real estate market observation was presented in the doctoral dissertation of Muggenhuber (2016), titled *Real Property Market Observation via Web Mining of Ask Prices*.

This research focuses on the automated collection and analysis of real estate ask-price data to derive value-descriptive parameters, such as rent-to-price ratios, for residential property markets. The methodology includes data acquisition, cleansing, geocoding, and integration with cadastral and registry data, demonstrating the feasibility of using web-mining to observe market trends. The study highlights key challenges such as linking online advertisement data with transaction prices, dealing with data granularity, and overcoming discrepancies between listed and actual sales prices. While Muggenhuber's work provides a macro-level perspective on market transparency, it also emphasizes the importance of spatial econometrics and

localized analyses – aligning with the spatial approach taken in this study. By addressing similar challenges of data acquisition and integration, this research builds upon previous findings and applies them specifically to the Zagreb real estate market.

The integration of big data into spatial planning systems has expanded the potential for analysing real estate markets with unprecedented precision. Ensari and Kobaş (2018) showcased how combining demographic, economic, and spatial data with web scraping techniques supports informed urban design decisions, as demonstrated in their analysis of urban data visualization in Istanbul. This approach is further strengthened by the emergence of geographic data science, which Singleton and Arribas-Bel (2019) describe as an interdisciplinary field combining spatial analysis with big data methodologies. By leveraging modern technologies and large datasets, geographic data science fosters a deeper understanding of spatial processes and enhances the quality of analytical outcomes, making it a cornerstone of contemporary urban planning and real estate market analysis.

Drawing on this extensive body of literature, the present study applies spatial analysis methods to Zagreb city districts, integrating diverse spatial datasets to uncover patterns and dynamics in the residential real estate market. By utilizing the R programming language, the study identifies spatial autocorrelations, clusters, and key factors influencing the housing market. This integration of geographic data science and spatial methodologies offers a novel perspective on classical spatial data processing and contributes to a deeper understanding of Zagreb's residential real estate dynamics.

3. Methodology

3.1. Materials

The data used in this paper form the basis for the analysis of the residential real estate market and spatial inequalities in Zagreb. Primary sources include spatial data collected from the GIS system of the City of Zagreb and the Croatian Bureau of Statistics. The GIS data from the City of Zagreb include only the administrative boundaries of city districts, which were essential for spatial aggregation and analysis. The Croatian Bureau of Statistics provided census data, which include key socio-economic and demographic indicators at the district level. These variables consist of population size, average household size, number of occupied and vacant dwellings, and ownership structures (private,

moгу biti nepotpuni ili manipulirani. Slično tome, Souza i dr. (2021) primijenili su web scraping i metode prostorne autokorelacije, uključujući Global Moranov I i LISA-u, kako bi analizirali cijene stanovanja u gradu Salvadoru u Brazilu. Također, Gutiérrez i dr. (2021) proveli su istraživačku prostornu analizu cijena stanovanja dobivenih putem web scrapinga u Salvadoru. Primjenom tehnika prostorne autokorelacije, poput Globalnog Moranovog I i Lokalnih pokazatelja prostorne asocijacije (LISA), identificirali su značajnu prostornu heterogenost u cijenama stanovanja. Njihova studija podržava argument da podaci o nekretninama prikupljeni putem interneta mogu otkriti prostorne obrasce i dinamiku tržišta koji možda ne bi bili zabilježeni putem tradicionalnih izvora podataka. Te studije naglašavaju važnost integracije podataka u stvarnom vremenu s online platformi radi poboljšanja analize prostornih obrazaca na tržištima nekretnina. Üzümcü i Eligüzel (2023) proširili su primjenu web scrapinga koristeći tehnike strojnog učenja za predviđanje cijena nekretnina u Gaziantepu u Turskoj. Njihova studija integrirala je algoritme stabala odluke, slučajnih šuma i dodatnih stabala za procjenu pristupačnosti različitih četvrti na temelju financijskog statusa kupca i karakteristika nekretnine. Rezultati su pokazali da je klasifikacija stabla odluke dala najveću točnost predviđanja, što dodatno potvrđuje korisnost automatiziranog prikupljanja podataka i strojnog učenja za analizu tržišta nekretnina.

Napredne metode *web mininga* dodatno su unaprijedile istraživanja tržišta nekretnina, omogućujući automatizirano prikupljanje i analizu podataka s oglasnih platformi. Dok su prethodne studije pokazale korisnost web scrapinga u analizi prostornih obrazaca i tržišne dinamike, sveobuhvatan pristup primjeni web mininga za promatranje tržišta nekretnina predstavljen je u doktorskoj disertaciji Muggenhubera (2016) pod naslovom *Real Property Market Observation via Web Mining of Ask Prices*. Ovo istraživanje usmjereno je na automatizirano prikupljanje i analizu podataka o traženim cijenama nekretnina, s ciljem računanja vrijednosno-deskriptivnih parametara, poput odnosa cijene najma i prodaje, za tržište stambenih nekretnina. Metodologija uključuje prikupljanje podataka, njihovo čišćenje, geokodiranje te integraciju s katastarskim i registarskim podacima, čime se dokazuje izvedivost primjene web mininga u praćenju tržišnih trendova. Studija ističe ključne izazove, kao što su povezivanje podataka iz oglasa s realiziranim transakcijama, problem granularnosti podataka te razlike između oglašanih i stvarno ostvarenih cijena prodaje. Iako Muggenhuberov rad pruža makro perspektivu tržišne transparentnosti, on istovremeno naglašava važnost prostorne ekonometrije i lokaliziranih analiza, što je u skladu s pristupom korištenim u ovom istraživanju. Rješavanjem sličnih izazova povezanih s prikupljanjem i integracijom podataka,

ovo istraživanje nadograđuje prethodne spoznaje i primjenjuje ih na tržište nekretnina u Zagrebu.

Integracija pristupa *big data* u sustave prostornog planiranja značajno je proširila mogućnosti analize tržišta nekretnina, omogućujući dosad neviđenu preciznost u istraživanjima. Ensari i Kobaş (2018) pokazali su kako se kombinacijom demografskih, ekonomskih i prostornih podataka s tehnikama web scrapinga može donijeti odluke u urbanom planiranju, što su demonstrirali kroz analizu vizualizacije urbanih podataka u Istanbulu. Taj pristup dodatno je osnažen razvojem geografske podatkovne znanosti, koju Singleton i Arribas-Bel (2019) opisuju kao interdisciplinarno područje koje povezuje prostornu analizu s metodologijama analitike big data. Iskorištavanjem suvremenih tehnologija i velikih skupova podataka, geografska podatkovna znanost omogućuje dublje razumijevanje prostornih procesa i poboljšava kvalitetu analitičkih rezultata, čineći je ključnim alatom suvremenog urbanog planiranja i analize tržišta nekretnina.

Oslanjajući se na širok raspon literature, ovo istraživanje primjenjuje metode prostorne analize na razini gradskih četvrti Zagreba, integrirajući različite prostorne skupove podataka kako bi identificiralo obrasce i dinamiku na tržištu stambenih nekretnina. Korištenjem programskog jezika R, analiza otkriva prostornu autokorelaciju, klustere te ključne čimbenike koji utječu na tržište stambenih nekretnina. Ta integracija geografske podatkovne znanosti i prostornih metodologija donosi novu perspektivu u klasičnu analizu prostornih podataka te doprinosi dubljem razumijevanju tržišne dinamike Zagreba.

3. Metodologija

3.1. Materijali

Podaci korišteni u ovom radu čine temelj za analizu tržišta stambenih nekretnina i prostorne nejednakosti u Zagrebu. Primarni izvori uključuju prostorne podatke prikupljene iz GIS sustava Grada Zagreba te podatke Državnog zavoda za statistiku Republike Hrvatske. GIS podaci Grada Zagreba obuhvaćaju samo administrativne granice gradskih četvrti, koje su bile ključne za prostornu agregaciju i analizu. Podaci Državnog zavoda za statistiku preuzeti su iz popisa stanovništva, a sadrže ključne socioekonomske i demografske pokazatelje na razini gradskih četvrti. Među tim varijablama nalaze se broj stanovnika, prosječna veličina kućanstva, broj zauzetih i praznih stambenih jedinica te struktura vlasništva (privatno, korporativno, javno i vjersko). Ti podaci čine osnovu analize, koju dodatno nadopunjuju metode prikupljanja i obrade podataka.

Uz primarne podatke, podaci o oglasima za stambene nekretnine prikupljeni su korištenjem web scraping

corporate, public, and religious). These serve as a foundation supplemented by data collection methods.

In addition to primary data, residential real estate advertisement data were collected using web-scraping methods. The study employs the R programming language and various specialized packages for spatial analysis, web scraping, and data manipulation to integrate and analyse the collected data. These data and tools enable a detailed analysis of spatial patterns and inequalities in the Zagreb residential real estate market. The collected data provide insights into the residential real estate market, as they include information on asking prices for sales and rentals, property size, year of construction, and advertised prices. By integrating these data with official spatial data, the study achieves a more comprehensive and detailed understanding of spatial patterns in the residential real estate market.

As defined, the study focuses on spatial analysis of the residential real estate market, specifically analysing advertised properties for sale and rent at the city district level in Zagreb. Data were collected using web scraping from the Index Ads website (<https://www.index.hr/oglasi/>) on 1 August 2024, covering the period from 15 May 2023 to 31 July 2024. The initial unprocessed dataset contained 7,302 advertisements.

Retrieving data available on internet portals and websites can be conducted using the "data scraping" method (web scraping). Web scraping is the process of extracting data from websites. This technique involves using software tools to access websites, extract selected data, and store it in a structured format for further analysis. This technique is essential for obtaining data from web content. As Brenning and Henn (2023) point, steps include identifying the target website, reviewing the website structure, writing the scraper, which involves setting up the working environment, accessing the website, parsing HTML, handling dynamic content, extracting data, cleaning, and storing the data.

For collecting data on properties for sale and rent in Zagreb, a systematic and comprehensive methodology was used, utilizing the R programming language with packages such as R Selenium for web automation, rvest for HTML parsing, and dplyr for data manipulation. This approach ensures detailed and extensive collection of relevant data, which is crucial for analysing market trends.

The scraping process began by setting up the environment and loading the necessary tools for working with websites. A Selenium server was started with appropriate browser settings, enabling automated

browser control. This enabled navigation through websites and handling dynamic content from the R environment. A function called `scrape_page` was defined for collecting data from websites. It used commands for navigating to the URL and delaying code execution to ensure the page was fully loaded. HTML content was retrieved and parsed using the `rvest` package, identifying and extracting key advertisement elements such as price, size, year of construction, number of rooms, city district, and the advertisement posting date. The city district data enabled linking these advertisements to official spatial and statistical data. The `scrape_page` function was called for each page, and the results were combined into the main data frame `all_ads_df`, providing a database for further analysis. The collected data was saved into a CSV file, ensuring it was in a structured format for further processing. Using the same methodology, data on rental advertisements in Zagreb was also collected, complementing the sales data.

