

MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Sistem informațional geografic -
instrument suport al dezvoltării locale
și regionale

Conducător de doctorat

PROF. DR.ING. PETRE IULIU DRAGOMIR

Cotutelă

PROF. DR.ING. ANA-CORNELIA BADEA

Studentă doctorand

GAVRIȘ (DROJ) GABRIELA

Cuprins

Abstract	5
1 Introducere.....	7
1.1 Definirea problemei	7
1.2 Ipotezele de cercetare și obiectivele tezei	7
1.3 Metodologia generală de cercetare	8
1.4 Structura lucrării	8
2 Stadiul actual al cunoașterii.....	10
2.1 Sisteme informaționale geografice în urbanism și amenajarea teritoriului..	10
2.1.1 Cadrul legislativ și tehnic: Directiva INSPIRE și infrastructura de date spațiale..	10
2.1.2 Cadrul normativ și administrativ în România.....	11
2.1.3 Sistem Informațional Urban	11
2.2 Sisteme informaționale geografice în domeniul traficului	11
2.3 Modelarea realității prin sisteme GIS.....	11
2.4 Evoluția conceptelor de GIS: de la structuri de date relaționale la paradigmele Digital Twin	12
2.5 Concluzii.....	12
3 Arhitectura fluxului de date și tehnologii de achiziție pentru implementarea unui sistem informațional destinat suportului decizional în domeniul dezvoltării locale și regionale	13
3.1 Paradigma Big Data și inteligența artificială în implementarea sistemelor informaționale geografice	13
3.2 Cadastru.....	14
3.2.1 Sistemul informațional rutier.....	14
3.3 Utilizarea datelor din fotogrametrie în cadrul planificării urbane.....	14
3.3.1 Caracterizarea datelor de teledetecție după rezoluție și senzori.....	15
3.3.2 Indici spectrali utilizați în analiza urbană și de mediu	15
3.4 Detecție sociala – Crowdsourcing	15
3.4.1 Monitorizarea mobilității.....	15
3.5 Prelucrarea avansată și extracția informației	16
3.6 Concluzii.....	16
4 Metodologii avansate de analiză geospațială și modelare computațională	17
4.1 Paradigme computaționale în extracția cunoștințelor din date spațiale	17

4.2	Metodologii de analiză spațială și modelare computațională a datelor	18
4.2.1	Clasificarea imaginilor.....	18
4.2.2	Relații spațiale	18
4.2.2.1	Relațiile topologice	19
4.2.2.2	Relații metrice	19
4.2.2.3	Relații direcționale	19
4.2.3	Metodologii de geoprocesare pentru date vectoriale.....	19
4.2.4	Analiza de formă și agregare spațială	20
4.2.5	Geostatistică.....	21
4.2.6	Modelarea incertitudinii și a impreciziei prin logica fuzzy	21
4.3	Modelarea infrastructurii rutiere în GIS - T.....	21
4.3.1	Algoritmi de rutare	22
4.3.2	Determinarea drumului de cost minim	22
4.3.3	Determinarea fluxului maxim	22
4.3.4	Influența transportului public asupra traficului	22
4.4	Arhitectura GIS ca sistem de suport a deciziei în dezvoltarea regională	23
4.5	Concluzii.....	24
5	Arhitectura unui Sistem Informațional Urban extins pentru fundamentarea dezvoltării teritoriale în Zona Metropolitană Oradea.....	25
5.1	Obiectivele studiului de caz și cadrul de conformitate normativă	25
5.1.1	Identificarea limitelor structurii minimale și propunerea schemei conceptuale extinse	25
5.1.2	Metodologia de achiziție, corelare și integrare a datelor	29
5.2	Studii de fundamentare analitice privind dinamica economică și urbanistică	29
5.2.1	Integrarea indicatorilor financiari în structurile geospațiale: Modelarea vitalității economice și a polarizării teritoriale prin tehnici de Spatial Data Mining	30
5.2.2	Analiza relațiilor periurbane și a gradului de urbanizare prin tehnici de agregare spațială.....	31
5.2.3	Monitorizarea tendințelor de dezvoltare și a expansiunii urbane prin metode de detecție a schimbărilor pe serii temporale satelitare	33
5.3	Studii de fundamentare privind organizarea circulației și a transporturilor (GIS-T)	34
5.3.1	Analiza infrastructurii rutiere utilizând GIS.....	34
5.3.2	Analiza mobilității și a eficienței transportului public.....	34

5.3.3	Analiza aplicabilității tehnologiei GIS în urmărirea traficului și a congestiei pe perioada derulării lucrărilor de construcție a infrastructurii rutiere.....	37
5.3.4	Modelarea predictivă a fluxurilor de trafic și microsimularea dinamică a rețelei rutiere: Studiu de caz comuna Sântandrei	39
5.4	Studii de fundamentare privind protecția mediului și riscurile antropice.....	41
5.4.1	Analiza multicriterială a accesibilității spațiilor verzi: Studiu comparativ între modelarea izotropă și analiza de rețea	41
5.4.2	Utilizarea teledetecției satelitare în monitorizarea riscurilor antropice și a calității aerului: Studiu de caz - Impactul pandemiei COVID-19 în Municipiul Oradea.....	42
5.4.3	Identificarea zonelor cu vulnerabilitate ecologică prin indici spectrali (NDVI, NDWI). 45	
5.4.4	Analiza insulei de căldură urbane la nivel de cartier	47
5.5	Studii de fundamentare predictive și suport decizional.....	48
5.5.1	Aplicarea analizei spațiale multicriteriale (SMCDA) pentru identificarea zonelor optime de investiție	48
5.5.2	Integrarea sistemelor informaționale geografice și a modelelor de evaluare automată în politicile fiscale locale	52
5.6	Sinteza rezultatelor studiului de caz și validarea sistemului informațional ca instrument de suport decizional	54
6	Concluzii.....	55
6.1	Contribuții originale ale autorului	55
6.2	Aplicabilitatea practică și recomandări pentru administrație.....	56
6.3	Direcții de continuare a cercetărilor	57
	Bibliografie.....	58

Abstract

Prezenta teză de doctorat, intitulată **„Sistem informațional geografic – instrument de suport al dezvoltării locale și regionale”**, investighează și fundamentează tranziția necesară a managementului teritorial de la metodele de evidență statice către un ecosistem digital dinamic de tip sistem spațial de suport al deciziei (SDSS). În contextul urbanizării accelerate și al noilor imperative legislative naționale (Ordinul nr. 904/2023), cercetarea propune o abordare inovatoare integrând rigoarea măsurătorilor de precizie cu algoritmi avansați de inteligență artificială, geostatistică și modelare computațională.

Problematika centrală adresată constă în fragmentarea bazelor de date administrative și asimetria informațională care grevează procesele de planificare urbană din România. Lucrarea demonstrează că structura minimală a datelor spațiale impusă de cadrul normativ actual este insuficientă pentru un management proactiv, necesitând evoluția către o arhitectură ontologică extinsă, capabilă să asigure interoperabilitatea semantică și structurală conform standardului internațional ISO 19152 (LADM).

Metodologia de cercetare este articulată sub forma piramidală , parcurgând etapele de la achiziția multimodală a datelor (teledetecție satelitară Sentinel-2, senzori IoT, Big Data și VGI) până la generarea cunoașterii strategice. Elementul central de noutate metodologică este reprezentat de schema conceptuală care extinde structura minimală propusă de legislației și integrează relații de cardinalitate complexă și clase de obiecte inteligente, oferind fundamentul tehnic pentru realizarea Digital Twin al regiunii.

Validarea experimentală, realizată prin intermediul studiului de caz asupra Zonei Metropolitane Oradea, a fost structurată având ca reper studiile de fundamentare analitice și prospective necesare actualizării planurilor urbanistice:

1. Dinamica economiei și vitalitatea teritorială: Utilizarea tehnicilor de spațial data mining și a funcției Ripley's K pentru modelarea vitalității economice la nivel de unități administrative.
2. Organizarea transporturilor și mobilitatea urbană
 - Analiza mobilității și a eficienței transportului public
 - Analiza aplicabilității tehnologiei GIS în urmărirea traficului și a congestiei pe perioada derulării lucrărilor de construcție a infrastructurii rutiere
 - Implementarea microsimulării dinamice în platforma SUMO pentru prognoza traficului la orizont 2030 și 2040.
3. Monitorizarea ecologică și microclimatul urban:
 - Analiza multicriterială a accesibilității spațiilor verzi: Studiu comparativ între modelarea izotropă și analiza de rețea

- Utilizarea teledetecției satelitare în monitorizarea riscurilor antropice și a calității aerului: Studiu de caz - Impactul pandemiei COVID-19 în Municipiul Oradea
- Dezvoltarea unui protocol pentru decuplarea zgomotului climatic de urbanizarea reală și modelarea Insulei de Căldură Urbane (UHI) pe baza indicilor NDVI NDWI și NDBI.

4. Politici urbane:

- analizei spațiale multicriteriale (SMCDA) pentru fundamentarea strategiei investiționale
- Integrarea sistemelor informaționale geografice și a modelelor de evaluare automată în politicile fiscale locale, în vederea asigurării echității fiscale și predictibilitatea veniturilor bugetare.

Rezultatele cercetării confirmă ipoteza conform căreia fuziunea datelor din surse multiple elimină subiectivismul în planificarea teritorială și optimizează alocarea resurselor publice. Lucrarea se finalizează cu un set de recomandări strategice pentru administrația publică, propunând instrumente diverse bazate pe GIS pentru o guvernare bazată pe dovezi.

În concluzie, teza demonstrează că Sistemul Informațional Geografic reprezintă coloana vertebrală a managementului regional inteligent, transformând dintr-o metodă de vizualizare într-un organism digital predictiv, esențial pentru asigurarea echilibrului între progresul economic, echitatea socială și protecția mediului în comunitățile viitorului.

Cuvinte cheie:

Sisteme Informaționale Geografice (GIS), Sistem spațial de suport al deciziilor (SDSS), LADM (ISO 19152), Digital Twin, GeoAI, Microsimulare de Trafic (SUMO), Evaluare Automată (AVM), .

1 Introducere

Contextul global contemporan este marcat de o succesiune de dinamici accelerate care impun o reevaluare profundă a strategiilor de gestionare a teritoriului. Schimbările climatice, presiunile socio-economice, urbanizarea necontrolată și fluctuațiile demografice – manifestate atât prin creșteri explozive, cât și prin declin sever în anumite regiuni – pot genera efecte catastrofale asupra dezvoltării durabile. Urbanizarea excesivă, în special, este adesea asociată cu un impact negativ major asupra mediului, rezultat din diminuarea drastică a zonelor verzi, conversia terenurilor agricole în areale construite și fragmentarea ecosistemelor prin extinderea infrastructurii și a spațiilor rezidențiale. (Kwartnik-Pruc & Droj , 2023)

Vulnerabilitatea sistemelor urbane a fost expusă critic de pandemia de COVID-19, care a demonstrat că orașele din întreaga lume erau insuficient pregătite pentru amploarea impactului economic și social al unui astfel de eveniment sistemic. Această criză a avertizat asupra necesității ca zonele urbane să devină reziliente și pregătite pentru un viitor dinamic și imprevizibil. (World Bank Group, 2021)

În acest context este necesară, o strategie cuprinzătoare și colaborarea interdisciplinară pentru a aborda în mod eficient și obiectiv provocările planificării urbane, prin integrarea tehnologiilor digitale.

1.1 Definirea problemei

Deși Sistemele Informaționale Geografice (GIS) au demonstrat un potențial major în eficientizarea proceselor administrative, cercetarea identifică trei deficiențe fundamentale care blochează utilizarea lor strategică în contextul național al României:

- Fragmentarea și calitatea datelor,
- Inerția metodologică,
- Absența modelelor de analiză avansată,

1.2 Ipotezele de cercetare și obiectivele tezei

Obiectivul general al tezei constă în dezvoltarea și validarea unui model de sistem informațional geografic ca instrument suport pentru deciziile de dezvoltare locală și regională, prin corelarea rigorii geodezice cu nevoile analitice ale managementului public modern.

Obiectivul 1: Proiectarea unei arhitecturi de date geospațiale extinse conform standardelor LADM (ISO 19152).

Obiectivul 2: Implementarea protocoalelor de achiziție multimodală și procesare automată prin algoritmi de deep learning

Obiectivul 3: Modelarea vitalității economice și a dinamicii fiscale prin tehnici de Spatial Data Mining.

Obiectivul 4: Proiectarea unui cadru de evaluare automată (AVM/CAMA) pentru eficientizarea politicilor fiscale locale.

Obiectivul 5: Modelarea analitică a infrastructurii rutiere și evaluarea eficienței accesibilității multimodale

Obiectivul 6: Monitorizarea dinamică a rezilienței rețelei sub factori de stres și prognoza traficului prin microsimulare.

Obiectivul 7: Evaluarea vulnerabilității ecologice prin sinergie spectrală și monitorizarea microclimatului urban.

Obiectivul 8: Operaționalizarea cadrului de analiză multicriterială spațială ca instrument de suport decizional strategic.

1.3 Metodologia generală de cercetare

Cercetarea adoptă o abordare mixtă (mixed-methods), îmbinând rigoarea cantitativă a măsurătorilor geodezice și a modelării matematice cu analiza calitativă a politicilor de dezvoltare. Fluxul metodologic cuprinde:

- **Etapa de documentare:** Analiza literaturii de specialitate și a cadrului normativ european (Directiva INSPIRE) și național (Ordinul nr. 904/2023).
- **Etapa experimentală:** Colectarea datelor din surse multiple: ANCPI, Copernicus/Sentinel, SRTM, MERRA, OpenStreetMap, Google Maps, EMIS, ANAF. Prelucrarea a fost utilizând ecosistemul QGIS (Quantum GIS) completată de platformele ArcGIS Online (versiunea map viewer classic), SUMO (*Simulation of Urban MObility*) pentru microsimularea dinamică a fluxurilor rutiere și Giovanni (NASA) pentru extragerea indicatorilor de reanaliză atmosferică.
- **Etapa de modelare:** Aplicarea algoritmilor de analiză spațială, geostatistică, logică fuzzy, inteligență artificială și analiză spațială multicriterială
- **Etapa de validare:** Testarea modelelor prin studii de caz concrete în Zona Metropolitană Oradea, evaluate prin prisma eficienței administrative și a impactului rezultatelor asupra procesului decizional.

1.4 Structura lucrării

În vederea studierii metodelor de aplicabilitate a sistemelor GIS în dezvoltarea locală, teza este organizată în șase capitole, concepute pentru a asigura o tranziție logică de la fundamentele teoretice la contribuțiile originale .

Primul capitol reprezintă introducerea lucrării. Astfel sunt prezentate necesitatea și oportunitatea utilizării sistemelor informaționale geografice ca instrument al dezvoltării locale și regionale. De asemenea, sunt evidențiate obiectivele și metodologia cercetării.

Al doilea capitol realizează o sinteză a stadiului actual al cunoașterii, explorând evoluția conceptelor GIS, cadrul legislativ INSPIRE și paradigmele moderne de tip Smart City și Digital Twin.

Al treilea capitol detaliază arhitectura fluxului de date și tehnologiile de achiziție, investigând tranziția de la metodele convenționale de ridicare topografică la paradigmele moderne de captare a realității prin teledetecție, detecția socială și a senzorilor IoT.

Capitolul patru descrie instrumentarul metodologic și algoritmic utilizat, algoritmi de geoprocesare, teoria relațiilor topologice (9IM), geostatistică și modelele de suport decizional multicriterial.

Capitolul al cincilea reprezintă nucleul experimental, unde sunt prezentate analizele de fundamentare analitice și prospective pentru Zona Metropolitană Oradea, validate prin pilonii economic, investițional, mobilitate și mediu.

Capitolul al șaselea sintetizează concluziile generale, evidențiază contribuțiile originale ale autorului și propune direcții viitoare pentru implementarea GIS-ului ca instrument autonom de suport decizional.

2 Stadiul actual al cunoașterii

Capitolul al doilea al tezei realizează o incursiune în stadiul actual al cunoașterii, explorând evoluția Sistemelor Informaționale Geografice de la funcția primară de arhivare a datelor către cea de motor analitic al dezvoltării urbane și regionale. Într-un context marcat de o morfogeneză urbană adesea spontană și haotică, cercetarea fundamentează necesitatea tranziției către o planificare bazată pe dovezi spațiale riguroase și pe tehnologii digitale avansate.

2.1 Sisteme informaționale geografice în urbanism și amenajarea teritoriului

Urbanizarea contemporană reprezintă un răspuns direct la schimbările de paradigmă economică, însă gestionarea acesteia reclamă o abordare multidisciplinară. Sistemele informaționale geografice revoluționează acest domeniu prin capacitatea de a armoniza fluxuri eterogene (vector, raster, date statistice), transformând procesele decizionale intuitive în politici fundamentate pe date. (Worboys & Duckham, 2004).

În acest context, administrațiile publice funcționează ca piloni centrali în managementul teritoriului, având responsabilitatea furnizării serviciilor publice și a optimizării calității vieții cetățenilor. Activitățile administrative sunt circumscrise unui cadru legislativ complex, ce reglementează taxarea, planificarea urbanistică, execuția construcțiilor, gestionarea infrastructurii rutiere și mai nou structura datelor geospațiale.

2.1.1 Cadrul legislativ și tehnic: Directiva INSPIRE și infrastructura de date spațiale

Eficiența unui sistem informațional geografic ca instrument de suport decizional nu depinde doar de volumul datelor colectate, ci, într-o măsură determinantă de interoperabilitatea acestora, de capacitatea acestor date de a fi partajate, integrate și interpretate unitar de către diverși actori instituționali. Această necesitate a condus la emergența conceptului de infrastructură de date spațiale (Spatial Data Infrastructure abreviat SDI), definită ca un ansamblu de tehnologii, politici, standarde și resurse umane necesare pentru a facilita achiziția, procesarea, stocarea și distribuția datelor geospațiale.

În Uniunea Europeană, cadrul normativ suprem pentru gestionarea informației geografice este stabilit de Directiva 2007/2/CE (INSPIRE - Infrastructure for Spatial Information in Europe).

Transpunerea Directivei INSPIRE în legislația națională a României s-a realizat prin Ordonanța Guvernului nr. 4/2010 (republicată ca Legea 190/2010) privind instituirea Infrastructurii Naționale pentru Informații Spațiale (INIS).

2.1.2 Cadrul normativ și administrativ în România

Implementarea directivei INSPIRE a încurajat crearea unei infrastructuri comune pentru informații spațiale în Europa și în țările europene, inclusiv în România. Coordonatorul implementării directivei Inspire în România este Agenția Națională pentru Cadastru și Publicitatea Imobiliară (ANCPI).

În administrația publică din România, utilizarea GIS a devenit esențială pentru gestionarea activelor și emiterea actelor de autoritate. Totuși, un punct de cotitură legislativ l-a reprezentat Ordinul nr. 904/2023, care impune obligativitatea utilizării formatelor GIS în elaborarea documentațiilor de urbanism (PUG, PUZ, PUD).

2.1.3 Sistem Informațional Urban

Evoluția planificării urbane contemporane, marcată de dinamism și complexitate, reclamă o tranziție necesară de la simpla cartografie digitală către sisteme integrate de inteligență spațială. Realizarea unui management teritorial controlat și responsabil presupune colectarea și armonizarea unui volum masiv de date (Big Data) provenite din domenii eterogene: demografie, economie, infrastructură și mediu. Această provocare a fundamentat emergența Sistemului Informațional Urban (SIU), definit ca un ecosistem tehnologic bazat pe GIS, optimizat pentru automatizarea proceselor de analiză, modelare și diseminare a informațiilor urbane (Geymen, et al., 2008).

Prin convergența dintre GIS, Big Data și GeoAI, Sistemele Informaționale Urbane evoluează către platforme capabile să susțină simulări la scară oraș și procese decizionale adaptive. Această transformare poziționează UIS ca element central al orașelor inteligente, contribuind la crearea unor spații urbane reziliente, sustenabile și centrate pe cetățean. (Mai, et al., 2025)

2.2 Sisteme informaționale geografice în domeniul traficului

Aplicabilitatea sistemelor informaționale geografice în transporturi decurge din natura distribuită a datelor de transport și trafic, dar și din necesitatea diferitelor tipuri de analiză. (Droj & Droj , 2019) (Droj , et al., 2022) Însă planificarea, proiectarea, implementarea și managementul sistemelor de trafic asistate de GIS se pot realiza doar prin organizarea și integrarea tuturor informațiilor despre infrastructura de transport și de trafic.

Utilizarea GIS-T permite urbanistilor să efectueze studii de fezabilitate avansate, validând modul în care o nouă structură propusă se va integra în ecosistemul existent, respectând principiile unui „oraș inteligent” (Smart City).

2.3 Modelarea realității prin sisteme GIS

Planificarea urbană modernă necesită o modelare a realității pe două direcții: modelarea obiectuală (a elementelor fizice) și modelarea comportamentală (engleză

behavioral modelling). (Vanegas, et al., 2009). Prin intermediul sistemelor GIS, putem modela multiple aspecte ale realității, pentru a înțelege mai bine interacțiunile dintre diferite caracteristici ale lumii noastre fizice și sociale.

2.4 Evoluția conceptelor de GIS: de la structuri de date relaționale la paradigmele Digital Twin

Expansiunea tehnologiei informației și comunicațiilor (ITC), coroborată cu creșterea exponențială a volumului de date geospațiale gestionate și accesibilitatea infrastructurilor de mare viteză, a facilitat o schimbare de paradigmă în cadrul sistemelor GIS. Acestea au evoluat de la simple baze de date către platforme integrate care armonizează informația geospațială cu date de teledetecție, fotogrammetrie aeriană, sisteme de poziționare GNSS și modele de simulare virtuală. Rezultatul este o reprezentare tridimensională detaliată, caracterizată prin abordări multi-rezoluție, multi-scară și dinamism spațio-temporal.

Vârful acestei evoluții este reprezentat de conceptul de Digital Twin (Geamănul Digital), care spre deosebire de modelele 3D convenționale, constituie o replică virtuală dinamică a unui activ fizic sau a unui întreg sistem urban, alimentată continuu prin fluxuri de date provenite de la senzori IoT, telemetrie în timp real și teledetecție (Grieves & Vickers, 2017) . Convergența GIS cu BIM (Building Information Modeling) joacă un rol critic în această etapă, asigurând continuitatea informației de la nivelul de detaliu al elementului constructiv până la contextul geografic regional (Sani & Rahman , 2018). Astfel, un Digital Twin nu este doar o reprezentare vizuală, ci un ecosistem de date sincronizate temporal și spațial, capabil să simuleze comportamentul infrastructurii sub stres și să fundamenteze decizii predictive de tip „what-if”. (Ketzler , et al., 2020)

Fuziunea dintre modelarea de tip Digital Twin și conceptele de management inteligent transformă sistemele informatice geografice dintr-un simplu instrument de inventariere într-un organism digital viu. Această paradigmă oferă autorităților regionale capacitatea de a naviga prin complexitatea peisajului urban modern, asigurând o dezvoltare durabilă bazată pe o „conștiință spațială” digitală și riguroasă.

2.5 Concluzii

Sistemele informaționale geografice au extins limitele proiectării asistate de computer (CAD) și ale cartografierii automate (AM), devenind instrumente complexe de analiză și planificare în domenii variate. GISistemele informaționale geografice tradiționale migrează accelerat spre sisteme GIS tri-dimensionale, integrând elemente specifice BIM și evoluând spre simularea fidelă a realității prin concepte de Digital Twin. Această maturizare tehnologică, coroborată cu noile paradigme de Smart City și Smart Region, oferă autorităților locale și regionale instrumentele necesare pentru a naviga complexitatea provocărilor actuale, transformând datele geospațiale brute într-o resursă strategică pentru dezvoltarea durabilă a teritoriului.

3 Arhitectura fluxului de date și tehnologii de achiziție pentru implementarea unui sistem informațional destinat suportului decizional în domeniul dezvoltării locale și regionale

Obiectivul acestui capitol este analiza achiziției de date, investigând tranziția de la metodele convenționale de ridicare topografică la paradigmele moderne de captare a realității. Într-o eră a supra-abundenței informaționale, provocarea nu constă doar în colectarea informațiilor, ci în managementul unor volume masive de date eterogene (Big Data) și în extragerea cunoașterii prin algoritmi de inteligență artificială. Structura acestui capitol explorează pilonii tehnologici ai sistemelor informaționale: cadrul computațional, fundamentul geometric și legal, observarea sistematică a teritoriului și, în final, componenta dinamică a urbanismului participativ.

3.1 Paradigma Big Data și inteligența artificială în implementarea sistemelor informaționale geografice

Datele geospațiale au migrat de la formatele convenționale către sfera Big Data Geospațial, un concept definit prin cinci dimensiuni fundamentale (cei „5 V”), fiecare cu implicații specifice în domeniul geodeziei și planificării urbane: volum, viteză, varietate, valoare și veridicitate.

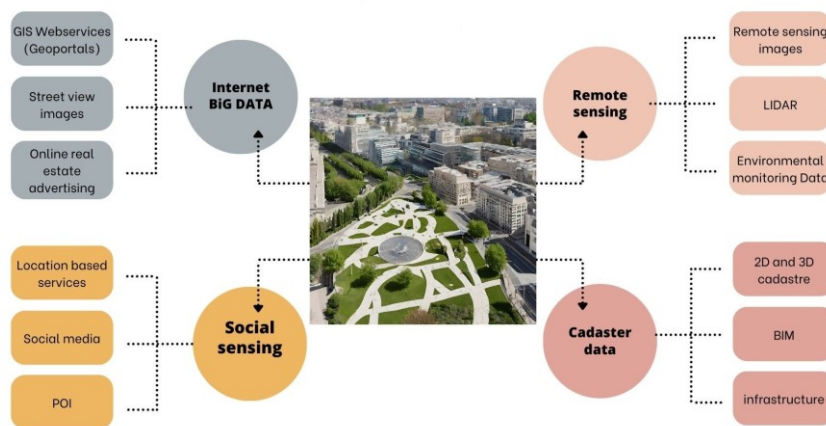


Figura nr 1 Reprezentarea schematică a surselor de date (Droj, et al., 2024)

Tranziția către Web-GIS și tehnologiile mobile a facilitat schimbul de date în timp real, oferind instrumente de analiză online și Servicii Bazate pe Locație (LBS). Acestea valorifică tehnologiile de poziționare globală (GNSS) pentru a furniza informații critice despre mobilitate, piața imobiliară și dinamica fluxurilor umane. Integrarea datelor provenite din rețelele sociale a condus la apariția conceptului de teledetecție socială, oferind o dimensiune comportamentală planificării urbane, anterior imposibil de cuantificat prin metode tradiționale. Algoritmii de deep learning reprezintă modalități eficiente de procesare și analiză a datelor mari pentru analize de tipul:

- Analize multi-temporale și detecția schimbărilor: Identificarea automată a expansiunii urbane. (Zhang & Huang, 2018)

- Fuziunea datelor: Combinarea imaginilor satelitare cu date IoT (Internet of Things) pentru a evalua vitalitatea urbană și expunerea la poluanți (ex: PM2.5), conform modelelor propuse de Huang și Wang. (Huang & Wang, 2020)
- Clasificarea automată a utilizării terenului: Extragerea amprentelor clădirilor și a rețelelor rutiere cu precizie ridicată. (Liu, et al., 2019)

3.2 Cadastru

Actualizarea și menținerea registrelor cadastrale în contextul arhitecturii complexe a orașelor moderne necesită o evoluție de la soluțiile tradiționale bazate pe fișiere CAD – caracterizate prin redundanță și izolare – către sisteme de gestiune a bazelor de date spațiale (SGBD). Un model de date cadastrale modern trebuie să respecte standardele de interoperabilitate (ISO 19152 - LADM) pentru a integra aspectele juridice, geometrice și temporale (4D). (ISO - International Organization for Standardization, 2012) (Shahidinejad, et al., 2024)

Conform cercetărilor recente, (Aydinoglu, et al., 2025) standardizarea informațiilor imobiliare este coloana vertebrală a managementului urban sustenabil, facilitând procese decizionale informate în planificarea urbană și dezvoltarea infrastructurii. Integrarea acestui standard permite nu doar securizarea drepturilor de proprietate, ci și o alocare eficientă a resurselor limitate în zonele metropolitane cu creștere rapidă, asigurând uniformitatea și fiabilitatea datelor utilizate de evaluatori, investitori și legislatori.

3.2.1 Sistemul informațional rutier

Integrarea principalele elemente rutiere într-un mediu GIS permite modelarea fluxurilor de transport și evaluarea stării tehnice a rețelei, fiind un suport vital pentru managementul mentenanței și planificarea investițiilor regionale. (Badea & Badea, 2021)

3.3 Utilizarea datelor din fotogrametrie în cadrul planificării urbane

Teledetecția a evoluat de la aplicații predominant militare la o sursă fundamentală de date deschise (Open Data) utilizată într-o gamă largă de domenii. Capacitatea senzorilor de a furniza date sistematice asupra suprafeței terestre a revoluționat domenii variate, de la analiza schimbărilor climatice și gestionarea resurselor naturale, până la monitorizarea dezastrelor și evaluarea dinamicii de utilizare a terenurilor. În contextul urbanismului modern, teledetecția oferă o perspectivă sistemică necesară pentru a înțelege morfologia și funcționalitatea spațiilor urbane, care sunt caracterizate printr-un dinamism accelerat și o complexitate structurală ridicată. (Zhang, et al., 2019)

3.3.1 Caracterizarea datelor de teledetecție după rezoluție și senzori

Evidențierea fenomenelor relevante pentru înțelegerea situației actuale și istorice, în vederea elaborării studiilor de fundamentare ale planurilor urbanistice precum și în vederea elaborării proiectelor de dezvoltare urbană, este esențială utilizarea datelor de teledetecție. (van Maarseveen, et al., 2019) Aplicațiile destinate asistării deciziei în dezvoltarea urbană utilizează date complexe spațiale actualizate și istorice care se pot obține rapid și ieftin utilizând imagini satelitare.