The next segment in the methodology focused on cleaning the retrieved data. The goal was to ensure consistency and usability for further analysis. In most advertisements, the name of the relevant city district is specified. However, some listings only stated "City of Zagreb" without indicating a specific district. As the study focused on city district-level analysis, these advertisements could not be accurately associated with a particular district. Therefore, they were excluded from the dataset to maintain the integrity of the spatial analysis. As for cleaning data fields, the "size" field was cleaned by removing the "M2" suffix and converting it to a numeric format. The "year of construction" and "rooms" fields were filtered to retain only numeric values, while the "price" field was processed to remove currency symbols and standardize the format. Entries with unrealistic prices (below 10,000 euros for sales or 100 euros for rent) were excluded to avoid errors. The "date" field was standardized, and the price per square meter was calculated.

The dataset used in this study consists of ask prices (advertised prices) for both sales and rentals, which represent the prices set by sellers and landlords rather than actual transaction values. While ask prices provide a valuable insight into market trends, they do not necessarily reflect the final negotiated or realized prices. The relationship between ask prices and transaction prices is often influenced by factors such as bargaining power, market liquidity, and broader economic conditions. Without access to actual transaction data, this study focuses on relative price differences across the Zagreb city districts, rather

metoda. Istraživanje koristi programski jezik R i različite specijalizirane pakete za prostornu analizu, web scraping i manipulaciju podacima kako bi omogućilo integraciju i analizu prikupljenih podataka. Korištenjem tih metoda omogućena je obrada velikih skupova podataka te njihova prostorna agregacija i vizualizacija, što je ključno za razumijevanje tržišnih obrazaca. Prikupljeni podaci omogućuju detaljnu analizu prostornih obrazaca i nejednakosti na zagrebačkom tržištu stambenih nekretnina. Budući da sadrže informacije o traženim cijenama za prodaju i najam, veličini nekretnina, godini izgradnje i oglašenim cijenama, ti podaci pružaju dublji uvid u tržišne dinamike i obrasce oglašavanja. Integracijom podataka iz oglasa sa službenim prostornim podacima postiže se sveobuhvatniji i precizniji prikaz tržišnih trendova i prostornih odnosa na tržištu stambenih nekretnina u Zagrebu.

Kako je definirano, istraživanje je usmjereno na prostornu analizu tržišta stambenih nekretnina, s posebnim naglaskom na analizu oglašenih nekretnina za prodaju i najam na razini gradskih četvrti u Zagrebu. Podaci su prikupljeni metodom web scrapinga s web stranice Index Oglasi (<https://www.index.hr/oglas/>) dana 1. kolovoza 2024., a obuhvaćaju razdoblje od 15. svibnja 2023. do 31. srpnja 2024. Početni neobrađeni skup podataka sadržavao je 7302 oglasa.

Preuzimanje podataka dostupnih na internetskim portalima i web stranicama može se provesti metodom web scrapinga. Web scraping je proces izdvajanja podataka s web stranica upotrebom softvera koji omogućuju pristup stranicama, ekstrakciju odabranih podataka i njihovo pohranjivanje u strukturiranom formatu za daljnju analizu. Ta tehnika ključna je za prikupljanje podataka iz web sadržaja. Kako navode Brenning i Henn (2023), postupak web scrapinga uključuje nekoliko koraka: identifikaciju ciljane web stranice, pregled strukture web stranice, pisanje scraper koda, što obuhvaća postavljanje radnog okruženja, pristup web stranici, parsiranje HTML-a, rukovanje dinamičkim sadržajem, izdvajanje podataka, njihovo čišćenje i konačno pohranu u odgovarajući format.

Za prikupljanje podataka o nekretninama za prodaju i najam u Zagrebu korištena je sustavna i sveobuhvatna metodologija, pri čemu je upotrijebljen programski jezik R s paketima kao što su R Selenium za web automatizaciju, rvest za parsiranje HTML-a i dplyr za rukovanje podacima. Takav pristup omogućuje detaljno i opsežno prikupljanje relevantnih podataka, što je ključno za analizu tržišnih trendova.

Proces web scrapinga započeo je postavljanjem radnog okruženja i učitavanjem potrebnih alata za rad s web stranicama. Pokrenut je server Selenium s odgovarajućim postavkama preglednika, omogućujući automatizirano upravljanje preglednikom. Time je bilo moguće navigirati

kroz web stranice i upravljati dinamičkim sadržajem iz R okruženja. Definirana je funkcija `scrape_page` za prikupljanje podataka s web stranica. Ta funkcija koristila je naredbe za pristup URL-u i odgodu izvršavanja koda kako bi se osiguralo potpuno učitavanje stranice. HTML sadržaj stranice dohvaćen je i parsiran korištenjem paketa `rvest`, pri čemu su identificirani i izdvojeni ključni elementi oglasa, uključujući cijenu, površinu, godinu izgradnje, broj soba, gradsku četvrt te datum objave oglasa. Podaci o gradskoj četvrti omogućili su povezivanje oglasa sa službenim prostornim i statističkim podacima. Funkcija `scrape_page` pozvana je za svaku stranicu, a rezultati su kombinirani u glavni podatkovni okvir `all_ads_df`, stvarajući bazu podataka za daljnju analizu. Prikupljeni podaci spremljeni su u CSV datoteku, osiguravajući strukturirani format za daljnju obradu. Koristeći istu metodologiju, prikupljeni su i podaci o oglasima za najam nekretnina u Zagrebu, čime su podaci o prodaji dodatno upotpunjeni.

Sljedeći segment metodologije bio je usmjeren na čišćenje prikupljenih podataka, s ciljem osiguravanja dosljednosti i upotrebljivosti za daljnju analizu. U većini oglasa naveden je naziv odgovarajuće gradske četvrti, no dio oglasa sadržavao je samo oznaku "Grad Zagreb" bez preciznog navođenja četvrti. Budući da je istraživanje usmjereno na analizu na razini gradskih četvrti, ti oglasi nisu mogli biti točno povezani s određenom četvrti, pa su isključeni iz skupa podataka kako bi se očuvao integritet prostorne analize. Što se tiče čišćenja pojedinih podatkovnih polja, polje "površina" očišćeno je uklanjanjem oznake "M2" i pretvoreno u numerički format. Polja "godina izgradnje" i "broj soba" filtrirana su kako bi zadržala samo numeričke vrijednosti, dok je polje "cijena" obrađeno uklanjanjem valutnih simbola i standardizacijom formata. Zapisi s nerealnim cijenama (nižim od 10.000 eura za prodaju ili 100 eura za najam) isključeni su kako bi se izbjegle pogreške u analizi. Također, polje "datum" standardizirano je na ujednačen format, a iz dostupnih podataka izračunana je cijena po kvadratnom metru.

3.2. Deskriptivna statistika

Deskriptivna statistika izračunana je kako bi se sažeo skup podataka i pružili temeljni uvidi u raspodjelu cijena prodaje i najma stambenih nekretnina u gradskim četvrtima Zagreba. Izračunane su prosječne cijene za prodaju i najam nekretnina kako bi se identificirale varijacije među gradskim četvrtima. Te metrike predstavljaju ključne ulazne podatke za prostorne analize, omogućujući usporedbu tržišne dinamike unutar i između četvrti. Računanje je provedeno korištenjem programskog jezika R za agregaciju i čišćenje podataka, čime je osigurana konzistentnost i pouzdanost analize.

than attempting to determine absolute market values. This is a common challenge in real estate market analyses relying on web-scraped data (Muggenhuber 2016).

3.2. Descriptive statistics

Descriptive statistics were calculated to summarize the dataset and provide foundational understanding of the distribution of sale and rental prices across the Zagreb city districts. Average prices for both sales and rentals were computed to identify variations among city districts. These metrics are essential inputs for spatial analyses, facilitating the comparison of market dynamics within and across districts. The calculation process utilized R programming to aggregate and clean data, ensuring consistent and reliable measurements.

3.3. Exploratory Spatial Data Analysis

Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA) was conducted using the R programming language to ensure a unified and systematic approach to data processing and analysis. ESDA is a suite of techniques designed to describe and visualize spatial distributions and identify spatial patterns (Getis 2008). It aids in discovering and understanding spatial dependencies, revealing clustering, dispersion, and hotspots within the data. One of the primary focuses of ESDA is the measurement of spatial autocorrelation, which is crucial for identifying relationships between spatial units. This study employed three key methods:

- **Global Moran's I:** This method measures the overall spatial autocorrelation in the dataset, quantifying whether similar values (e.g., high or low prices) cluster together or are randomly distributed across city districts. A positive Moran's I indicates positive spatial autocorrelation, where districts with high prices tend to cluster together, as do districts with low prices. A negative Moran's I suggests negative spatial autocorrelation, where high prices are surrounded by low prices or vice versa. A value near zero indicates no apparent spatial autocorrelation, suggesting randomness. Statistical significance is assessed using p-values and z-scores to ensure robustness (Moran 1948).
- **Local Moran's I (LISA):** While Global Moran's I identifies the overall spatial patterns, LISA provides a more localized perspective by identifying clusters and outliers within specific areas. It pinpoints high-high clusters (e.g., districts with high prices surrounded by other high-price districts) and low-low

clusters (e.g., districts with low prices surrounded by other low-price districts). Additionally, LISA detects spatial outliers, such as high-low or low-high clusters, which indicate anomalies. This localized approach allows for a detailed exploration of spatial variations among districts (Anselin 1995).

- **Getis-Ord G_i^* :** This statistic identifies "hot spots" and "cold spots" within the dataset, representing clusters of extreme values. "Hot spots" are areas with significantly high values (e.g., high property prices), while "cold spots" are areas with significantly low values. The G_i^* statistic evaluates spatial clustering intensity and its statistical significance using z-scores (Getis 2008).

3.4. Correlation

Correlation analysis was employed to examine relationships between sale/rental prices and other district-level variables, such as household size, ownership structures, and vacancy rates. A correlation matrix was created to quantify the strength and direction of these relationships where positive correlations indicate variables that increase together and negative correlations signify an inverse relationship, where an increase in one variable corresponds to a decrease in another.

The correlation analysis was conducted to examine relationships between sale and rental prices and district-level variables specific to the residential real estate market. A correlation matrix was created to quantify the strength and direction of these relationships. The selected variables were chosen for their relevance to the residential real estate market, reflecting critical factors that shape housing demand, supply, and pricing dynamics. These include:

- **Average Household Size:** This variable reflects population density and household composition, which influence housing demand and affordability within districts.
- **Occupied Permanent Residences and Occupied Households:** These variables indicate the degree of residential stability and housing saturation, which are fundamental to understanding market activity and trends in the residential sector.
- **Unoccupied Dwellings:** The number of vacant residential units is a key indicator of housing supply and its relationship to pricing and demand.
- **Ownership Structures:** Different ownership types, such as private, company, public, and religious ownership, directly impact residential real estate availability and price dynamics.
- **Sale and Rental Prices:** As primary variables of interest, they represent the outcomes of the interactions

3.3. Eksploratorna prostorna analiza podataka

Eksploratorna prostorna analiza podataka (eng. *Exploratory Spatial Data Analysis*, skraćeno *ESDA*) provedena je upotrebom programskog jezika R kako bi se osigurao jedinstven i sustavan pristup obradi i analizi podataka. ESDA obuhvaća skup tehnika osmišljenih za opisivanje i vizualizaciju prostorne distribucije te prepoznavanje prostornih obrazaca (Getis 2008). Te metode omogućuju otkrivanje i razumijevanje prostornih zavisnosti, identificirajući klasterne, disperziju i prostorne hotspotove unutar podataka.

Jedan od ključnih aspekata ESDA analize je mjerenje prostorne autokorelacije, koja je ključna za prepoznavanje odnosa između prostornih jedinica. U ovom istraživanju primijenjene su tri ključne metode:

- Globalni Moranov I: Ta metoda mjeri ukupnu prostornu autokorelaciju unutar skupa podataka, kvantificirajući jesu li slične vrijednosti (npr. visoke ili niske cijene) grupirane ili nasumično raspoređene među gradskim četvrtima. Pozitivan Moranov I ukazuje na pozitivnu prostornu autokorelaciju, pri čemu četvrti s visokim cijenama teže formirati klasterne, kao i one s niskim cijenama. Negativan Moranov I sugerira negativnu prostornu autokorelaciju, gdje su visoke cijene okružene niskima i obrnuto. Vrijednost blizu nule upućuje na odsutnost prostorne autokorelacije, sugerirajući nasumičnu raspodjelu. Statistička značajnost procjenjuje se pomoću p-vrijednosti i z-skorova kako bi se osigurala pouzdanost rezultata (Moran 1948).
- Lokalni Moranov I (LISA): Dok globalni Moranov I identificira opće prostorne obrasce, LISA omogućuje detaljniju analizu lokalnih prostornih klastera i odstupanja unutar određenih područja. Ta metoda prepoznaje high-high klasterne (npr. gradske četvrti s visokim cijenama okružene drugim četvrtima s visokim cijenama) i low-low klasterne (četvrti s niskim cijenama okružene četvrtima s niskim cijenama). Osim toga, LISA otkriva prostorne izuzetke, poput high-low i low-high klastera, koji ukazuju na anomalije u raspodjeli cijena nekretnina. Taj lokalizirani pristup omogućuje precizniju analizu prostornih varijacija među gradskim četvrtima (Anselin 1995).
- Getis-Ord G_i^* : Ta statistika identificira "hot spotove" i "cold spotove" unutar skupa podataka, odnosno prostorne klasterne ekstremnih vrijednosti. "Hot spotovi" su područja sa znatno visokim vrijednostima (npr. visoke cijene nekretnina), dok "cold spotovi" označavaju područja sa znatno niskim vrijednostima. G_i^* statistika procjenjuje intenzitet prostorne grupiranosti i njezinu statističku značajnost pomoću z-skorova, čime omogućuje prepoznavanje prostornih trendova i koncentracije ekstremnih vrijednosti (Getis 2008).

3.4. Korelacija

Korelacijska analiza provedena je kako bi se ispitali odnosi između cijena prodaje i najma nekretnina te ostalih varijabli na razini gradskih četvrti, poput veličine kućanstva, strukture vlasništva i stope praznih stanova. Kreirana je korelacijska matrica koja kvantificira snagu i smjer tih odnosa, pri čemu pozitivne korelacije ukazuju na varijable koje rastu zajedno, dok negativne korelacije označavaju obrnuti odnos, gdje povećanje jedne varijable dovodi do smanjenja druge.

Korelacijska analiza provedena je kako bi se ispitali odnosi između cijena prodaje i najma te ključnih varijabli specifičnih za tržište stambenih nekretnina na razini gradskih četvrti. Korelacijska matrica omogućuje kvantificiranje snage i smjera tih odnosa. Odabrane varijable su ključne za razumijevanje tržišta nekretnina, jer odražavaju temeljne čimbenike koji oblikuju potražnju, ponudu i dinamiku cijena. One uključuju sljedeće varijable:

- Prosječna veličina kućanstva: Ta varijabla odražava gustoću naseljenosti i sastav kućanstava, što utječe na potražnju za stanovanjem i pristupačnost nekretnina unutar gradskih četvrti.
- Zauzete (korištene) stalne stambene jedinice i zauzeta kućanstva: Te varijable ukazuju na stupanj stambene stabilnosti i zasićenosti stanovanjem, što je ključno za razumijevanje aktivnosti na tržištu nekretnina i tržišnih trendova u stambenom sektoru.
- Nezauzete stambene jedinice: Broj praznih stambenih jedinica predstavlja ključni pokazatelj ponude stanova te njihove povezanosti s cijenama i potražnjom.
- Struktura vlasništva: Različiti oblici vlasništva, poput privatnog, korporativnog, javnog i vjerskog, izravno utječu na dostupnost nekretnina i dinamiku cijena na stambenom tržištu.
- Cijene prodaje i najma: Kao primarne varijable istraživanja, one predstavljaju ishod interakcije između ponude i potražnje na tržištu stambenih nekretnina. Ove varijable odabrane su jer omogućuju sustavan pregled dinamike stambenog tržišta, pružajući uvid u prostorne obrasce i ekonomske razlike među gradskim četvrtima. Fokusiranjem na Te ključne varijable, analiza nastoji identificirati značajne korelacije koje mogu objasniti varijacije u cijenama nekretnina na razini gradskih četvrti Zagreba. Osim toga, primjenom metoda prostorne analize i integracijom dostupnih skupova podataka, ovo istraživanje pruža pregled zagrebačkog tržišta stambenih nekretnina kroz prepoznavanje prostorne raspodjele cijena. Unatoč ograničenom broju atributa nekretnina i relativno malom skupu podataka o oglašenim cijenama, analiza je omogućila vrijedne uvide u tržišne trendove i prostorne obrasce cijena.

between the supply-side and demand-side factors within the residential real estate market.

These variables were chosen because they provide a systematic view of the residential market dynamics, offering an understanding of spatial patterns and economic disparities. By focusing on these key variables, the analysis seeks to identify meaningful correlations that explain variations in housing prices across the Zagreb city districts. Also, by applying spatial analysis methods and integrating available datasets, this study provides an overview of the Zagreb residential real estate market by identifying spatial price patterns. Despite the limited number of real estate attributes and a relatively small dataset of listed prices, the analysis provided valuable insights into market trends.

4. Results

A total of 3,381 advertisements for residential sales and 757 advertisements for monthly rental were analysed. The primary descriptive statistical analysis included calculating the average prices for apartment sales and rentals by city district. The analysis of average prices for purchase and rental in different districts of Zagreb reveals significant differences, highlighting the diversity of the market. As previously noted, the average asking price for rent is expressed per month. The data show that Podsljeme and Gornji Grad - Medveščak are among the most expensive districts for purchase and rental, with average sale prices of approximately €445,748.30 and €442,079.53 and average rental prices of around €1,425.00 and €1,469.89, respectively. On the other hand, the city districts of Brezovica and Sesvete record the lowest average sale prices, approximately €178,986.10 and €188,038.52. Similarly, Sesvete and Donja Dubrava have the lowest average rental prices, approximately €577.78 and €622.00. Donji Grad and Maksimir also stand out, with Donji Grad having an average sale price of around €308,098.60 and an average rental price of €1,352.50. Maksimir, known for its relatively high prices, shows an average sale price of €366,801.71 and an average rental price of €1,153.44. The data also indicate that Novi Zagreb (East and West), while more affordable, have relatively consistent markets, with average sale prices ranging from €191,196.62 to €196,060.32 and average rental prices from €694.52 to €705.85. Additionally, Črnomerec and Trnje show moderate pricing, with average sale prices of €286,697.92 and €287,109.72 and average rental prices of €1,048.44 and €942.25, respectively. Overall, these findings indicate a clear stratification of the Zagreb real estate market, where

central and historically significant districts achieve higher prices, while peripheral districts have lower prices (Table 1, Figure 1).

According to official data from the Report on the Real Estate Market of the City of Zagreb (2023) and the Ministry of Physical Planning, Construction and State Assets (2023), the average price of the apartments sold in Zagreb amounts to €2,348.08 per square meter. Comparing this with the findings of this research, which estimates an average price of €3,256.42 per square meter based on data collected from online advertisements, an absolute difference of €908.34 per square meter is evident, translating to a relative difference of 38.68%. The official data reflect finalized transaction prices, while the data in this research are based on advertised prices, which often include negotiation margins and subjective valuations by sellers.

While the discrepancy between the advertised and transaction prices at the city level is significant, the primary focus of this research is on relative spatial price variations rather than absolute market values. Even though absolute prices may be inflated, the distribution of advertised prices across city districts likely reflects real market dynamics, as price hierarchies tend to persist across different datasets. This means that while advertised prices may be overestimated in absolute terms, their relative differences across districts still provide meaningful insights into spatial inequalities and clustering. Future research should integrate district-level transaction prices, where available, to verify whether similar spatial trends emerge in finalized sales data. Additionally, incorporating data on actual sales transactions could help refine the accuracy of the spatial distribution of property values, allowing for a more precise understanding of price variations across Zagreb.

All exploratory spatial analysis was conducted using the R programming language, ensuring a unified methodological approach to data processing and analysis. One of the main ESDA methods is the measurement of spatial autocorrelation, which includes two key methods: Moran's I and Getis-Ord G_i^* statistics. In the context of this study, Moran's I was used to determine whether there is spatial autocorrelation in real estate prices (both for sale and rent) across the city. The results of the Moran's I test for sale prices indicate significant positive spatial autocorrelation, with Moran's I = 0.4311, $p = 2.48 \times 10^{-4}$, and a standard deviation (z-score) of 3.4825. This positive value suggests that similar sale prices are spatially clustered, deviating significantly from the null hypothesis of no spatial autocorrelation. For rental prices, Moran's I = 0.4464, $p = 6.35 \times 10^{-5}$, with

Tablica 1. Odnos između prosječnih oglašanih cijena prodaje, mjesečnog najma i broja oglašanih jedinica na razini gradskih četvrti. Izvor: Index oglasi.**Table 1** The relationship between average advertised sale prices, monthly rent, and the number of advertised units at the city district level. Source: Index oglasi.