3.3.2 Indici spectrali utilizați în analiza urbană și de mediu

O metodă consacrată de extragere a informației cantitative este utilizarea indicilor spectrali, obținuți prin operații matematice aplicate benzilor satelitare (ex: Landsat, Sentinel-2). Aceștia permit transformarea reflectanței în indicatori biotehnici sau de mediu. Există un număr mare de indici spectrali care pot fi utilizați pentru a analiza diverse aspecte precum vegetația, resursele de apă, zăpada, solul, focul dar și gradul de poluare sau factorii climatici. (European Space Agency, 2023) (NASA, fără an)

3.4 Detecție socială – Crowdsourcing

Implicarea pro activă a cetățenilor în producția de date geospațiale a devenit o resursă strategică pentru aplicații software diverse, de la managementul riscurilor și monitorizarea traficului, până la planificarea urbană participativă. Acest fenomen, susținut de proliferarea tehnologiilor mobile omniprezente, a fost teoretizat de M. Goodchild în 2007 sub conceptul de informații geografice voluntare (Volunteered Geographic Information - VGI). VGI definește utilizarea rețelelor de cetățeni ca senzori umani voluntari pentru crearea, asamblarea și diseminarea datelor geospațiale (Goodchild, 2007). Abordările de tip crowdsourcing sunt fundamentate pe platforme digitale care îmbină informații în timp real, transformând utilizatorul rețelelor sociale într-un „senzor social”.

3.4.1 Monitorizarea mobilității

Crowdsourcing reprezintă colectarea de informații și date geospațiale de la un grup mare de oameni pentru a evidenția relațiile spațiale, prin colectarea datelor geospațiale de către utilizatori care răspund voluntar la o serie de întrebări sau prin primirea de date în timp real de la dispozitive digitale precum telefoanele mobile. (Todd & Donihue , 2021). Contribuția comunității în procesul de achiziție a datelor geospațiale, manifestat prin platforme de tip crowdsourcing precum Waze, Google Maps sau în cel al cartografiei colaborative OpenStreetMap, a declanșat o schimbare de paradigmă în planificarea teritorială. Această evoluție permite urbanistilor și factorilor decizionali să depășească limitările analizelor statistice convenționale, integrând fluxuri de informații spațiale actualizate în timp real pentru decodarea tendințelor emergente și fundamentarea unor politici publice adaptate dinamicii urbane contemporane (Indrajit, et al., 2019).

Cercetările recente asupra îmbinării datelor de teledetecție (Remote Sensing) cu tehnologiile de detectare socială (social sensing) și sistemele GIS avansate au demonstrat că amprentele activităților umane exercită o influență cuantificabilă asupra semnelor electromagnetice ale elementelor urbane, acestea putând fi corelate cu datele comportamentale extrase din rețelele sociale pentru a genera modele multidimensionale ale „urbanismului cotidian”.

3.5 Prelucrarea avansată și extracția informației

Datorită caracterului fragmentat și eterogen al mediului urban, procesarea datelor de teledetecție necesită depășirea metodelor clasice de clasificare pixel-cu-pixel. În prezent, se utilizează algoritmi de Inteligență Artificială și Machine Learning pentru extragerea automată a tiparelor spațiale:

- Random Forest și Support Vector Machine (SVM): Pentru clasificarea utilizării terenului cu precizie ridicată.
- Deep Learning: Pentru segmentarea automată a clădirilor și a rețelelor rutiere din imagini VHR.
- Geographical Weighted Regression (GWR): Pentru modelarea relațiilor spațiale non-staționare între factorii socio-economici și cei de mediu. (Yu & Fang, 2023)

3.6 Concluzii

Studiul literaturii de specialitate realizat evidențiază faptul că arhitectura unui sistem informațional modern destinat dezvoltării regionale nu poate fi limitat la o singură sursă de date și succesul decizional depinde de integrarea datelor. Rigoarea și precizia datelor cadastrale și rutiere trebuie armonizate cu contextul spațial oferit de teledetecție și cu dinamismul social din crowdsourcing. Principalele concluzii sunt:

1. Evoluția GIS prin integrarea inteligenței artificiale și a sistemelor de tip autonomous GIS reduce subiectivitatea analistului uman și accelerează timpul de răspuns în situații critice.
2. Trecerea la Cadastrul 3D și standardele ISO 19152 este imperativă pentru modelarea corectă a infrastructurii urbane complexe.
3. Datele de tip VGI (Waze, OSM) reprezintă „pulsul” orașului, oferind informații despre mobilitate și comportament social pe care senzorii fizici nu le pot capta în totalitate.
4. Corelarea semnelor electromagnetice cu datele din rețelele sociale deschide noi orizonturi în evaluarea calității vieții la nivel local.

4 Metodologii avansate de analiză geospațială și modelare computațională

Într-un mediu GIS destinat suportului decizional, algoritmi de analiză nu sunt simple instrumente de desen, ci fundamente matematice care permit decodarea relațiilor complexe dintre infrastructură, populație și mediu.

4.1 Paradigme computaționale în extracția cunoștințelor din date spațiale

În era „Big Data Geospațial”, volumul informațiilor colectate prin senzori, rețele IoT și baze de date cadastrale distribuite a depășit capacitatea de procesare a metodelor statistice convenționale. Pentru a extrage o valoare strategică din aceste fluxuri masive de date, este necesară utilizarea unor tehnici avansate de descoperire a cunoștințelor în baze de date (Knowledge Discovery in Databases - KDD), proces în cadrul căruia data mining reprezintă etapa crucială de extragere a tiparelor, asocierilor și structurilor anterior necunoscute și potențial utile (Zaharie, 2018). Spre deosebire de date nonspațiale, datele georeferențiate prezintă o dependență spațială intrinsecă, manifestată prin fenomenul de autocorelare spațială, ceea ce impune utilizarea unor arhitecturi algoritmice avansate. Tabelul de mai jos prezintă o analiză comparativă sistematică între tehnicile de data mining clasic și cele specifice domeniului spațial, evidențiind saltul calitativ necesar în modelarea geodezică.

	Data mining clasic	Data mining spatial
Definirea datelor	Simplu predominant alfanumerică și tabelară.	Complex : multidimensională (2D, 3D, 4D), multi-scară, vector/raster.
Relații	Explicite: aritmetice, logice sortare	Dependente de context: topologice, metrice, direcționale, dinamice, fuzzy
Organizarea datelor	Indexare liniară sau structuri ierarhice simple.	Indexare spațială avansată (R-tree, Quadtree, geohash).
Operații	Locale	Locale, focale, zonale și globale.
Statistica	Independent de context	Autocorelare spațială, geostatistică.

Date de ieșire	Rapoarte bazate pe mulțimi, asocieri logice	Reprezentări grafice spațiale, densitate, modele de clusterizare spațială.
Algoritmi	divide-and-conquer, sortare structuri ierarhice, arbori de decizie clasici.	Minim Bounding Rectangle (MBR), Indexare spațială, geometrie computațională.
Clasificare	Identificarea clasei prin similaritate numerică	Supervizate și nesupervizate pentru date de teledectie sau clasificarea bazată pe vecinătatea contextuală.
Asociere și agregare	Grupare după attribute identice	Agregare spațială bazată pe locație, relații spațiale, geometrie computațională.

Tabel 1 - Comparație între data mining clasic și data mining spațial (adapare după - Anders, 2003)

4.2 Metodologii de analiză spațială și modelare computațională a datelor

Principalul avantaj al sistemelor informaționale geografice rezidă în abilitatea de a prezenta într-un mod unitar analiza detaliată a tuturor datelor gestionate, atât a celor cu caracteristici geometrice geocodate, a celor non-geometrice/alfanumerice cât și a imaginilor.

Analiza spațială constituie procesul analitic de examinare a acestor date în vederea modelării realității, permițând detectarea șabloanelor structurale (*patterns*), interpretarea dinamicii temporale, evaluarea fezabilității locațiilor pentru investiții și generarea de modele predictive de tip „what-if”.

4.2.1 Clasificarea imaginilor

Clasificarea imaginilor reprezintă un proces esențial în analiza datelor colectate de senzorii montați pe sateliți, avioane sau alte platforme în teledectie.

4.2.2 Relații spațiale

Relațiile spațiale constituie fundamentul ontologic al proceselor de analiză geospațială, fiind implementate sub forma unor predicate spațiale în cadrul interogărilor complexe de baze de date. Aceste relații permit definirea riguroasă a modului în care entitățile geografice sunt conectate sau corelate în spațiu, facilitând extragerea obiectelor care satisfac o anumită logică pozițională în raport cu un obiect de referință (sau obiect de interogare).

Relațiile spațiale pot fi combinate și integrate în interogări spațiale prin utilizarea operatorilor logici (**and, or, not**) pentru extinderea și rafinarea relațiilor pentru a asigura o interpretare precisă și coerentă a datelor spațiale. (Carniel, 2022)

4.2.2.1 Relațiile topologice

4.2.2.2 Relații metrice

4.2.2.3 Relații direcționale

4.2.3 Metodologii de geoprocesare pentru date vectoriale

Operațiile de geoprocesare reprezintă motorul algoritmic al analizei vectoriale. Din punct de vedere logic, acestea pot fi clasificate în funcție de impactul lor asupra geometriei și atributelor, având analogii directe în algebra mulțimilor (Lwin & Murayama, 2025).

Familie	Scop principal	Algoritmi	Analogia matematică / logică
Filtre spațiale	Extragere / Decupare	Clip, Difference	Filtrare pe bază de condiții topologice
Suprapunere logică (Overlay)	Combinare de informații	Intersect, Union, Symmetrical Difference	Operații pe mulțimi (\cap, \cup, Δ)
Analiză de formă și Agregare	Proximitate / Generalizare	Buffer, Dissolve, Convex Hull	Analiza proprietăților intrinseci ale geometriei

Tabelul nr. 1 Clasificarea operațiilor de geoprocesare

Filtrele spațiale reprezintă operații care acționează ca filtre sau șabloane topologice, extrăgând sub-entități fără a crea geometrii noi din punct de vedere semantic. (Lwin & Murayama, 2025) Operațiunile de tip Overlay recalculează complet topologia rețelei rezultate, generând entități noi ale căror atribute reprezintă o combinație a straturilor sursă.

Operație	Operația pe mulțimi	Descriere logică	Rezultat
Intersect (Intersecție)	$A \cap B$ (Intersecție)	Creează un strat nou care conține doar zonele comune dintre straturile A și B.	Geometria este $A \cap B$. Tabelul de atribute conține atributele de la A și de la B .

Union (Unificare)	$A \cup B$ (Reuniune)	Creează un strat nou care conține toate geometriile din A și B. Granițele sunt recalulate în zonele de suprapunere.	Geometria este $A \cup B$. Tabelul de attribute conține attributele de la A și B, cu valori nule acolo unde nu există suprapunere.
Symmetrical Difference (Diferență Simetrică)	$A \Delta B$ sau $(A \cup B) \setminus (A \cap B)$	Creează un strat nou care conține zonele care aparțin lui A sau lui B, dar NU ambelor simultan.	Geometria este $A \Delta B$. Tabelul de attribute conține attributele de la A și B.

Tabelul nr. 2 Operații de overlay

În imaginea de mai jos prezentăm o comparație vizuală a celor trei operații, unde am marcat cu hașură rezultatul operațiilor .

Intersecție



Reuniune



Diferența simetrică



Figura nr 2 Comparația vizuală între operațiile Intersecție, reuniune și diferența simetrică (Droj, 2009)

Procesul de geoprocetare trebuie să integreze o etapă riguroasă de curățare topologică, bazată pe definirea unor toleranțe de proximitate, asigurând astfel că limitele coincidente sunt tratate ca o singură entitate matematică.

4.2.4 Analiza de formă și agregare spațială

Operațiile de suprapunere utilizează relațiile dintre straturi diferite. Operații de analiza a formei și agregare valorifică proprietățile intrinseci ale unui singur strat. Acestea transformă stratul pentru a scoate în evidență o anumită caracteristică a sa, o proximitate, o categorie comună sau distribuția sa spațială. (da Silva, et al., 2015)

Sub-familie	Întrebarea la care răspunde	Unealta Principală	Ce analizează? (Proprietatea Intrinsecă)	Rezultat
Proximitate	"Ce se află în apropiere?"	Buffer	Poziția și distanța în spațiu.	O arie de influență.

Agregare	"Cum pot grupa elementele similare?"	Dissolve	Apartenența la o categorie (definită de atribute).	Un strat simplificat, generalizat.
Formă	"Care este amprenta unui grup?"	Convex Hull	Distribuția spațială și extinderea unui set de obiecte.	Limita exterioară a grupului.

Tabloul nr. 3 Clasificarea operațiilor de analiză a formei și de agregare

4.2.5 Geostatistică

Geostatistica constituie un cadru analitic avansat destinat procesării datelor georeferențiate prin integrarea locației entităților ca variabilă intrinsecă în modelul statistic. Spre deosebire de statistica convențională, geostatistica cuantifică și modelează structura spațio-temporală a proceselor, bazându-se pe principiul că variabilele din vecinătate tind să prezinte valori similare (autocorelare).

A. Analiza distribuției punctuale prin funcția Ripley's K

B. Autocorelarea spațială și hot-spotting

4.2.6 Modelarea incertitudinii și a impreciziei prin logica fuzzy

Planificarea urbană și regională se confruntă adesea cu fenomene ale căror limite nu sunt nete (discrete), ci prezintă zone de tranziție gradată (ex. urbanizarea, densitatea vegetației, ariile de influență economică). În timp ce algebra booleană clasică operează cu valori binare (0 sau 1), modelarea fidelă a realității empirice necesită utilizarea Logicii Fuzzy (neclare), teoretizată de Lotfi A. Zadeh (Zadeh, 1965).

A. Funcții de apartenență și clasificarea Fuzzy C-Means

B. Operații și relații spațiale fuzzy

4.3 Modelarea infrastructurii rutiere în GIS - T

Majoritatea sistemelor GIS lucrează în sistem cartezian, de obicei spațiul euclidian, unde distanța dintre două obiecte este determinată în funcție de pozițiile relative în spațiu calculate prin distanța euclidiană. Însă în cazul aplicațiilor de trafic, această distanță trebuie calculată pentru traiectorii predefinite specificate prin linii și curbe, segmente orientate care definesc grafuri.