Gradska četvrt/ City district	Šifra gradske četvrti (Državna geodetska uprava)/ City district Code (State Geodetic Administration)	Broj jedinica za prodaju/ Number of real estates for sale	Broj jedinica za najam/ Number of real estates for rent	Srednja tražena cijena za prodaju (€)/ Average asking price for sale (€)	Srednja tražena cijena za najam (€ na mjesec)/ Average asking price for rent (€ per month)
Brezovica	00051	10	3	178,986.10	683.33
Črnomerec	00094	250	45	286,697.92	1,048.44
Donja Dubrava	00108	154	15	195,007.25	622.00
Donji Grad	00116	262	92	308,098.60	1,352.50
Gornja Dubrava	00132	99	30	206,807.84	816.30
Gornji Grad - Medveščak	00159	190	91	442,079.53	1,469.89
Maksimir	00329	363	70	366,801.71	1,153.44
Novi Zagreb - Istok	00426	135	42	191,196.62	694.52
Novi Zagreb - Zapad	00434	343	41	196,060.32	705.85
Peščenica - Žitnjak	00442	168	47	198,306.25	875.11
Podsljeme	00493	144	18	445,748.30	1,425.00
Podsused - Vrapče	00507	162	20	210,184.16	812.50
Sesvete	00566	225	9	188,038.52	577.78
Stenjevec	00612	229	36	226,034.56	817.78
Trešnjevka - Jug	00663	210	70	261,597.13	751.29
Trešnjevka - Sjever	00671	365	84	244,273.69	859.04
Trnje	00680	72	44	287,109.72	942.25

4. Rezultati

Ukupno je analiziran 3381 oglas za prodaju stambenih nekretnina i 757 oglasa za mjesečni najam. Primarna deskriptivna statistička analiza obuhvatila je računanje prosječnih cijena stanova za prodaju i najam prema gradskim četvrtima. Analiza prosječnih cijena kupoprodaje i najma u različitim dijelovima Zagreba otkriva značajne razlike, naglašavajući raznolikost tržišta. Kao što je već spomenuto, tražena cijena se odnosi na mjesečni najam. Podaci pokazuju da su Podsljeme i Gornji Grad - Medveščak među najskupljim četvrtima za kupnju i najam, s prosječnim prodajnim cijenama od približno 445 748,30 € i 442 079,53 €, dok prosječne cijene najma iznose oko 1425,00 € i 1469,89 €. S druge strane, gradske četvrti Brezovica i Sesvete bilježe najniže prosječne cijene prodaje, približno 178 986,10 € i 188 038,52 €. Slično tome, najniže prosječne cijene najma zabilježene su u Sesvetama i Donjoj Dubravi, s vrijednostima od 577,78 € i 622,00 €. Četvrti Donji Grad i Maksimir također se ističu - Donji Grad ima prosječnu prodajnu cijenu od 308 098,60 € te prosječnu cijenu najma od 1352,50 €. Maksimir, poznat po relativno visokim cijenama, pokazuje

prosječnu prodajnu cijenu od 366 801,71 € i prosječnu cijenu najma od 1153,44 €. Podaci također ukazuju da su Novi Zagreb - Istok i Novi Zagreb - Zapad, iako pristupačniji, relativno stabilna tržišta, s prosječnim prodajnim cijenama u rasponu od 191 196,62 € do 196 060,32 €, dok se prosječne cijene najma kreću između 694,52 € i 705,85 €. Dodatno, četvrti Črnomerec i Trnje pokazuju umjerene cijene, s prosječnim prodajnim vrijednostima od 286 697,92 € i 287 109,72 €, te prosječnim cijenama najma od 1048,44 € i 942,25 €. Sveukupno, ovi rezultati ukazuju na jasnu stratifikaciju zagrebačkog tržišta nekretnina, pri čemu središnje i povijesno značajne četvrti postižu više cijene, dok su periferne četvrti cjenovno povoljnije (tablica 1, slika 1).

Prema službenim podacima iz Izvješća o tržištu nekretnina Grada Zagreba (2023) i Ministarstva prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine (2023), prosječna cijena prodanih stanova u Zagrebu iznosila je 2348,08 € po kvadratnom metru. Usporedbom s rezultatima ovog istraživanja, koje na temelju podataka iz online oglasa procjenjuje prosječnu cijenu na 3256,42 € po kvadratnom metru, vidljiva je apsolutna razlika od 908,34 € po kvadratnom metru, što predstavlja relativnu razliku od 38,68%. Službeni

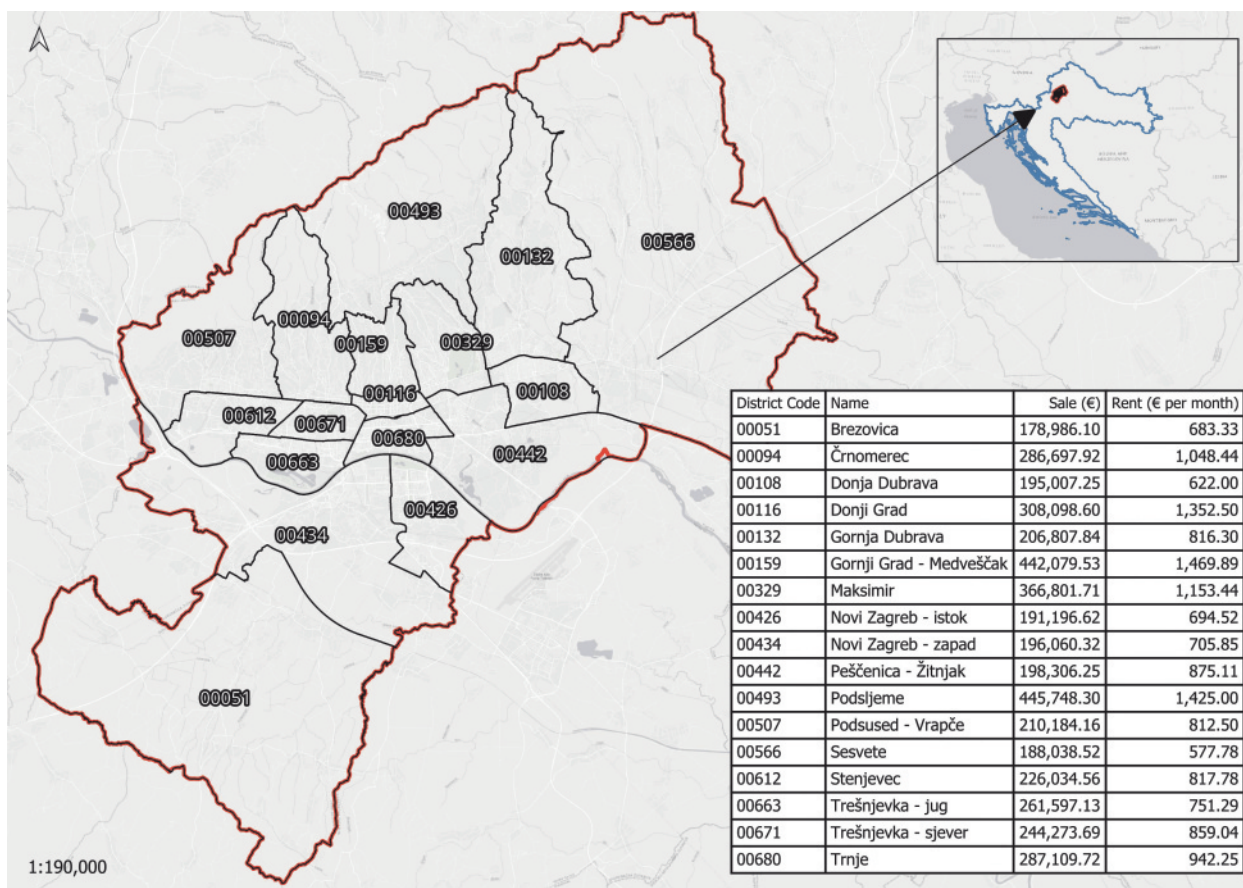


Fig. 1 Spatial distribution of average sale and rental prices in the Zagreb city districts. Source: Index oglasi.

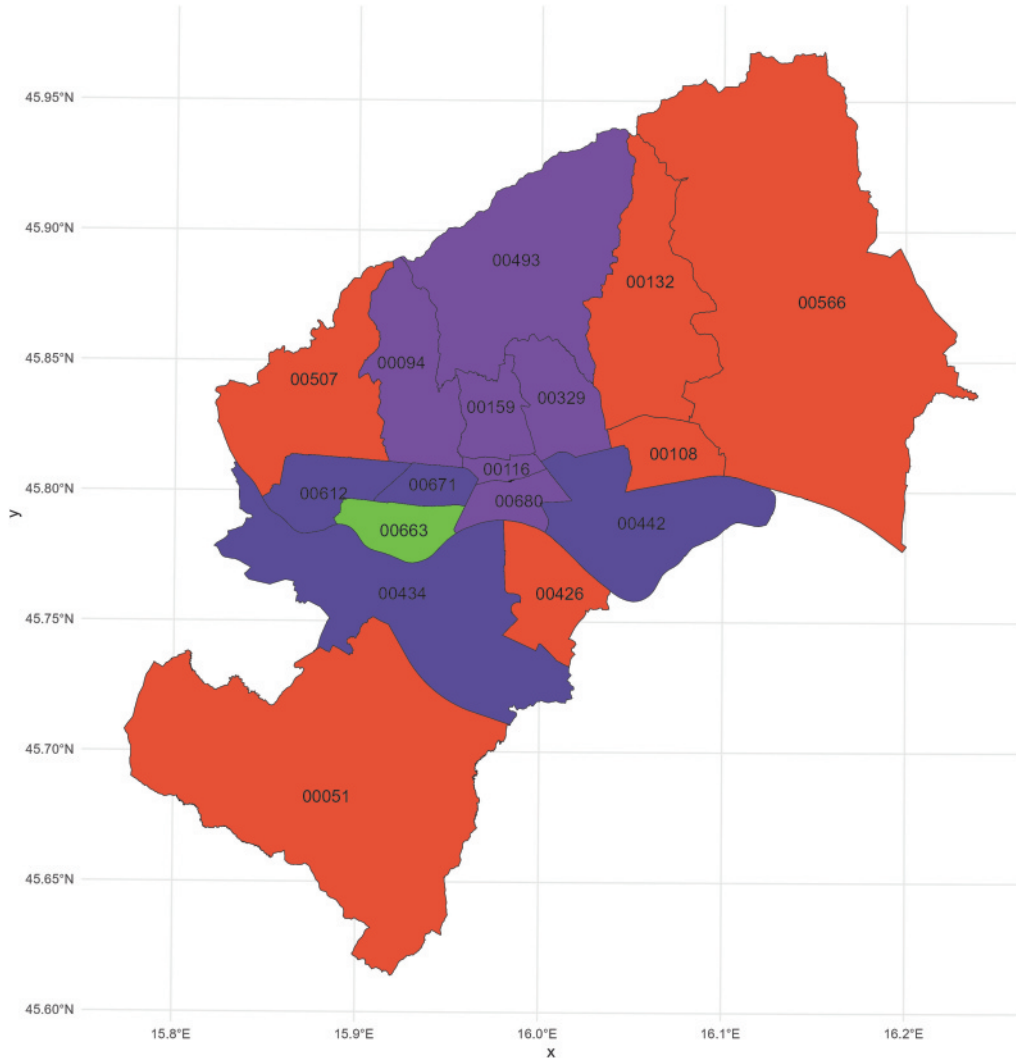
Slika 1. Prostorna raspodjela prosječnih cijena prodaje i najma u gradskim četvrtima Zagreba. Izvor: Index oglasi.

a z-score of 3.8321. These results indicate an even stronger positive spatial autocorrelation, suggesting that both high and low rental prices are also spatially clustered. While Global Moran's I shows the overall trend of similarity or dissimilarity in prices across the entire city, Local Moran's I focuses on identifying specific districts, their clusters, and the differences between them. A detailed analysis of Local Moran's I for sale prices indicates that central city districts are grouped into a high-price (high-high) cluster, while peripheral city districts are grouped into a low-price (low-low) cluster (Figure 2).

Regarding rental prices, no clusters of high prices surrounded by low prices were observed. Similarly, to rental prices, central city districts are grouped into a high-price cluster, while peripheral city districts are formed into a low-price cluster (Figure 3).

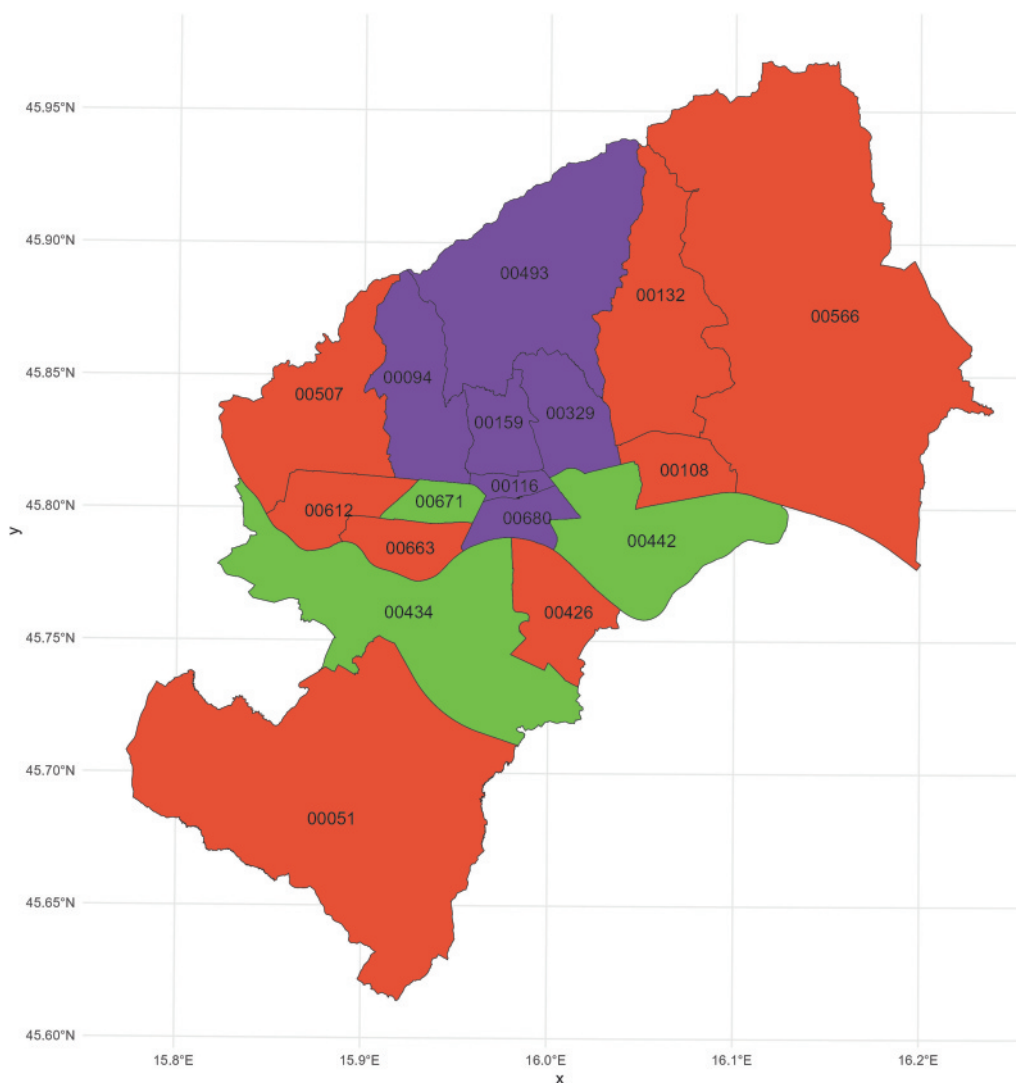
By examining the spatial distribution of both sale and rental prices, a nearly identical pattern of G_i^* statistic distribution is observed. It shows that the explicit "hot spot" is the city district of Gornji Grad – Medveščak (00159), while G_i^* values decrease towards the peripheral city districts. This statistic highlights the centrality of the G_i^* pattern (Figures 4 and 5).

The analysis of real estate prices in Zagreb's city districts reveals significant differences compared to the city's average values. The average asking sale price is approximately €260,766.40, while the average rental price is around €918.06. The analysis of sale prices by city districts shows that 7 districts have average sale prices above the city average, while 10 districts have prices below that average. This indicates that the majority of city districts have sale prices lower than the city average (Figure 6).



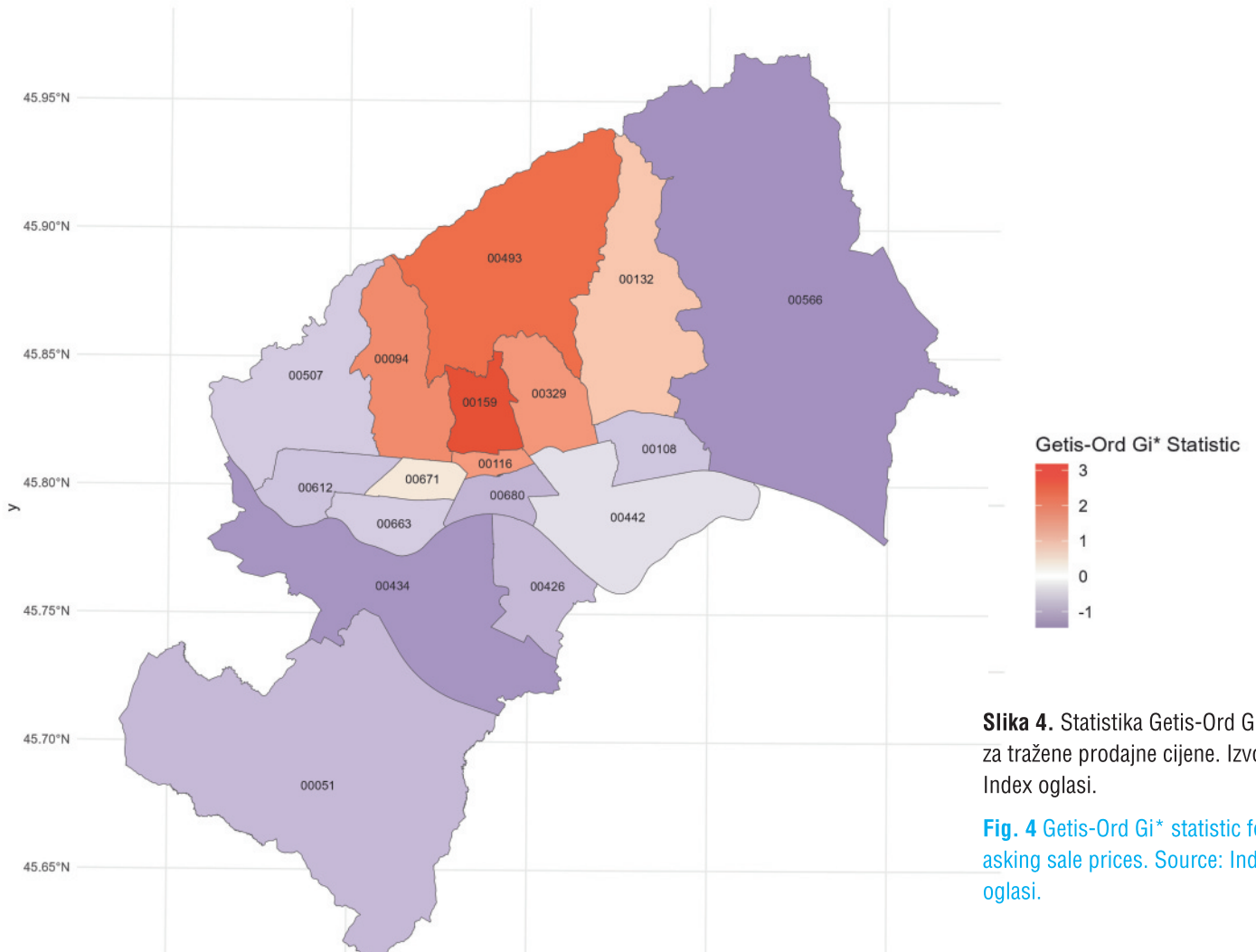
Slika 2. Kvadranti Lokalnog Moranovog I za tražene prodajne cijene. Izvor: Index oglasi.

Fig. 2 Local Moran's I quadrants for asking sale prices. Source: Index oglasi.



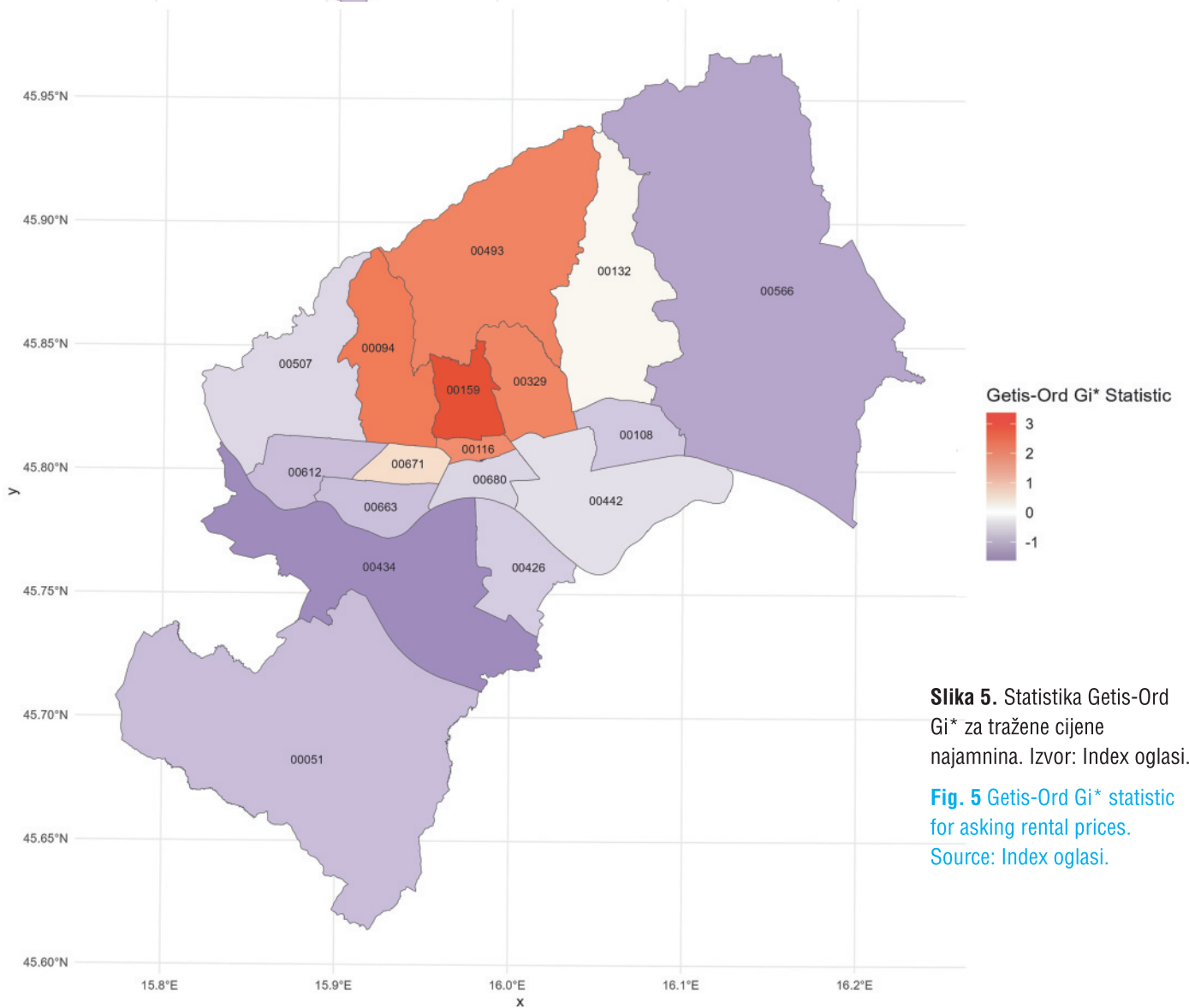
Slika 3. Kvadranti Lokalnog Moranovog I za tražene cijene najamnina. Izvor: Index oglasi.