Aplicațiile GIS-T, integrează bazele de date geospațiale actualizate cu privire la rețeaua stradală cu toate informațiile despre trafic, cum ar fi: semne de circulație, semafoare, limită de viteză, restricții de trafic, elemente de capacitate maximă, puncte de interes, dar și cu o mare varietate de informații în timp real, cum ar fi accidente, blocaje de trafic etc. (Wuest & Mioc , 2007). (Droj & Droj, 2020).

4.3.1 Algoritmi de rutare

Algoritmii de rutare utilizați inițial doar în aplicațiile specifice de tip GIS cum am fi ArcGIS, au devenit cele mai comune aplicații bazate pe tehnologia GIS, și un accesoriu obligatoriu la toate mașinile moderne. Determinarea celei mai eficiente rute către destinație este principala dorință nu numai pentru utilizatorii obișnuiți, ci și extrem de importantă pentru serviciile de urgență. (Mitchell, 2005)

4.3.2 Determinarea drumului de cost minim

Determinarea drumului de cost minim, pentru grafuri care nu dețin costuri negative se realizează prin adaptări diverse ale algoritmului lui Dijkstra. (Dijkstra, 1959)

4.3.3 Determinarea fluxului maxim

Utilizând metoda Ford–Fulkerson se pot identifica gâturile de trafic cauzate de capacitate mai mare de intrare în nod decât fluxul maxim, în vederea optimizării traficului.

4.3.4 Influența transportului public asupra traficului

Populația optează asupra modului de deplasare și implicit în alegerea mijloacelor de transport în comun luând în considerare aspecte geografice, cum ar fi apropierea de stațiile de transport la punctul de plecare precum și la destinație, dar și de aspecte cum ar fi frecvența, durata de deplasare, aglomerația și calitatea serviciilor.

Conform modelului economic urban, definit de Fujita și Ogawa, de obicei populația alege locurile de cazare, locul de muncă și tipul de comunicare pentru a reduce la minimum costurile (Masahisa & Hideaki, 1982). Pentru a obține o imagine mai bună a ceea ce influențează traficul, matematicienii Vincent Verbavatz și Marc Barthelemy și-au propus să construiască un model schematic simplu care să surprindă cele mai simple elemente din interacțiunea dintre trafic și transportul public.

În concluzie, pentru a reduce numărul de mașini din trafic, implicit a persoanelor care conduc este oportună reducerea timpului necesar deplasării cu mijloace de transport în comun astfel încât să devină mult mai mic decât timpul de deplasare cu mașina, fapt ce se poate realiza prin creșterea numărului de persoane care au acces facil la mijloacele de transport în comun precum și reducerea timpului de așteptare. (Verbavatz & Barthelemy, 2019) (Buchanan, 2019)

4.4 Arhitectura GIS ca sistem de suport a deciziei în dezvoltarea regională

Un sistem spațial de suport al deciziei reprezintă un ecosistem computațional complex, conceput pentru a asista decidenții în rezolvarea problemelor spațiale slab structurate.

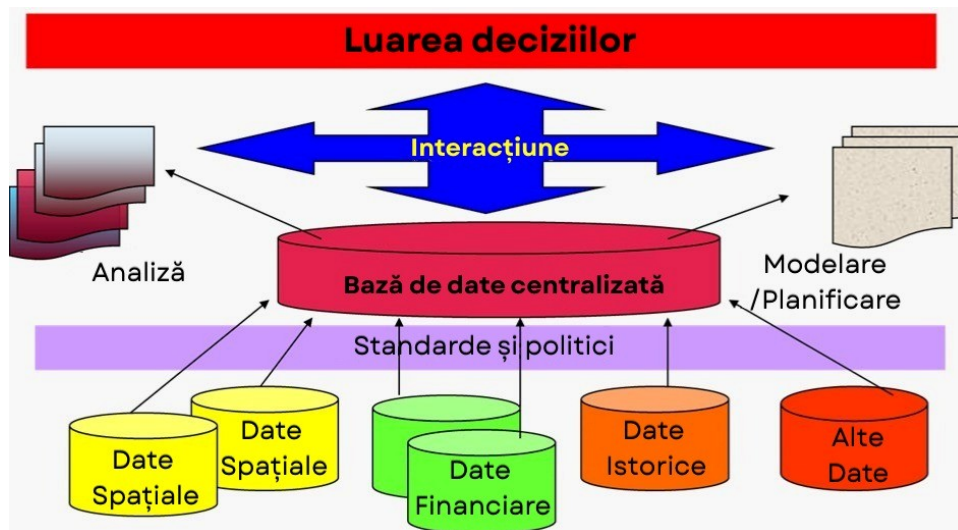


Figura nr 3 Structura unui sistem de suport a deciziilor (Droj & Droj, 2010)

Arhitectura funcțională a unui sistem spațial de suport al deciziei dedicat dezvoltării locale și regionale integrează trei piloni fundamentali, asigurând tranziția de la datele brute la cunoașterea strategică:

1. Sistemul de management al bazei de date care realizează fuziunea semantică a datelor geospațiale (cadastru, rețele edilitare, imagini satelitare) cu baze de date non-spațiale eterogene (indicatori financiari, demografie, politici publice).
2. Baza de modele și analiză (MBMS) - reprezintă nucleul analitic unde sunt integrați algoritmi de analiză spațială, geostatistică și a metodelor de analiză multicriterială (MCDA). (Malczewski & Rinner, 2015)
3. Interfața de dialog și vizualizare care facilitează interacțiunea decidentului cu modelul, transformând rezultatele matematice complexe în reprezentări grafice și cartografice accesibile, fundamentând astfel o guvernare bazată pe dovezi.

Cea mai robustă metodologie de analiză multicriterială în optimizarea deciziilor spațiale o reprezintă integrarea GIS cu procesul de ierarhizare analitică (Analytic Hierarchy Process - AHP), prin descompunerea problemelor complexe într-o structură ierarhică, transformând evaluările calitative (opinii de experți) în ponderi numerice riguroase. (Nguyen, et al., 2020)

Procesul de analiză multicriterială spațială presupune parcurgerea unui flux metodologic riguros, care transformă criteriile geografice în suport decizional prin următoarele etape:

1. Definirea criteriilor care măsoară gradul de atingere a obiectivului propus și a restricțiilor:
 - Criterii care sporesc sau diminuează adecvarea unei locații (ex: proximitatea față de utilități, accesibilitatea rutieră).
 - Restricții (Constrângeri) booleene care exclud anumite zone de la analiză din motive legale sau tehnice (ex: arii protejate, zone inundabile).
2. Standardizarea sau normalizarea criteriilor prin aducerea lor la o scară comună de comparabilitate (de regulă intervalul [0,1]). Aceasta se realizează prin funcții de transformare (scoruri de utilitate), permițând agregarea ulterioară a datelor eterogene.
3. Determinarea importanței criteriilor, prin ponderare: Fiecărui factor i se atribuie o pondere care reflectă importanța sa relativă în raport cu celelalte criterii.
4. Agregarea rezultatelor prin combinarea hărților de criterii ponderate pentru a obține un scor final de adecvare.

Integrarea analizei multicriteriale în mediul GIS transformă planificarea teritorială dintr-un demers reactiv într-unul proactiv și transparent, oferind rigoarea matematică și flexibilitatea necesară pentru a gestiona conflictele de interese specifice dezvoltării durabile, asigurând că deciziile administrative sunt fundamentate pe o analiză spațială multidimensională și obiectivă.

4.5 Concluzii

Integrarea perspectivei spațiale cu informațiile statistice este esențială pentru a integra datele într-o formă unitară, deoarece altfel poate duce la rezultate inadecvate din perspectiva corectitudinii, consistenței și temporalității informațiilor.

Analiza spațială, similar analizei statistice, se bazează pe procese care pot fi programate, însă răspunsul este oferit chiar și atunci când ipotezele de bază nu sunt îndeplinite, au fost formulate incorect sau datele de intrare nu sunt corecte și complete. Exactitatea aparentă a unui răspuns nu înseamnă că este corectă. Pentru a înțelege rezultatul, de exemplu, dintr-un sistem de informații geografice, trebuie să cunoaștem calitatea datelor care sunt introduse în sistem, actualitatea acestora, algoritmi din spatele procesării datelor precum și limitările afișajelor grafice.

5 Arhitectura unui Sistem Informațional Urban extins pentru fundamentarea dezvoltării teritoriale în Zona Metropolitană Oradea

Capitolul de față constituie pilonul experimental al cercetării, fiind dedicat validării empirice a cadrului metodologic propus prin operaționalizarea unui Sistem Informațional Urban (UIS) la nivelul Zonei Metropolitane Oradea.

5.1 Obiectivele studiului de caz și cadrul de conformitate normativă

Punctul de plecare în configurarea sistemului informațional îl reprezintă conformarea cu noul cadru normativ instituit prin Ordinul nr. 904/2023. Din perspectivă tehnică, studiul de caz respectă pilonii de interoperabilitate definiți de legislație:

- a. Unitatea de referință spațială: Toate seturile de date sunt proiectate în sistemul național Stereografic 1970 (EPSG 3844), asigurând precizia metrică necesară corelării cu planurile cadastrale oficiale.
- b. Formatul de date: Utilizarea containerului GeoPackage (GPKG) ca standard deschis, facilitând schimbul de informații între instituții, fără pierderi de topologie sau atribute.
- c. Standardizarea semantică: Implementarea clasificării HILUCS, care permite alinierea zonificării funcționale a municipiului Oradea la standardele europene de utilizare a terenului.

5.1.1 Identificarea limitelor structurii minimale și propunerea schemei conceptuale extinse

Deși Ordinul nr. 904/2023 stabilește o structură de date necesară pentru stocare și vizualizare, acest set minimal este insuficient pentru realizarea planurilor urbanistice pe suport GIS, cu atât mai puțin pentru implementarea unui sistem spațial de suport al deciziei.

Schema extinsă propusă în prezenta lucrare, prezentată în

Figura nr 4 propune o ontologie spațială complexă, care depășește simpla reprezentare a straturilor tematice, introducând concepte de modelare multi-scară, fuziune hibridă (vector-raster) și integrare IoT în timp real.

Arhitectura extinsă a sistemului este structurată pe următoarele clase de obiecte și relații:

- A. **Clase de obiecte punctuale și noduri de mobilitate:** Nodurile sistemului sunt reprezentate prin capetele segmentelor de stradă, stații de transport și facilități urbane.
- B. **Clase de obiecte liniare și modelarea rețelelor critice:** sistemul extins tratează infrastructura ca pe un graf topologic complex. Strada este descompusă, prin relații de compoziție în segmente de stradă discrete, permițând atribuirea unor proprietăți dinamice. Rețelele edilitare sunt modelate ca entități liniare inteligente, integrate cu senzori IoT de presiune, debit și avarie, facilitând mentenanța predictivă. De asemenea, rețeaua de transport public este definită prin trasee liniare corelate cu frecvența și capacitatea mijloacelor de transport.
- C. **Clase de obiecte poligonale și reprezentări multi-scară:** Modelarea spațiului include limita unităților administrative (UAT, intravilan/extravilan), unitățile teritoriale de referință (UTR), clase generice de tip parcele și clădire precum și clase derivate precum parcele intravilan (cu sau fără construcții), parcuri respectiv clase derivate din construcții: locuințe, clădiri publice etc.. Propunem implementarea unei logici de afișare adaptivă (multi-scară): entitățile de tip UAT sau facilitățile complexe: clădiri, puncte de interes (POI-uri) .
- D. **Clase hibride și câmpuri spațiale (Geofields)** pentru a gestiona fenomenele cu variație continuă prin utilizarea datelor de proveniență raster (ex: hărți de zgomot, dispersia poluanților, indici spectrali) în corelație cu limitele vectoriale ale unităților administrative: UAT, zone intravilan/extravilan, dar și unitățile teritoriale de referință (UTR), precum și zonificările specializate: zone protejate, zone funcționale și zone fiscale.
- E. **Integrarea fluxurilor IoT și a atributelor semantice.** Sistemul extins transformă entitățile fizice în obiecte inteligente prin integrarea senzorilor IoT:
- **Mobilitate:** Senzori de trafic amplasați pe segmentele de stradă și sisteme de monitorizare în timp real pe vehiculele de transport public.
 - **Utilități:** Monitorizarea stării rețelelor (presiune, debit) pentru managementul incidentelor.
- F. **Baze de date non-spațiale:** fiecare entitate geometrică este relaționată cu prevederile Regulamentului Local de Urbanism (RLU) și specificațiile tehnico-juridice ale zonelor cu regim special.
- G. **Modelarea relațiilor și a integrității topologice:**
- **Cardinalitate (1:1, 1:n):** asocieri biunivoce (1:1) respectiv asocieri ierarhice (1:n)
 - **Moștenire (Inheritance):** Utilizată pentru specializarea claselor facilitând propagarea automată a atributelor comune.
 - **Compoziție și agregare:** Definește dependențele existențiale asigurând consistența bazei de date în cazul modificărilor geometrice.
 - **Predicate topologice (Contain, Cross, Overlap):** Utilizate pentru implementarea regulilor de integritate a planului.

Prin această structură extinsă, Sistemul Informațional Urban devine o platformă dinamică de tip Digital Twin, capabilă să reflecte nu doar starea prezentă a teritoriului

(conform Ordinului 904/2023), ci și să simuleze scenarii de evoluție bazate pe date economice, de mediu și de trafic, oferind astfel suportul necesar studiilor de fundamentare analitice și prospective.

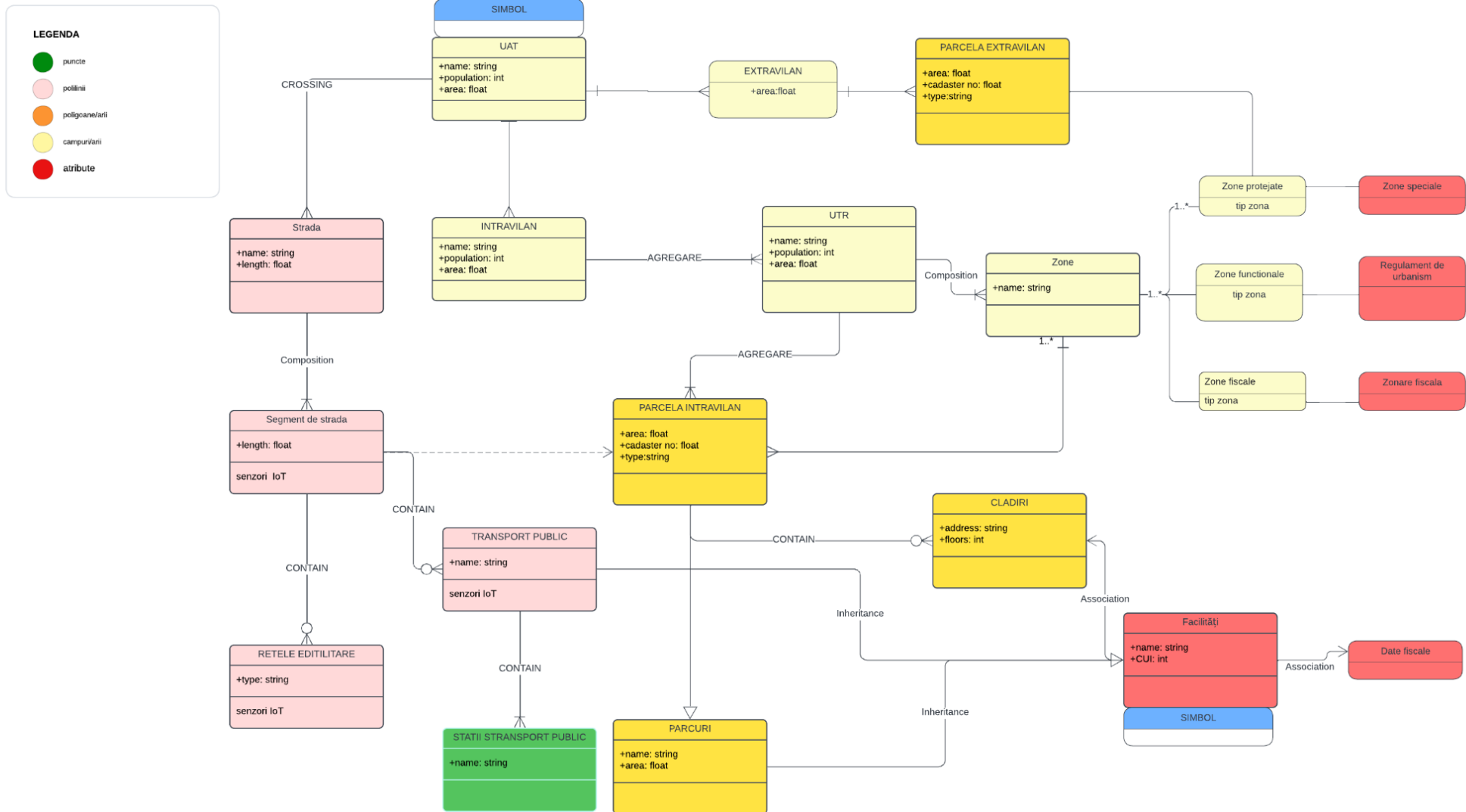


Figura nr 4 Schema conceptuală a datelor spațiale minimale necesară pentru realizarea analizelor aferente studiilor de fundamentare analitice și predictive (elaborată de autor)

5.1.2 Metodologia de achiziție, corelare și integrare a datelor

Fluxul metodologic este structurat pe trei paliere fundamentale:

- A. **Achiziția și pre-procesarea:** Prima etapă vizează colectarea informațiilor din surse caracterizate prin rezoluții și frecvențe de actualizare asimetrice, asigurând totodată conformitatea cu proiecția oficială Stereografic 1970:
 - a. Date de înaltă precizie: Planuri cadastrale, limite administrative (UAT, intravilan/extravilan) și rețele edilitare obținute de ANCPPI și/sau de la administrația locală.
 - b. Date de teledetecție: Fluxuri de imagini satelitare multispectrale furnizate de constelațiile Landsat (NASA) și Sentinel (ESA), integrate în sistem pentru generarea indicilor spectrali și analiza evoluției proceselor pedo-morfologice și a acoperirii terenului.
 - c. Componenta de timp real și senzori sociali: Integrarea fluxurilor de tip *crowdsourcing* provenite din platformele Waze și OpenStreetMap (OSM), corelate cu rețele de senzori IoT (Internet of Things) distribuiți la nivelul infrastructurii critice. Aceste date permit tranziția sistemului către o arhitectură de tip Digital Twin, oferind capacitatea de a reflecta starea instantanee a rețelelor de transport și de a fundamenta decizii operative în managementul urban.
- B. **Corelarea relațională și spațială a informațiilor eterogene:** Procesul de corelare depășește simpla alăturare a datelor, vizând construirea unui model conceptual complex, în care relațiile dintre obiecte sunt guvernate de reguli stricte de cardinalitate și logică structurală.
- C. **Validarea și curățarea topologică:** pentru a garanta conformitatea cu standardele riguroase impuse de Ordinul nr. 904/2023 și specificațiile tehnice ale Directivei INSPIRE.:
 - a. Verificarea integrității suprafețelor:
 - Eliminarea poligoanelor parazite (*Sliver Polygons*):
 - Excluderea suprapunerilor (*No Overlaps*)
 - Validarea continuității (*No Gaps*):
 - b. Validarea conectivității rețelelor (Grafuri de transport și utilități):
 - c. Auditul consistenței logice și a integrității referențiale: între obiectul spațial și atribute:
 - Verificarea unicității
 - Validarea incluziunii ierarhice

5.2 Studii de fundamentare analitice privind dinamica economică și urbanistică

Acest palier analitic vizează decriptarea dinamicii teritoriale prin fuziunea indicatorilor socio-economici cu geometria cadastrală, oferind suportul empiric necesar pentru validarea strategiilor de dezvoltare urbană și regională.

5.2.1 Integrarea indicatorilor financiari în structurile geospațiale: Modelarea vitalității economice și a polarizării teritoriale prin tehnici de Spatial Data Mining

Obiectivul acestui subcapitol este demonstrarea aplicabilității tehnicilor de spatial data mining în corelarea fluxurilor de date financiare cu entitățile cadastrale, utilizând ca model experimental sectorul turistic din România.

Analiza distribuției spațiale a unităților de cazare la nivel de județ (Figura nr 5) relevă o dezvoltare inegală a infrastructurii turistice. Prin coborârea granularității la nivel de unități administrativ-teritoriale, se observă un fenomen de polarizare extremă. Companiile turistice tind să se concentreze în nuclee specifice: opt poli de creștere și patru clustere specializate. Această distribuție neuniformă demonstrează că activitățile economice sunt influențate de locație într-o măsură mult mai mare decât alte sectoare, generând zone de vitalitate intensă și arii marginalizate.

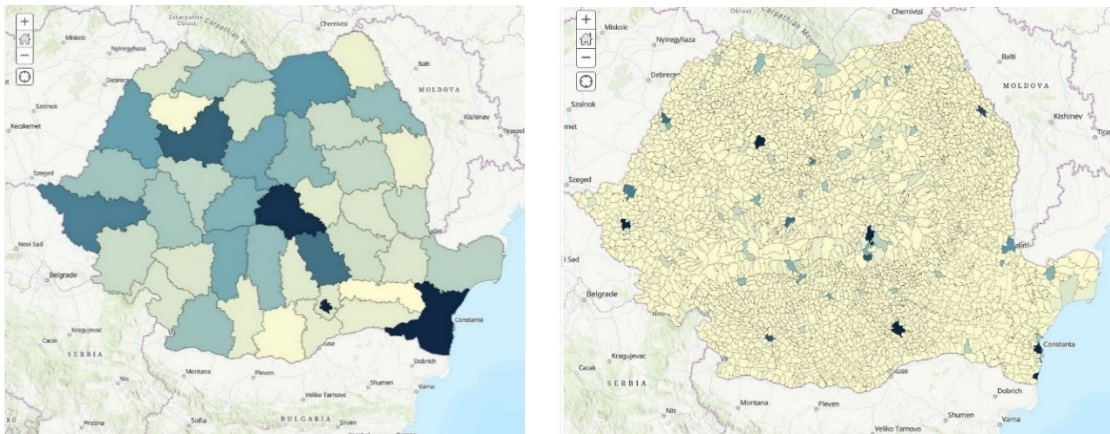


Figura nr 5 Distribuția companiilor turistice pe județe și UAT-uri (Droj, et al., 2020)

Pentru a cuantifica impactul economic real, dincolo de simpla numărare a companiilor, am aplicat algoritmul Multi-Distance Spatial Cluster Analysis (Ripley's K).

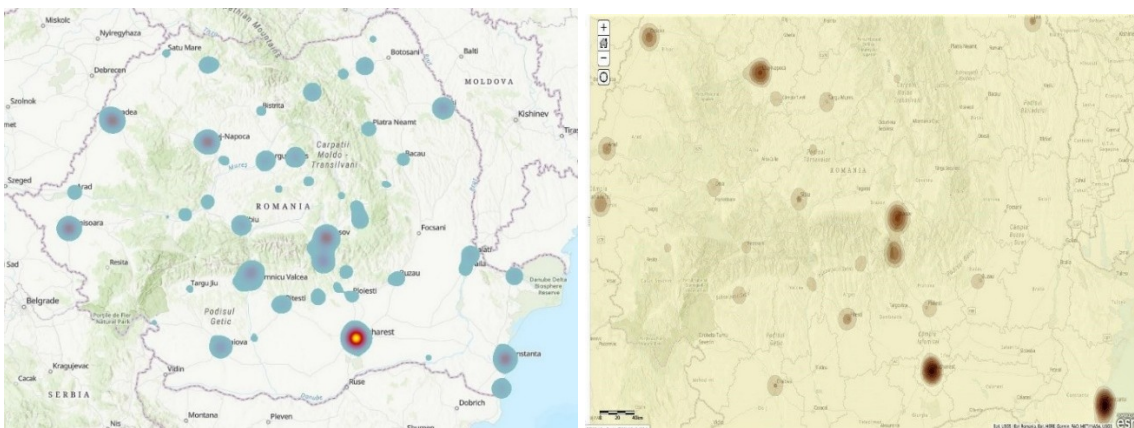


Figura nr 6 Distribuția angajaților din domeniul turistic

Figura nr 7 Distribuția clusterizată a activelor din turism

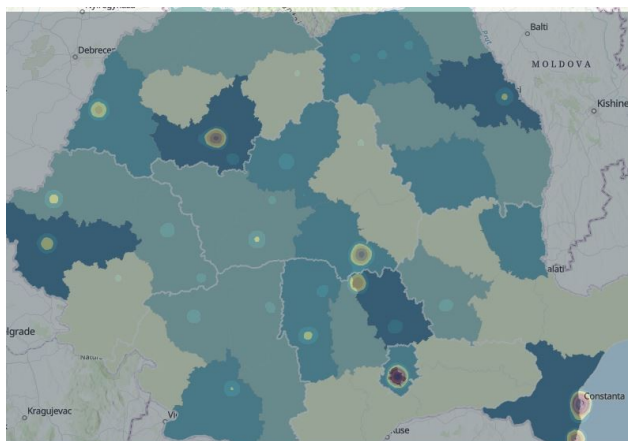


Figura nr 8 Puterea de cumpărare a serviciilor de agrement vs active a companiilor turistice (Droj, et al., 2020)

Analiza geospațială macroeconomică prezentată demonstrează că utilizarea GIS ca instrument de suport decizional permite:

- Identificarea zonelor de vitalitate economică prin corelarea directă a datelor fiscale cu registrele cadastrale.
- Validarea politicilor de investiții prin detectarea clusterelor naturale de dezvoltare, evitând alocarea ineficientă a resurselor.
- Fundamentarea prospectivă a necesarului de infrastructură în funcție de dinamica puterii de cumpărare și a accesibilității regionale.

Această metodologie, validată la nivel național, constituie baza pentru analizele detaliate de vitalitate economică la nivel de UTR ce vor fi aplicate în contextul specific al Zonei Metropolitane Oradea.

5.2.2 Analiza relațiilor periurbane și a gradului de urbanizare prin tehnici de agregare spațială.

Relațiile periurbane reprezintă manifestarea spațială a interdependențelor economice, sociale și funcționale dintre un nucleu urban polarizator (Municipiul Oradea) și zona funcțională a sa. În contextul actualizării PUG,

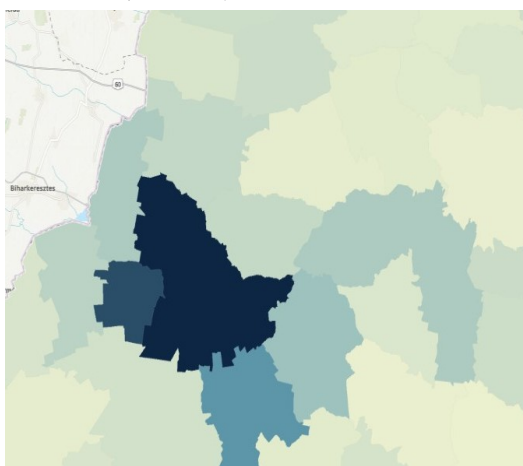


Figura nr 9 Densitatea populației în zona periurbană Oradea

analiza acestor relații prin tehnici GIS, vizează cuantificarea fenomenului de periurbanizare, în care localitățile rurale își pierd funcția agricolă tradițională în favoarea unor funcțiuni rezidențiale și industriale integrate în fluxurile metropolitane. Analiza agregată a datelor demografice relevă o expansiune rezidențială centrifugă.

Indicatorul de densitate a populației, agregat prin corelarea suprafeței intravilanului cu numărul de locuitori, plasează Sântandrei pe primul loc în coroana periurbană, cu 305 locuitori/km². Această valoare atestă un grad

ridicat de urbanizare a teritoriului, unde expansiunea pe orizontală a generat o structură densă a fondului construit. Utilizarea tehnicilor de spațial data mining asupra datelor de raportare financiară pentru anul 2024 confirmă rolul ZMO ca motor al economiei județene, concentrând 75,4% din cifra de afaceri a județului Bihor.

Arhitectura relațiilor periurbane este condiționată structural de gradul de accesibilitate spațio-temporală, acest parametru funcționând ca principal vector al dinamismului teritorial. Configurația densă și ramificată a rețelei de infrastructură rutieră a facilitat o mobilitate pendulară eficientă, fapt ce a condus la o dilatare a arealului de atractivitate rezidențială către localitățile limitrofe.

Utilizarea pragurilor standardizate de 15, 30 și 45 de minute constituie un instrument analitic esențial pentru definirea structurii Ariei Funcționale Urbane permițând cuantificarea intensității mobilității pendulare și identificarea orientării fluxurilor de navetă dominante. După cum este ilustrat în Figura nr 10 (a), cartografierea acestor zone pentru municipiul Oradea relevă o ierarhizare spațială clară:

- Izocrona de 15 minute: Circumscrie nucleul dur al Zonei Metropolitane Oradea, definind perimetrul de interacțiune cotidiană intensă;
- Izocrona de 30 de minute: Integrează localitățile aferente celui de-al doilea inel periurban, marcând limita de eficiență a navetei zilnice;
- Izocrona de 45 de minute: Extinde sfera de polarizare asupra întregii regiuni funcționale, înglobând inclusiv polii urbani secundari precum Salonta și Aleșd.