Fig. 3 Local Moran's I quadrants for asking rental prices. Source: Index oglasi .



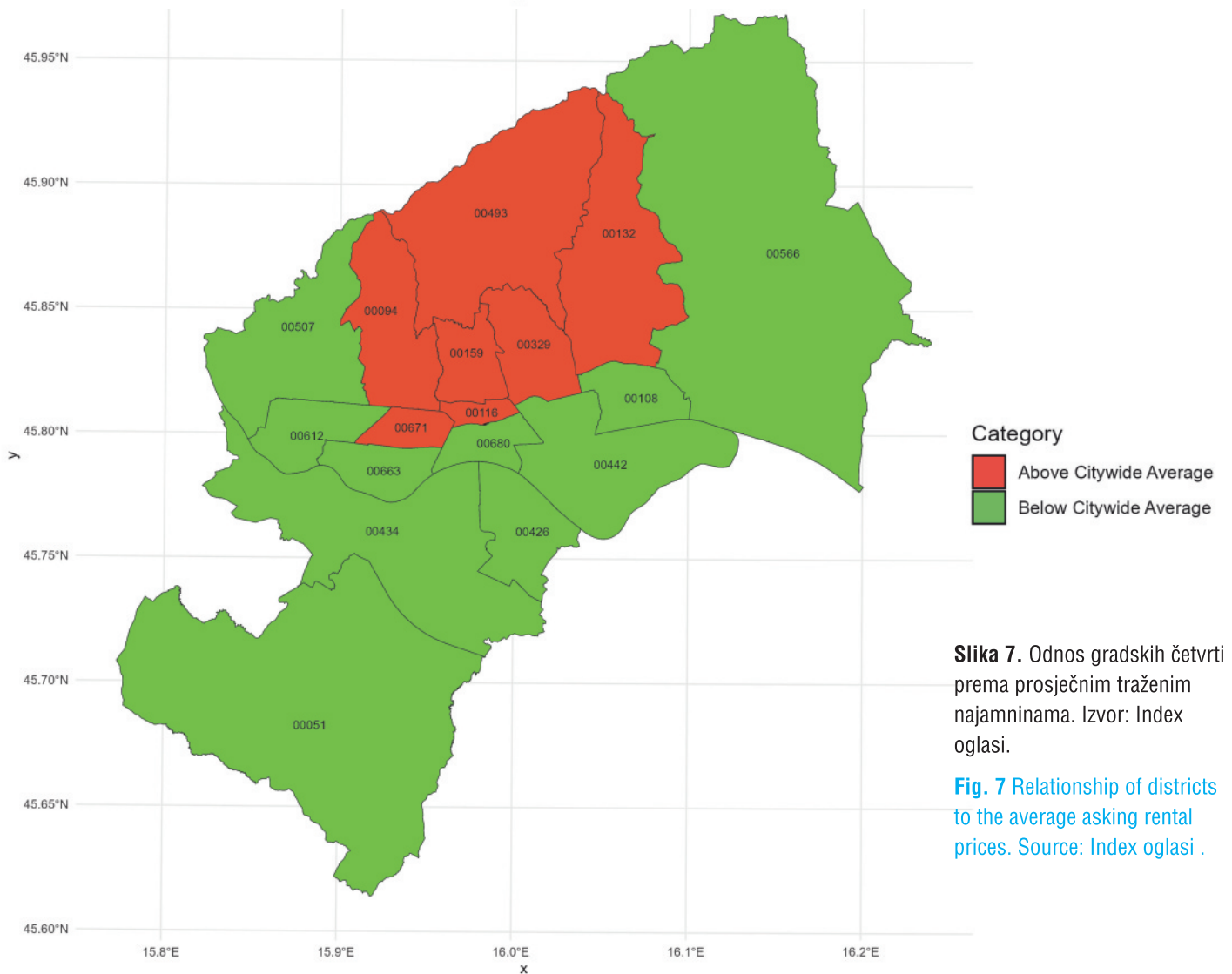
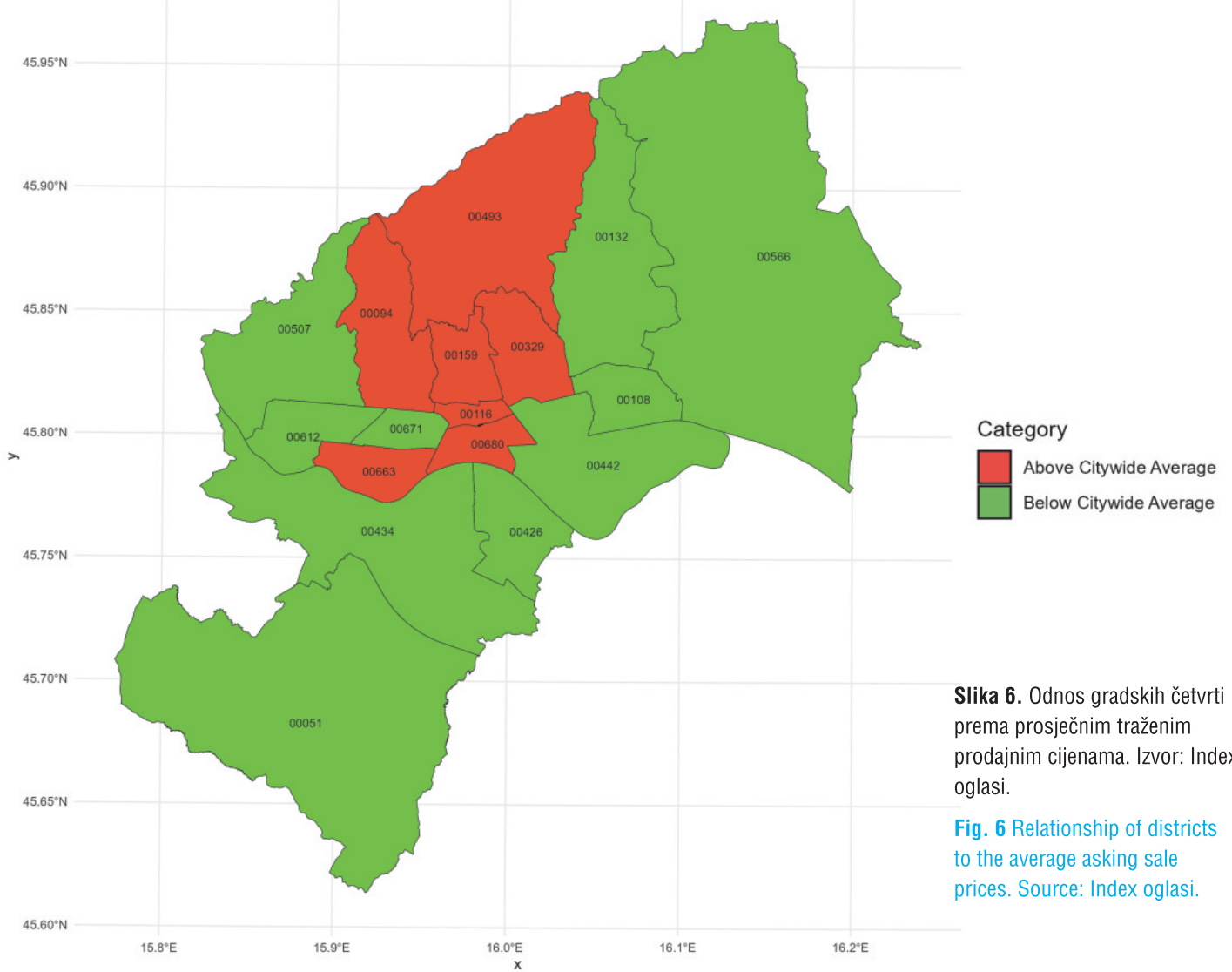
Slika 4. Statistika Getis-Ord G_i^* za tražene prodajne cijene. Izvor: Index oglasi.

Fig. 4 Getis-Ord G_i^* statistic for asking sale prices. Source: Index oglasi.



Slika 5. Statistika Getis-Ord G_i^* za tražene cijene najamnina. Izvor: Index oglasi.

Fig. 5 Getis-Ord G_i^* statistic for asking rental prices. Source: Index oglasi.



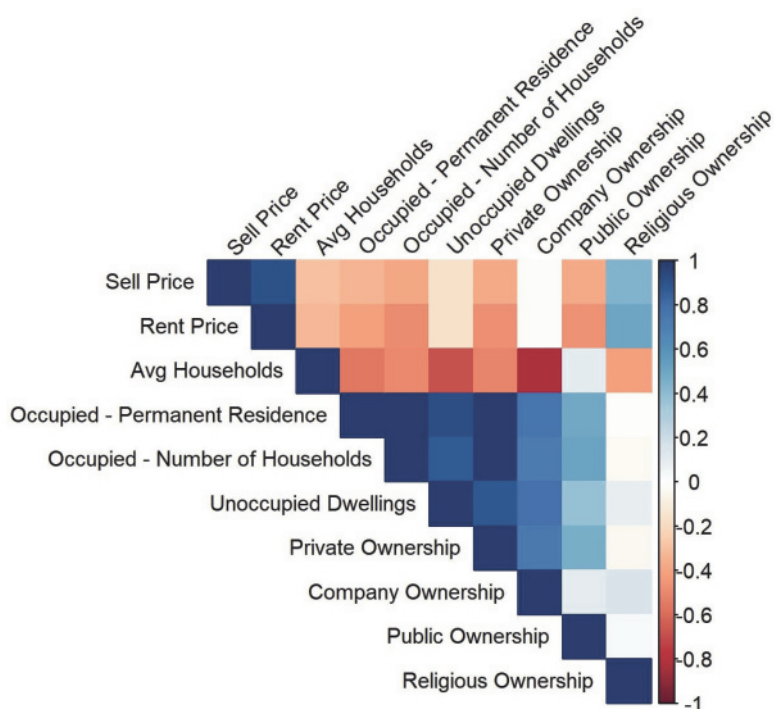


Fig. 8 Correlation matrix between city districts key variables. Source: Index oglasi.