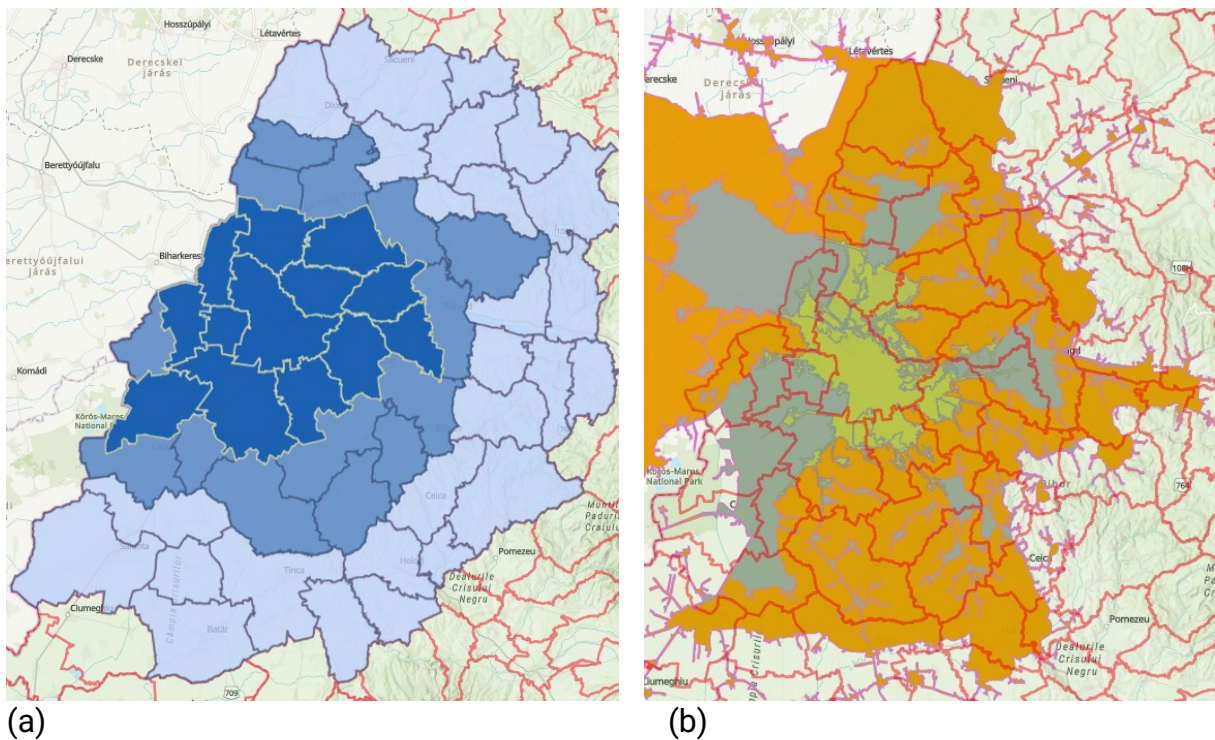


Figura nr 10 Accesibilitatea municipiului Oradea din zona periurbană

Deși modelarea geometrică sugerează o accesibilitate extinsă, integrarea variabilelor dinamice – precum valorile de trafic mediu și configurația topologică a căilor rutiere

– în algoritmi de analiză de rețea (Network Analysis) induce o contracție spațială semnificativă a acestor arii (Figura nr 10 (b)). Această discrepanță între accesibilitatea teoretică și cea reală evidențiază impactul rezistenței rețelei asupra eficienței transportului regional și subliniază necesitatea optimizării infrastructurii pentru menținerea coeziunii metropolitane.

5.2.3 Monitorizarea tendințelor de dezvoltare și a expansiunii urbane prin metode de detecție a schimbărilor pe serii temporale satelitare

Detectarea schimbărilor (*Change Detection*) prin prelucrarea fluxurilor de date provenite din teledetecție reprezintă o metodologie fundamentală în analiza diacronică a teritoriului.



Figura nr 11 Oradea - imagine Sentinel 2 din 11 iulie 2017. Figura nr 12 Oradea - imagine Sentinel 2 din 25 iulie 2022.

În cadrul studiilor de fundamentare pentru planificarea urbană inteligentă, monitorizarea expansiunii zonelor construite în detrimentul spațiilor verzi constituie un indicator critic al sustenabilității. Pentru analiza modificărilor survenite în Municipiul Oradea, s-au utilizat serii temporale furnizate de misiunea Sentinel-2 (ESA Copernicus), caracterizate prin rezoluții spațiale de 10 m și o frecvență ridicată de revizitare.

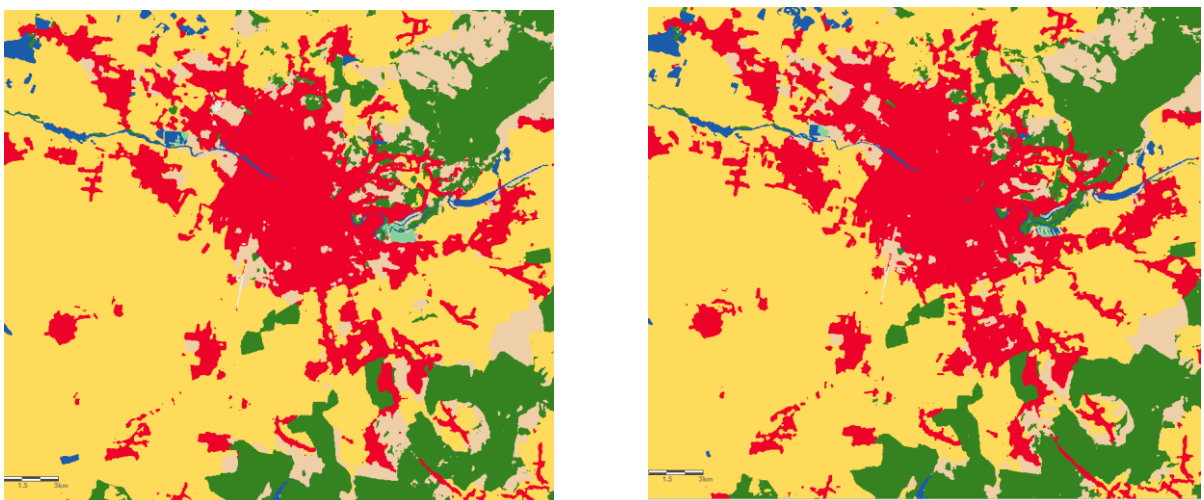


Figura nr 13 - Categoria de folosință bazată pe date Sentinel2 cu rezoluția de 10 m, comparație între 2017 și 2023 (ArcGIS online)

Interpretarea vizuală directă este marcată de subiectivitate și dificultăți în cuantificarea precisă a transformărilor, impunând utilizarea unor algoritmi computaționali avansați pentru izolarea vectorilor de schimbare. Analiza comparativă a categoriei de folosință între anii 2017 și 2023 (Figura nr 13) evidențiază o tendință de expansiune urbană centrifugă (*Urban Sprawl*). Rezultatele indică: conversia terenurilor agricole, densificarea țesutului rezidențial și fragmentarea coridoarelor verzi.

5.3 Studii de fundamentare privind organizarea circulației și a transporturilor (GIS-T)

Pentru elaborarea documentațiilor de urbanism, este esențială realizarea unui studiu de fundamentare asupra organizării circulației și transporturilor, utilizând date spațiale avansate. Având în vedere că cele mai critice componente sunt infrastructura rutieră și transportul public, în continuare prezentăm în detaliu metodele și tehnologiile de utilizare a sistemelor informaționale geografice în analiza aprofundată a infrastructurii rutiere din Oradea, urmată de o evaluare a transportului public din același oraș și de o analiză a impactului investițiilor în infrastructura rutieră asupra traficului urban pe perioada investiției și post investiție.

5.3.1 Analiza infrastructurii rutiere utilizând GIS

Pentru a analiza traficul în municipiul Oradea am abordat următoarea metodologie:

- Am colectat datele de trafic din municipiu Oradea după cum este reflectată de waze.com și Google Maps;
- Am estimat capacitățile fiecărui segment de stradă utilizând metodologia propusă de Transport of London prezentată în capitolul 3.

Ca urmare a analizei realizate, am identificat următoarele disfuncțiuni majore:

- Capacitate de circulație redusă mai ales pe străzile secundare din centrul istoric, dar și în cartierele de locuințe colective;
- Reducerea capacității unor străzi ca urmare a transformării unor părți din carosabil în parcări longitudinale;
- Capacitate de circulație redusă pe străzile care alimentează cartierele noi de locuințe;
- Multiple intersecții, pentru care nu sunt respectate constrângerile de flux conform metodelor Ford-Fulkerson, prezentate în capitolul 4.

5.3.2 Analiza mobilității și a eficienței transportului public

Astfel, s-a făcut identificarea și parametrizarea detaliată a rețelei stradale:

- rețeaua stradală a fost definită ca graf și bază de date pentru modelarea matematică a traficului. Acestea reprezintă harta de bază și suportul de prezentare pentru traficul simulat;
- rețeaua de transport public și stațiile au fost definite ca graf și reprezentate pe harta de bază;
- s-au identificat principalele obiective generatoare de trafic (administrație, instituții de educație și sănătate, centre/zonă comerciale și de servicii, zone industriale, zone de agrement și recreere etc.);
- s-au integrat în baza de date, datele de trafic colectate și datele de trafic din PUG-ul municipiului Oradea;
- Datele de trafic colectate au fost integrate în ArcGIS cu date de trafic în timp real World Traffic Services, furnizate de Esri prin intermediul Living Atlas.

De asemenea, am adaptat modelul matematic definit de Verbavatz și Barthelemy și l-am aplicat pe datele de trafic din municipiul Oradea pentru a modela și simula alegerea de călătorie a populației orașului și a satelor din jur. Pe baza analizei de rețea, a analizei traficului și a simulării de călătorie, se pot determina cu ușurință elementele care generează aglomerație de trafic în interiorul orașului. (Droj , et al., 2022)

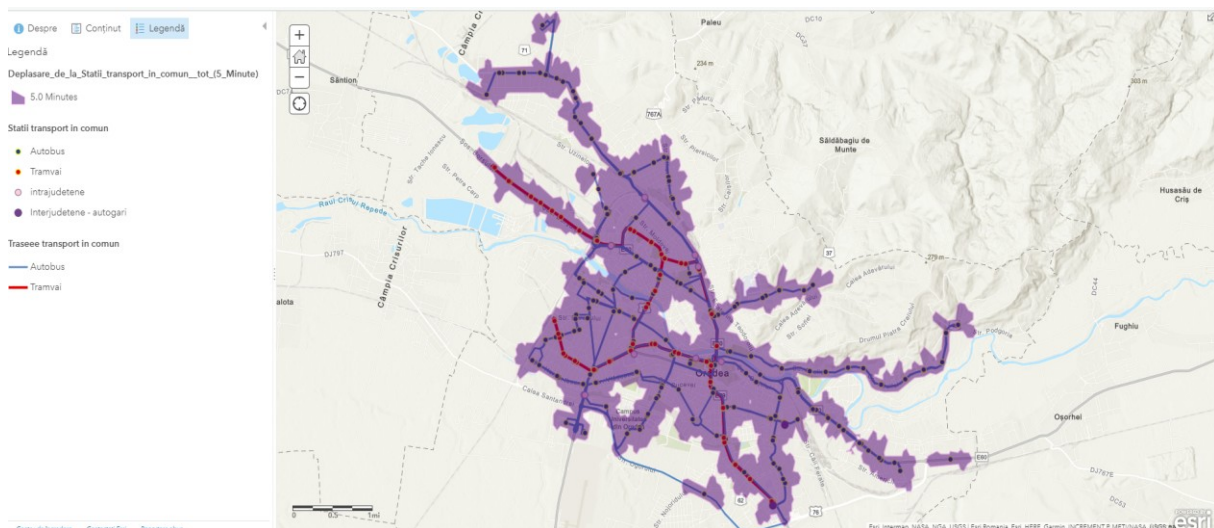


Figura nr 14 Zone accesibile în 10 minute de la stațiile de transport în comun(Droj , et al., 2022)

Pentru a evalua acoperirea transportului public, efectuăm o analiză de servicii pentru a determina zona accesibilă de la o stație de transport public sau la o stație de transport public. Această analiză a rețelei a fost făcută luând în considerare următorii parametrii: deplasarea pe jos și timpul de deplasare 10 minute. Rezultatul analizei este o zonă de poligon care poate fi atinsă într-o perioadă de timp de cinci minute până la o stație de transport public. Zonele generate au fost îmbinate pentru a unifica rezultatele.

Prin suprapunerea hărții create pentru accesibilitatea transportului public cu datele de trafic în timp real, furnizate de Esri prin Living Atlas World Traffic Services putem observa aglomerațiile extinse de trafic din zona centrală a orașului, zonă fără transport public.

În figurile următoare, este prezentată o analiză a traficului, cu date de trafic în timp real, care a subliniat blocajele de trafic din centrul orașului din cauza indisponibilității transportului public, în perioadele în care copiii merg și ies de la școală.

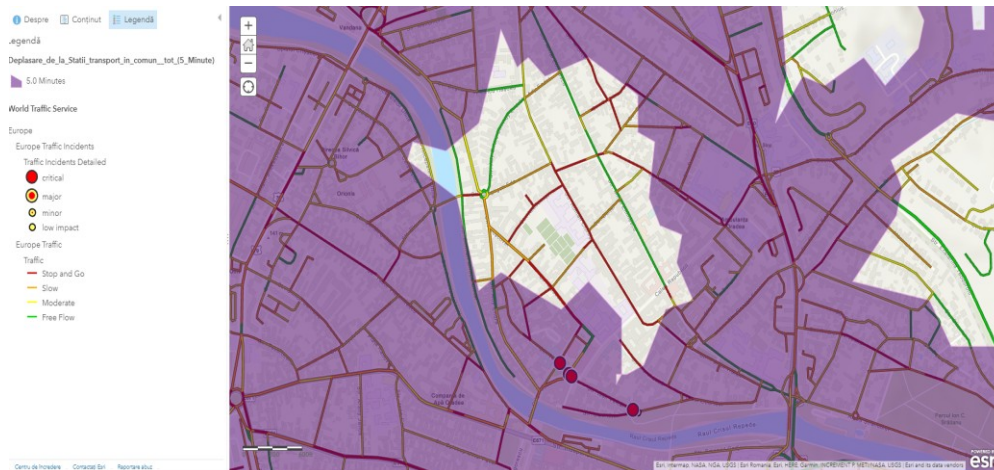


Figura nr 15 Blocaje de trafic în zona centrală datorită inaccesibilității mijloacelor de transport 4.06.ora ora 14, (Droj, et al., 2022)

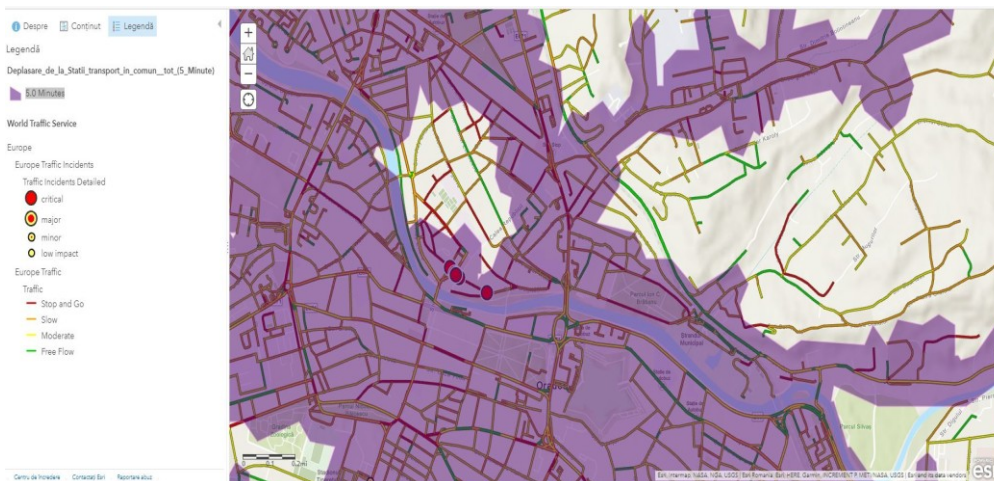


Figura nr 16 Blocaje de trafic în zona centrală datorită inaccesibilității mijloacelor de transport 17.05.ora 17, (Droj, et al., 2022)

În figurile de mai sus, am evidențiat zonele fără acces facil la mijloacele de transport în comun și probleme de congestionare a traficului în aceste zone și pe străzile adiacente. Alegerea modului de deplasare este dată nu numai de accesibilitatea mijloacelor de transport în comun, ci și de costul deplasării, în special pentru părinții care trebuie să-i ducă pe copii la școală înainte de a merge la serviciu.

Pentru estimarea duratei de călătorie, s-a considerat că ambele puncte de plecare și de sosire sunt situate într-un cartier acceptabil cu transport public, cu un timp mediu de mers de la fiecare punct până la cea mai apropiată stație de 10 minute. Timpul de așteptare în orele de vârf a fost estimat la 10 minute pentru Oradea și 25 de minute pentru Zona Metropolitană Oradea.

După cum se vede în tabelul de mai jos, timpul necesar deplasării cu mașina în perioada de vârf reprezintă jumătate din timpul necesar deplasării cu mijloace de

transport în comun atât în ZMO, cât și în municipiul Oradea, chiar dacă ambele puncte de plecare și sosire se află la o distanță acceptabilă de stații de transport.

	Populația	Suprafața (kmp)	Distanța medie(km)	Indicele de trafic	Timpul t_{PT} (minute)	Timpul t_m (minute)
ZMO	350000	773	15,69	45,00%	92,07	54,60
Oradea	250000	125	6,30	55,00%	48,92	23,47

Tabelul nr. 4 Simularea timpilor de deplasare

5.3.3 Analiza aplicabilității tehnologiei GIS în urmărirea traficului și a congestiei pe perioada derulării lucrărilor de construcție a infrastructurii rutiere

Orașele din întreaga lume se extind având impact asupra creșterii mobilității populației, care generează o escaladare a problemelor de trafic: congestii, ambuteiaje, accidente dar și cu efecte indirecte, cum ar fi poluarea.

Prin prezentul studiu, am propus analiza impactului investiției realizării pasajului Gh. Magheru asupra traficului și a zonei adiacente, prin analize de trafic repetate, utilizând datele de trafic în timp real, furnizate de Esri prin Living Atlas World Traffic Services, respectiv de Google Maps. În figura următoare, este reprezentat rezultatul analizei de trafic generat în Oradea în data de 7 noiembrie 2019, la ora 14, cu o zi înainte de inițierea restricțiilor de circulație pe strada Magheru, din cauza lucrărilor de construcție pentru realizarea pasajului subteran (începute în 15 noiembrie 2019).



Figura nr 17 Trafic în Oradea , 7 Noiembrie 2019 ora 14 (Droj, et al., 2023)

În vederea urmării traficului pe perioada lucrărilor de construcție, am realizat analize de trafic repetate, prin suprapunerea informațiilor privind datele de trafic în timp real, furnizate de Esri prin Living Atlas World Traffic Services, respectiv de Google Maps cu imagini orthofoto ale municipiului Oradea.

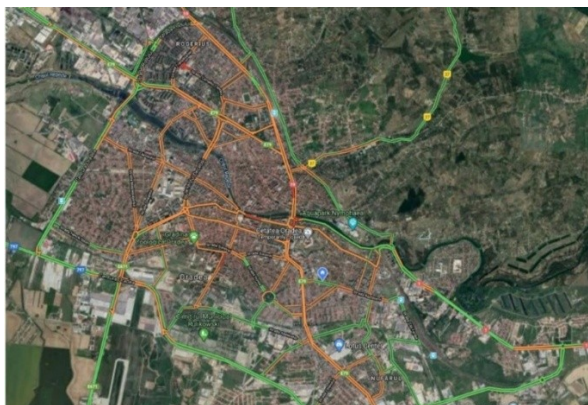


Figura nr 18 Trafic tipic în Oradea , februarie 2020 ora 14 (Droj, et al., 2023)

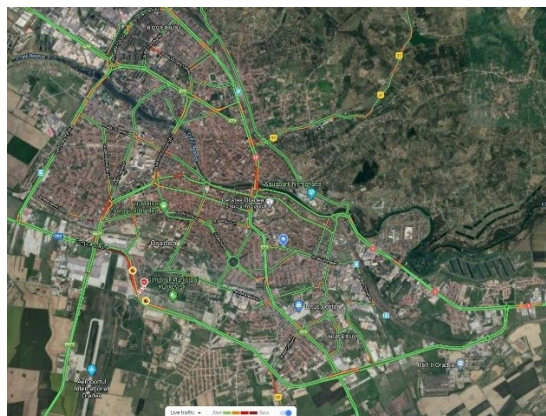


Figura nr 19 Traficul în Oradea în 29 aprilie 2020 la ora 14 (Droj, et al., 2023))

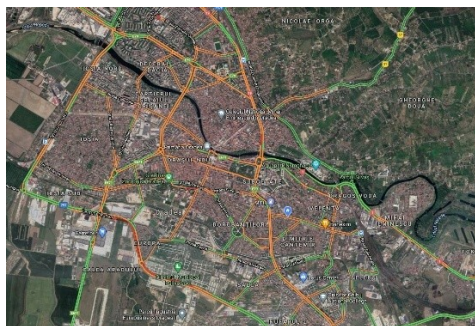


Figura nr 20 Traficul în Oradea în 17 septembrie 2020 la ora 8.00 (Droj, et al., 2023)

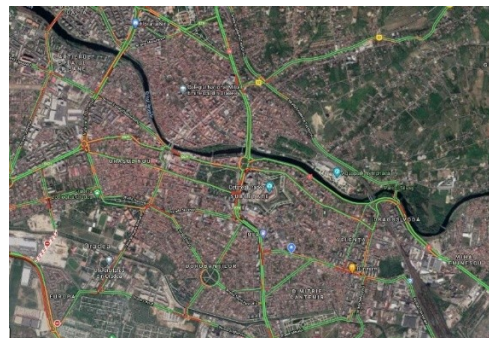


Figura nr 21 Traficul în Oradea în 26 octombrie 2020 la ora 14 (Droj, et al., 2023)



Figura nr 22 Traficul în Oradea în 17 mai 2021 la ora 14 (Droj, et al., 2023)

După cum se poate observa, în figura de mai sus, situația traficului în 17 mai 2021 la ora 14, prezintă congestiunea traficului pe tot tronsonul străzii Gh. Magheru.

5.3.4 Modelarea predictivă a fluxurilor de trafic și microsimularea dinamică a rețelei rutiere: Studiu de caz comuna Sântandrei

În această secțiune cercetarea se concentrează exclusiv asupra Comunei Sântandrei, parte integrantă a ZMO, unitate administrativ-teritorială care prezintă cele mai severe disfuncționalități de mobilitate din întreg arealul metropolitan, cauzate de ritmul accelerat de urbanizare și densificarea fondului construit. Diagnoza suportului fizic relevă un sistem profund auto-centric și dezechilibrat. Rețeaua stradală a comunei, cu o lungime de 114 km structurată pe axa DJ 797, prezintă constrângeri geometrice majore (rigole deschise) și noduri critice de congestie (Mega Image, Palota) care au atins pragul de saturație. Această presiune rutieră este dublată de o vulnerabilitate sistemică a alternativelor de mobilitate: infrastructura pietonală și velo este fragmentată, iar transportul public metropolitan rămâne necompetitiv din cauza frecvenței reduse și a lipsei prioritizării în trafic.

Modelarea digitală a grafului de transport și microsimularea în SUMO

Pentru a trece de la o analiză statică a datelor la o înțelegere dinamică a modului în care funcționează rețeaua de transport a comunei Sântandrei, a fost dezvoltat un model de microsimulare a traficului utilizând platforma open-source SUMO (Simulation of Urban MObility). (Lopez, et al., 2018) SUMO este un pachet software de simulare microscopică și continuă a traficului rutier multi-modal. Acesta permite modelarea sistemelor de management al traficului, a comportamentului vehiculelor și a interacțiunilor acestora pe o rețea rutieră detaliată.

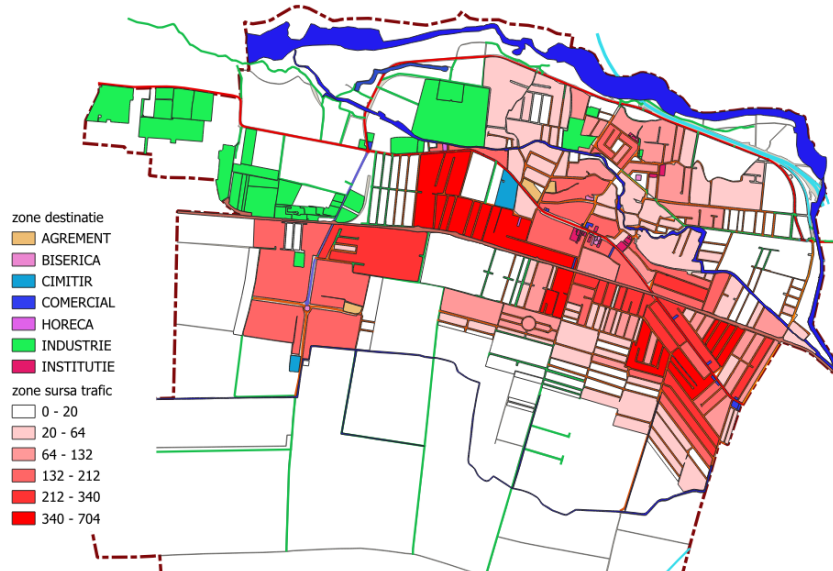


Figura nr 23 Sursa și destinația traficului - comuna Sântandrei

Modelul de transport utilizat are ca an de bază anul 2025 și reproduce digital rețeaua de transport a comunei. Construcția modelului a implicat definirea a două componente principale: rețeaua fizică și cererea de transport.

- **Structura Grafului:** Rețeaua de transport a fost modelată topologic sub formă de arce (595 segmente) și noduri (1254 intersecții), fiecărui element fiindu-i

asociate caracteristici tehnice riguroase: capacitate, viteze de proiectare, restricții de manevră și tipul îmbrăcăminte rutiere.

- **Cererea de transport:** S-a generat o matrice Origine-Destinație (O-D) distribuită în 485 de zone de analiză, identificând 257 de surse rezidențiale și 228 de destinații economice/sociale. În Figura nr 23 este reprezentată cererea de transport. Estimarea potențialului de emisie rutiere al fiecărui cvartal a fost realizată prin corelarea numărului de unități locative cu indicatorii locali ai densității parcului auto, permițând realizarea unei ierarhizări spațiale a surselor de trafic.
- **Calibrarea modelului:** S-a efectuat un recensământ de trafic în anul 2025, utilizând puncte de recenzie strategice amplasate în intersecțiile critice de pe artera DJ 797. Datele colectate au inclus volumele de trafic agregate pe intervale de 15 minute, cu o clasificare detaliată a vehiculelor (autoturisme, vehicule comerciale ușoare și trafic greu). Datele rezultate din recensământ au fost introduse în platforma de modelare ca puncte de control. Calibrarea a presupus o procedură iterativă de ajustare a ponderilor în matricea Origine-Destinație și finisarea parametrilor de rețea.

Odată calibrat, modelul a fost utilizat pentru a simula condițiile de trafic din ora de vârf de dimineață. Modelul de transport calibrat pentru situația a fost utilizat pentru prognoza traficului, pentru a simula scenariile de dezvoltare demografică și a gradului de motorizare, generând hărți de solicitare pentru orizonturile de timp viitoare 2030 și 2040. Analiza predictivă pentru orizonturile 2030 (Figura nr 24) și 2040 (Figura nr 25) demonstrează vizual fenomenul de paralizie a rețelei în scenariul „business as usual” (fără intervenții structurale).



Figura nr 24 Viteza medie de deplasare în rețea ora de vârf dimineață simulare 2030 - harta realizată cu SUMO



Figura nr 25 Viteza medie de deplasare în rețea ora de vârf dimineață simulare 2040 - harta realizată cu SUMO

Modelul evidențiază propagarea blocajelor de la arterele radiale către întreaga rețea de deservire locală, validând necesitatea urgentă a măsurilor corective propuse în PUG: realizarea centurii de ocolire Sud, optimizarea conexiunii cu Drumul Expres (DEx)

Arad-Oradea și implementarea sistemului tram-train pentru transferul modal al navetiștilor.

5.4 Studii de fundamentare privind protecția mediului și riscurile antropice

5.4.1 Analiza multicriterială a accesibilității spațiilor verzi: Studiu comparativ între modelarea izotropă și analiza de rețea

Accesibilitatea populației la infrastructura verde constituie un indicator esențial pentru sănătatea publică și reziliența urbană. În acest context, un element central în studiile de fundamentare privind protecția mediului îl constituie Registrul Local al Spațiilor Verzi, instrument reglementat prin Ordinul nr. 1466/2010 al MDRT (Ministerul Dezvoltării Regionale și Turismului, 2010).

Analiza datelor furnizate de Primăria Municipiului Oradea (2019) relevă o suprafață totală de 534 ha, echivalentul a 24,19 m²/locuitor. Deși această valoare pare să se apropie de norma națională de 26 m²/locuitor, am identificat un fenomen de „inflație statistică” prin includerea unor zone care nu îndeplinesc funcții recreative active (terenuri agricole extravilane, zone de protecție tehnică sau terenuri private cu acces restricționat).