Slika 8. Korelacijska matrica između ključnih varijabli gradskih četvrti. Izvor: Index oglasi.

On the other hand, the analysis of rental prices also shows that 7 city districts have average rental prices above the city average, while 10 districts have rental prices below the average (Figure 7). This analysis reveals patterns in the Zagreb real estate market in both the sale and rental segments. Spatially, a similar trend is observed for both sale and rental prices, where central city districts have higher average asking prices, while peripheral districts have lower prices.

An analysis that examines the relationships between variables in a dataset involves creating a correlation matrix to explore interrelations at the level of city districts. Variables include asking prices for sales and rentals, household characteristics, data on vacant properties, and types of property ownership. Focusing on key variables, such as the average household size, number of occupied and vacant units, and various ownership categories (private, corporate, public, and religious), the goal was to identify significant correlations that may reveal underlying patterns in the real estate market. The correlation matrix provides a clear

representation of these relationships, highlighting the factors most strongly associated with property prices (Figure 8).

This analysis is crucial for understanding the interconnectedness of different variables in the residential real estate market. The results of the correlation analysis reveal several interesting relationships in the Zagreb residential real estate market. First, there is a strong positive correlation between sale and rental prices (0.91), indicating that districts with higher sale prices typically also have higher rental prices. Second, sale and rental prices show moderate negative correlations with the number of vacant units at the district level (-0.34 for sale prices and -0.42 for rental prices), suggesting that districts with higher property prices tend to have more vacant units. Third, the average household size is negatively correlated with sale (-0.30) and rental prices (-0.32), indicating that households in more expensive districts tend to be smaller. Fourth, public ownership shows a moderate negative correlation with sale (-0.37) and rental prices (-0.46), indicating that

podaci odražavaju realizirane transakcijske cijene, dok se podaci u ovom istraživanju temelje na oglašenim cijenama, koje često uključuju pregovaračke marže i subjektivne procjene prodavatelja.

Iako je razlika između oglašenih i transakcijskih cijena na razini cijelog grada značajna, primarni fokus ovog istraživanja je na relativnim prostornim varijacijama cijena, a ne na apsolutnim tržišnim vrijednostima. Iako oglašene cijene mogu biti precijenjene u apsolutnom smislu, njihova raspodjela po gradskim četvrtima vjerojatno odražava stvarne tržišne dinamike, budući da se hijerarhija cijena obično održava u različitim skupovima podataka. To znači da, iako su oglašene cijene možda nerealno visoke, njihove relativne razlike među četvrtima i dalje pružaju vrijedne uvide u prostorne nejednakosti i klasterizaciju cijena. Buduća istraživanja trebala bi, gdje god je moguće, uključiti transakcijske cijene na razini gradskih četvrti kako bi se provjerilo pojavljuju li se slični prostorni obrasci i u realiziranim prodajama. Osim toga, integracija podataka o stvarno ostvarenim transakcijama mogla bi preciznije definirati prostornu raspodjelu vrijednosti nekretnina, omogućujući dublje razumijevanje varijacija cijena u Zagrebu.

Sva eksploratorna prostorna analiza provedena je korištenjem programskog jezika R, čime je osiguran ujednačen metodološki pristup obradi i analizi podataka. Jedna od glavnih metoda analize ESDA je mjerenje prostorne autokorelacije, koja uključuje dvije ključne statistike: Moranov I i Getis-Ord G_i^* . U kontekstu ovog istraživanja, Moranov I korišten je za utvrđivanje postoji li prostorna autokorelacija u cijenama nekretnina (za prodaju i najam) na razini grada. Rezultati Moranovog I testa za prodajne cijene ukazuju na značajnu pozitivnu prostornu autokorelaciju, s vrijednošću Moranov I = 0,4311, $p = 2,48 \times 10^{-4}$ i standardnom devijacijom (z-score) od 3,4825. Ova pozitivna vrijednost sugerira da su slične prodajne cijene prostorno grupirane, što se značajno razlikuje od nul-hipoteze o odsutnosti prostorne autokorelacije. Za cijene najma nekretnina, rezultati pokazuju još jaču pozitivnu prostornu autokorelaciju, s vrijednošću Moranov I = 0,4464, $p = 6,35 \times 10^{-5}$ i z-score od 3,8321. Ti nalazi upućuju na to da su i visoke i niske cijene najma također prostorno grupirane, odražavajući jasne tržišne klustere. Dok Globalni Moranov I prikazuje opći trend prostorne sličnosti ili razlika u cijenama na razini cijelog grada, Lokalni Moranov I fokusira se na identifikaciju specifičnih gradskih četvrti, njihovih klastera i međusobnih razlika. Detaljna analiza Lokalnog Moranovog I za prodajne cijene pokazuje da su središnje gradske četvrti grupirane u klaster visokih cijena (high-high), dok su periferne gradske četvrti grupirane u klaster niskih cijena (low-low) (slika 2).

Što se tiče cijena najma, nisu uočeni klasteri visokih cijena okruženi niskim cijenama. Slično kao i kod prodajnih cijena, središnje gradske četvrti grupirane su u

klaster visokih cijena, dok su periferne gradske četvrti oblikovale klaster niskih cijena (slika 3).

Analizom prostorne raspodjele prodajnih i najamnih cijena uočava se gotovo identičan obrazac distribucije statistike G_i^* . Rezultati pokazuju da je jasno izražen "hot spot" u gradskoj četvrti Gornji Grad – Medveščak (00159), dok vrijednosti G_i^* opadaju prema perifernim gradskim četvrtima. Ta statistika dodatno naglašava centralnost obrasca G_i^* (slike 4 i 5).

Analiza cijena nekretnina u gradskim četvrtima Zagreba pokazuje značajne razlike u odnosu na prosječne vrijednosti na razini cijelog grada. Prosječna tražena cijena prodaje iznosi približno 260 766,40 €, dok prosječna cijena najma iznosi oko 918,06 €. Analiza prodajnih cijena po gradskim četvrtima pokazuje da sedam četvrti ima prosječne prodajne cijene iznad gradskog prosjeka, dok ih 10 bilježi ispodprosječne vrijednosti. To ukazuje na to da većina gradskih četvrti ima prodajne cijene niže od prosjeka grada (slika 6).

S druge strane, analiza cijena najma pokazuje da također sedam gradskih četvrti ima prosječne cijene najma iznad gradskog prosjeka, dok ih 10 bilježi ispodprosječne vrijednosti (slika 7). Ova analiza otkriva obrasce na zagrebačkom tržištu nekretnina u oba segmenta, prodaje i najma. Prostorno gledano, primjećuje se sličan trend u raspodjeli cijena prodaje i najma, pri čemu središnje gradske četvrti imaju više prosječne tražene cijene, dok periferne četvrti bilježe niže vrijednosti.

Analiza odnosa između varijabli u skupu podataka provodi se izradom korelacijske matrice, kako bi se istražile međusobne povezanosti na razini gradskih četvrti. U analizu su uključene varijable koje obuhvaćaju tražene cijene prodaje i najma, karakteristike kućanstava, podatke o praznim stambenim jedinicama te tipove vlasništva nekretnina. Fokusirajući se na ključne varijable, poput prosječne veličine kućanstva, broja zauzetih i praznih stambenih jedinica te različitih kategorija vlasništva (privatno, korporativno, javno i vjersko), cilj je bio identificirati značajne korelacije koje mogu otkriti temeljne obrasce na tržištu nekretnina. Korelacijska matrica pruža jasan prikaz ovih odnosa, ističući faktore koji su najjače povezani s cijenama nekretnina (slika 8).

Ova analiza ključna je za razumijevanje međusobne povezanosti različitih varijabli na tržištu stambenih nekretnina. Rezultati korelacijske analize otkrivaju nekoliko zanimljivih odnosa na zagrebačkom tržištu stambenih nekretnina. Prvo, postoji snažna pozitivna korelacija između prodajnih i najamnih cijena (0,91), što ukazuje na to da gradske četvrti s višim prodajnim cijenama obično imaju i više cijene najma. Drugo, prodajne i najamne cijene pokazuju umjerene negativne korelacije s brojem praznih stambenih jedinica na razini četvrti (-0,34 za prodajne cijene i

districts with a higher share of public ownership have lower property prices. Fifth, there is a significant positive correlation between vacant units and private ownership (0.88), suggesting that a substantial portion of vacant units is privately owned. These insights highlight key dynamics in the Zagreb residential real estate market, particularly regarding how ownership and occupancy patterns influence property prices.

5. Conclusions

The paper provides a comprehensive analysis of spatial patterns in the residential real estate market of the City of Zagreb at the level of city districts, employing spatial analysis methods such as Moran's I, Getis-Ord G_i^* , and correlation analysis. The findings reveal significant positive spatial autocorrelation of real estate prices for both sales and rent, confirming that prices are not randomly distributed but form distinct spatial clusters. High-price "hot spots" are predominantly located in central city districts, reflecting their historic and economic importance, while lower-price "cold spots" are more common in peripheral districts. The analysis also highlights the role of the ownership structure in shaping real estate prices, with districts having a higher proportion of public ownership exhibiting lower asking prices, suggesting a potential role of public ownership in promoting housing affordability. Districts with a higher concentration of private ownership, particularly where vacant units are prevalent, appear more susceptible to investment-driven price increases.

The use of the R programming language and its specialized packages for spatial analysis and data processing is a key strength of the study, enabling the integration and management of complex geographic datasets. This approach allowed for the identification of spatial variables and the exploration of correlations and patterns that would be more difficult to detect using traditional GIS tools. The methodological framework established in this study provides an example of how geographic data science can be applied to urban real estate markets, laying the groundwork for future research.

The study has several limitations that should be acknowledged to provide a balanced interpretation of the findings. A significant challenge was the extensive data cleaning process, during which many data points had to be excluded due to incompleteness or inconsistencies. Missing or incomplete data for specific districts may have reduced the accuracy of spatial correlations and patterns. Additionally, the reliance on advertised

real estate data from online platforms introduces potential biases, as advertised prices may not always reflect final transaction values. The difference between ask prices and actual sale prices is unknown between city districts, meaning that this study primarily captures relative price differences rather than absolute market values. Future research should seek to deeper integrate transaction price data, where available, to refine the accuracy of spatial market assessments. The only official transaction data available for comparison is at the city level, which indicates a 38.68% difference between advertised and final sale prices. However, due to the lack of transaction data by district, it is not possible to verify whether spatial trends in advertised prices align with those of actual sales. Future research should seek to deepen integration with transaction price datasets, where available, to refine the accuracy of spatial market assessments. The temporal scope of the dataset, spanning from 15 May 2023, to 31 July 2024, does not capture long-term trends, which are essential for understanding the broader market dynamics.

Although the literature includes studies closely related to the applied methods, particularly those focused on user perspectives, tax policies, and investments in real estate, the goal of this paper was not to delve into these aspects. Instead, the study aimed to present a framework for data collection through programming and to provide an understanding from a spatial perspective. Despite its limitations, the study demonstrates the potential of spatial analysis methods to provide valuable insights into urban market dynamics, contributing significantly to the understanding of the Zagreb residential real estate market.

Data ownership: The collected and processed data are owned by the company Index promocija d.o.o., which owns Index Oglasi, the website from which the data were collected. The author of this paper does not own the data. The author also received electronic permission to use the data solely and exclusively for the purpose of writing this scientific paper and conducting research. The author is not permitted to share the code for data collection and analysis with third parties, nor to use the processed data for commercial purposes. All data were generated at the city district level, ensuring that individual data cannot be retrieved, thus complying with GDPR. Data on advertisers were not collected and are not the subject of this research.

-0,42 za cijene najma), što sugerira da četvrti s višim cijenama nekretnina imaju veći broj praznih stambenih jedinica. Treće, prosječna veličina kućanstva pokazuje negativnu korelaciju s prodajnim (-0,30) i najmnim cijenama (-0,32), što ukazuje na to da su kućanstva u skupljim četvrtima obično manja. Četvrto, javno vlasništvo pokazuje umjerenu negativnu korelaciju s prodajnim (-0,37) i najmnim cijenama (-0,46), što sugerira da gradske četvrti s većim udjelom javnog vlasništva imaju niže cijene nekretnina. Peto, postoji značajna pozitivna korelacija između praznih stambenih jedinica i privatnog vlasništva (0,88), što upućuje na to da je značajan dio praznih stanova u privatnom vlasništvu. Ovi uvidi ističu ključne dinamike zagrebačkog tržišta stambenih nekretnina, osobito u pogledu utjecaja strukture vlasništva i obrasca zauzetosti stanova na formiranje tržišnih cijena.

5. Zaključak

Ovaj rad pruža sveobuhvatnu analizu prostornog rasporeda tržišta stambenih nekretnina u Gradu Zagrebu na razini gradskih četvrti, primjenjujući metode prostorne analize poput Moranovog I indeksa, statistike Getis-Ord G_i^* i korelacijske analize. Rezultati pokazuju značajnu pozitivnu prostornu autokorelaciju cijena nekretnina, kako za prodaju, tako i za najam, potvrđujući da cijene nisu nasumično raspoređene, već formiraju jasne prostorne klastere. "Hot spotovi" s visokim cijenama uglavnom su koncentrirani u središnjim gradskim četvrtima, što odražava njihovu povijesnu i ekonomsku važnost, dok su "cold spotovi" s nižim cijenama češći u perifernim četvrtima. Analiza također ističe utjecaj strukture vlasništva na formiranje cijena nekretnina. Četvrti s većim udjelom javnog vlasništva pokazuju niže oglašene cijene, što upućuje na moguću ulogu javnog vlasništva u očuvanju stambene pristupačnosti. S druge strane, četvrti s većom koncentracijom privatnog vlasništva, osobito ondje gdje postoji veći broj praznih stambenih jedinica, čine se podložnijima investicijski vođenim rastom cijena.

Korištenje programskog jezika R i njegovih specijaliziranih paketa za prostornu analizu i obradu podataka predstavlja jednu od ključnih prednosti ovog istraživanja, omogućujući integraciju i upravljanje složenim geografskim skupovima podataka. Ovakav pristup omogućio je identifikaciju prostornih varijabli te istraživanje korelacija i obrazaca koji bi bili teže uočljivi korištenjem tradicionalnih GIS alata. Metodološki okvir razvijen u ovom istraživanju pruža primjer primjene geografske podatkovne znanosti na urbana tržišta nekretnina, postavljajući temelje za buduća istraživanja u ovom području.

Ovo istraživanje ima nekoliko ograničenja koja je važno uzeti u obzir kako bi se osigurala uravnotežena interpretacija rezultata. Jedan od najznačajnijih izazova bio je opsežan proces čišćenja podataka, tijekom kojeg su mnogi zapisi

morali biti isključeni zbog nepotpunosti ili nedosljednosti. Nedostatak ili nekompletnost podataka za određene gradske četvrti mogla je smanjiti preciznost prostornih korelacija i obrazaca, što predstavlja potencijalno ograničenje analize. Osim toga, oslanjanje na oglašene cijene nekretnina s online platformi uvodi mogućnost pristranosti, budući da oglašene cijene ne odražavaju uvijek konačne transakcijske vrijednosti. Razlika između traženih cijena i realiziranih prodajnih cijena nije poznata na razini gradskih četvrti, što znači da ovo istraživanje primarno analizira relativne razlike u cijenama, a ne apsolutne tržišne vrijednosti. Jedini službeni podaci o realiziranim transakcijama dostupni su na razini cijelog grada, pri čemu izvješće o tržištu nekretnina za 2023. godinu pokazuje da postoji razlika od 38,68% između oglašanih i realiziranih prodajnih cijena. Međutim, zbog nedostatka transakcijskih podataka na razini četvrti, nije moguće provjeriti u kojoj mjeri prostorni obrasci oglašanih cijena odgovaraju stvarnim prodajama. Buduća istraživanja trebala bi nastojati dublje integrirati transakcijske podatke, gdje god su dostupni, kako bi se poboljšala točnost prostornih analiza tržišta nekretnina. Dodatno, vremenski raspon skupa podataka, koji obuhvaća razdoblje od 15. svibnja 2023. do 31. srpnja 2024., ne omogućuje sagledavanje dugoročnih tržišnih trendova, koji su ključni za razumijevanje šire dinamike tržišta stambenih nekretnina.

Iako šira literatura sadrži studije usko povezane s primijenjenim metodama, posebice one koje se bave perspektivom korisnika, poreznim politikama i investicijama u nekretnine, cilj ovog rada nije bio istraživati te aspekte. Umjesto toga, istraživanje je bilo usmjereno na razvoj metodološkog okvira za prikupljanje podataka putem programiranja te na pružanje uvida iz prostorne perspektive. Unatoč svojim ograničenjima, studija pokazuje potencijal metoda prostorne analize u dobivanju vrijednih uvida u dinamiku urbanog tržišta nekretnina, dajući značajan doprinos razumijevanju zagrebačkog tržišta stambenih nekretnina.

Vlasništvo podataka: Prikupljeni i obrađeni podaci su vlasništvo trgovačkog društva Index promocija d.o.o., koji su vlasnik Index Oglasa, internetske stranice s koje su prikupljeni podaci. Autor ovog rada nije vlasnik podataka. Autor rada također je elektroničkim putem dobio odobrenje za korištenje podataka isključivo i jedino u svrhu pisanja znanstvenog rada i istraživanja. Autor nema pravo dijeliti programski kod za prikupljanje i analizu podataka i podatke trećim osobama, kao ni koristiti obrađene podatke u komercijalne svrhe. Svi podaci su generirani na razini gradskih četvrti iz kojih se ne mogu dohvatiti individualni podaci čime se poštuje GDPR. Podaci o oglašivačima nisu prikupljeni, niti su predmet ovog istraživanja.

References / Literatura

- Anselin L (1995) Local Indicators of Spatial Association - LISA. *Geographical Analysis* 27 (2): 93–115.
<https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>.
- Boeing G, Waddell P (2017) New Insights into Rental Housing Markets across the United States: Web Scraping and Analyzing Craigslist Rental Listings. *Journal of Planning Education and Research*, 37(4), 457-476.
<https://doi.org/10.1177/0739456X16664789>
- Brenning A, Henn S (2023) Web scraping: a promising tool for geographic data acquisition. 10.48550/ arXiv. 2305.19893v1 [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.19893>.
- Cellmer R, Cichulska A, Belej M (2020) Spatial Analysis of Housing Prices and Market Activity with the Geographically Weighted Regression. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. <https://doi.org/10.3390/ijgi9060380>.
- Chen S, Dachang Z, Huixia Z (2020) GIS-Based Spatial Autocorrelation Analysis of Housing Prices Oriented towards a View of Spatiotemporal Homogeneity and Nonstationarity: A Case Study of Guangzhou, China. *Complexity* 2020 (April):1–16.
<https://doi.org/10.1155/2020/1079024>
- Chica-Olmo J, Cano-Guervos R, Chica-Rivas M (2019) Estimation of Housing Price Variations Using Spatio-Temporal Data. *Sustainability* 11 (6): 1551 <https://doi.org/10.3390/su11061551>
- Ensari E, Kobaş B (2018) Web Scraping and Mapping Urban Data to Support Urban Design Decisions. *A/Z : ITU Journal of Faculty of Architecture* 15 (1): 5–21 <https://doi.org/10.5505/itujfa.2018.40360>
- Gallego-Valadés A, Ródenas-Rigla F, Garcés-Ferrer J (2021) Spatial Distribution of Public Housing and Urban Socio-Spatial Inequalities: An Exploratory Analysis of the Valencia Case. *Sustainability* 13 (20): 11381 <https://doi.org/10.3390/su132011381>
- Getis A (2008) A History of the Concept of Spatial Autocorrelation: A Geographer's Perspective. *Geographical Analysis* <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.2008.00727.x>
- Grad Zagreb (2023) Izvješće o tržištu nekretnina za 2023. godinu za područje Grada Zagreba. Služba za procjenu vrijednosti nekretnina, Gradski ured za upravljanje imovinom i stanovanje
- Gutiérrez T, Fonseca F D R, Fernandes V D O, Pedrassoli J C (2021) Exploratory Spatial Analysis Of Housing Prices Obtained From Web Scraping Technique. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLIII-B4-2021* (June):135–40 <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2021-135-2021>
- Li S, Xinyue Y, Jay L, Junfang G, Chenglin Q (2016) Spatiotemporal Analysis of Housing Prices in China: A Big Data Perspective. *Applied Spatial Analysis and Policy* 10 (3): 421–33. <https://doi.org/10.1007/s12061-016-9185-3>
- Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine (2023) Pregled tržišta nekretnina Republike Hrvatske 2023. Ekonomski institut, Zagreb. ISSN 2706-476X
- Moran P A (1948) The Interpretation of Statistical Maps. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 10 (2): 243–251 <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1948.tb00012.x>
- Pochwatka P (2020) Analysis of the Real Estate Market in the City of Lublin (Poland) from the Perspective of Spatial Development. Edited by K Jóźwiakowski and T Ciesielczuk. *E3S Web of Conferences* 171:02007 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017102007>
- Pochwatka P, Litwin U, Teterycz T, Bitner A (2017) Cartographic Visualization in the Real Estate Market Investigation with the Use of GIS Tools. *Baltic Geodetic Congress (BGC Geomatics)*. <https://doi.org/10.1109/BGC.Geomatics.2017.53>
- Singleton A, Arribas-Bel D (2021) Geographic Data Science. *Geographical Analysis* 53 (1): 61–75 <https://doi.org/10.1111/gean.12194>
- Souza T G D, Fonseca F D R, Fernandes V D O, Pedrassoli J C (2021) Exploratory Spatial Analysis of Housing Prices Obtained from Web Scraping Technique. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLIII-B4-2021*: 135–140 <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2021-135-2021>
- Üzümçü A C, Eligüzel N (2023) Predictive Analysis Using Web Scraping for the Real Estate Market in Gaziantep. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 12 (1): 17–24 <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.1155725>
- Wang X, Li K, Wu J (2020) House price index based on online listing information: The case of China. *Journal of Housing Economics*, 50, Article 101715 <https://doi.org/10.1016/j.jhe.2020.101715>