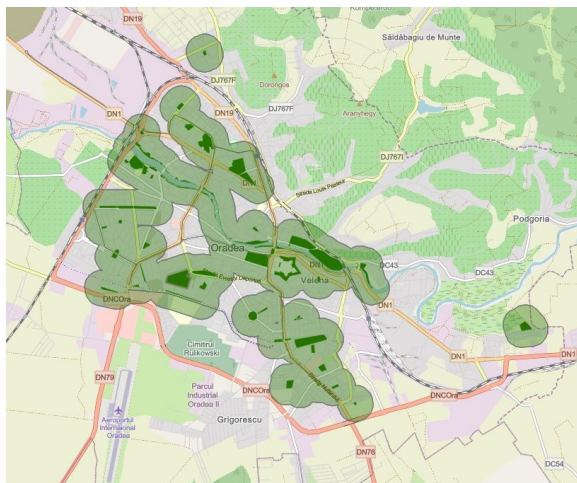


Figura nr 26 Analiza de proximitate pentru spațiile verzi publice din Oradea (Droj, et al., 2021)

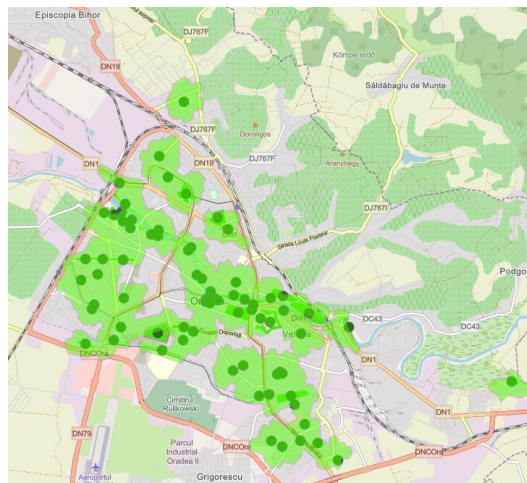


Figura nr 27 Zonele din care spațiile verzi destinate recreerii se pot accesa în 5 minute (Droj, et al., 2021)

Politica urbană modernă (conceptul „orașului de 15 minute”) urmărește limitarea timpului de deplasare pietonală la maximum 5 minute (aprox. 300 m) până la un spațiu verde public. Pentru a testa eficiența distribuției actuale din Oradea, am utilizat comparativ două metodologii geospațiale:

1. **Modelarea prin zone tampon (Buffer):** Reprezintă o abordare de tip izotrop, bazată pe distanța euclidiană (aeriană). Această metodă generează un câmp spațial circular în jurul poligoanelor de spațiu verde (Figura nr 26). Deși oferă o

imagine de ansamblu rapidă, este marcată de un grad ridicat de abstractizare, ignorând barierele fizice (râuri, căi ferate, garduri) și configurația rețelei rutiere.

2. **Analiza zonei de serviciu (Service Area):** Reprezintă o abordare de tip anizotrop, bazată pe teoria grafurilor și algoritmul lui Dijkstra. Implementată prin instrumentul Network Analyst, această metodă calculează accesibilitatea pe rețeaua stradală reală, luând în considerare topologia căilor de comunicație și barierele de trafic (Figura nr 27).

Rezultatele obținute prin suprapunerea celor două metode (Figura nr 28) evidențiază o diferență spațială semnificativă. Arealul determinat prin zone tampon este considerabil mai vast, inducând o percepție falsă de „bună deservire”. În contrast, analiza zonei de serviciu (5 minute de mers pe jos) relevă zone de „umbră” sau „deșerturi verzi” – cartiere unde, deși există un parc în apropiere metrică, lipsa conectivității rutiere sau barierele infrastructurale fac imposibil accesul facil al rezidenților.

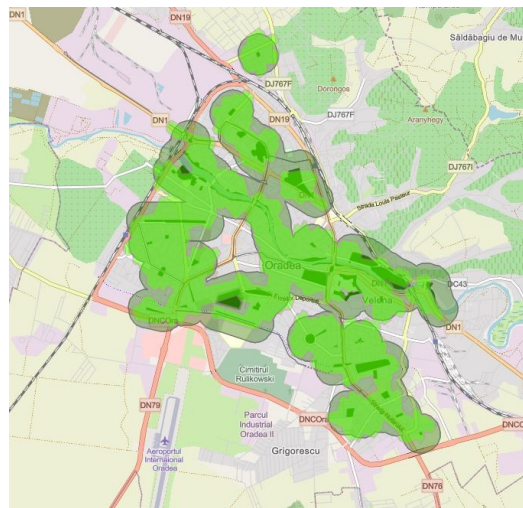


Figura nr 28 Reprezentarea suprapusă comparativă a celor 2 metode (Droj, et al., 2021)

5.4.2 Utilizarea teledetecției satelitare în monitorizarea riscurilor antropice și a calității aerului: Studiu de caz - Impactul pandemiei COVID-19 în Municipiul Oradea

În cadrul acestui studiu de caz am analizat modalitatea de utilizare și integrarea imaginilor satelitare în GIS, în vederea analizei calității a aerului pe perioada pandemiei COVID, monitorizarea vegetației și urmărirea extinderii urbane și a schimbărilor în utilizarea terenurilor pentru a identifica creșterea arealului construit în municipiului Oradea și impactul acesteia asupra mediului.

Analiza calității aerului și a prezenței aerosolilor (particule solide și lichide suspendate, provenite din surse naturale sau antropice, inclusiv traficul rutier) a fost realizată prin fuziunea a două surse de date complementare:

1. Date multispectrale Sentinel-2 (ESA Copernicus): Utilizate pentru analiza calitativă a transmitanței atmosferice prin combinații specifice de benzi. (European Space Agency, 2023)
2. Date de reanaliză MERRA-2 (NASA EOS): Utilizate pentru extragerea indicatorului AOT și estimarea concentrației masei la suprafață a particulelor fine (PM2.5). Deși observațiile satelitare implică un grad de incertitudine cauzat de contaminarea cu nori sau variații radiometrice, acestea constituie singura sursă de monitorizare continuă în absența accesului la datele senzorilor de sol. (Buchard, et al., 2016)

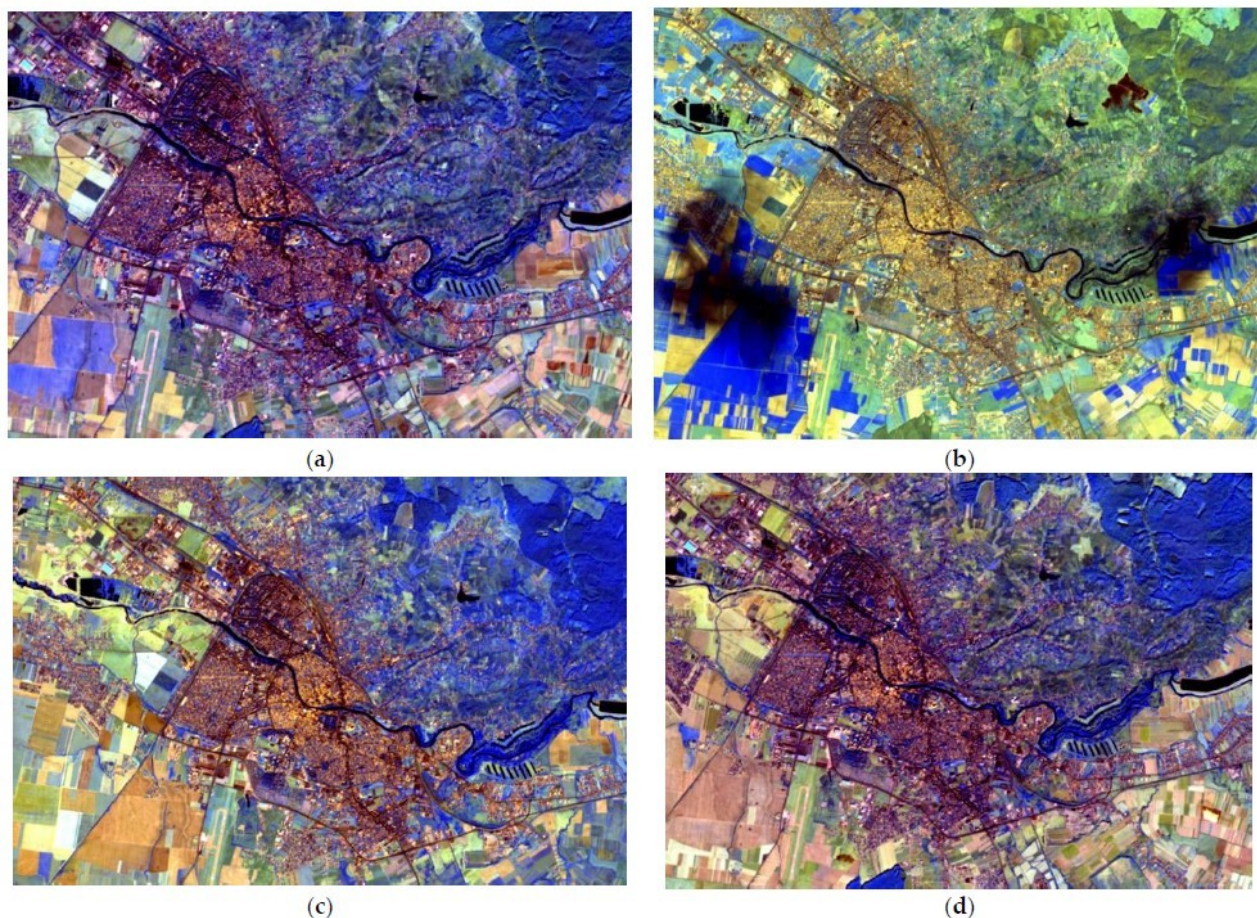


Figura nr 29 Penetrarea atmosferică (a) Februarie 2020, (b) Aprilie 2020, (c) Septembrie 2020, și (d) Octombrie 2020

Pentru a evalua impactul restricțiilor de mobilitate din perioada pandemiei COVID-19 asupra atmosferei urbane, am examinat patru perioade critice ale anului 2020: pre-carantină (februarie), carantină totală (aprilie), post-carantină (septembrie) și reluarea activităților (octombrie).

- Penetrarea Atmosferică (Compoziția SWIR2-SWIR1-NIR): Această combinație (Figura nr 29) utilizează lungimi de undă care penetrează particulele fine de fum și ceață. O analiză comparativă relevă o claritate superioară a imaginii în aprilie 2020, fapt ce indică o reducere semnificativă a dispersiei cauzate de aerosolii antropici în plină perioadă de restricții.

- Eliminarea efectului atmosferic (Compoziția SWIR2-NIR-Green): Rezultatele prezentate în Figura nr 30 confirmă ipoteza anterioară. Transmitanța atmosferică ridicată înregistrată în aprilie 2020 este corelată direct cu diminuarea emisiilor provenite din transportul rutier și activitățile industriale, oferind o referință vizuală pentru un scenariu de „atmosferă curată”.

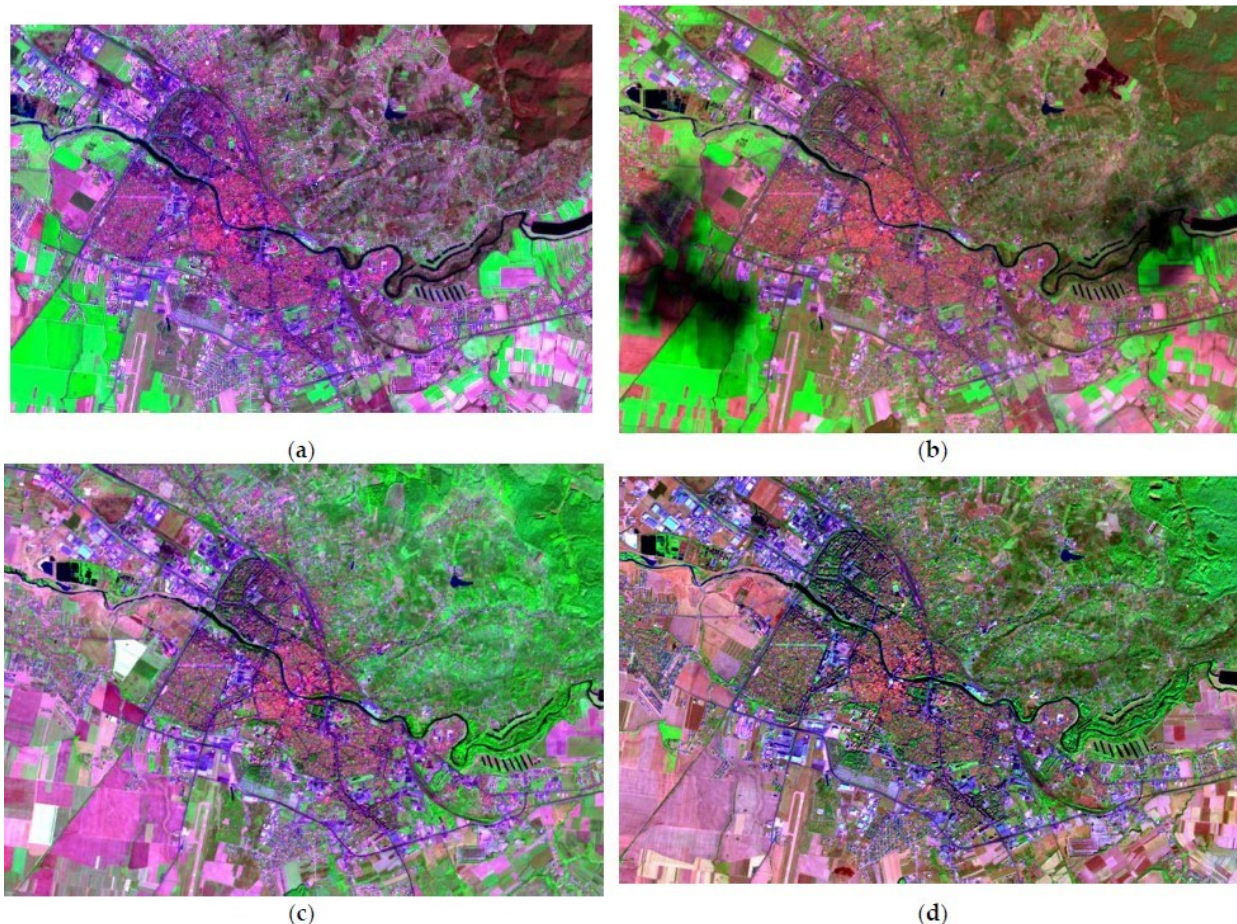


Figura nr 30 Eliminarea efectului atmosferic (a) Februarie 2020, (b) Aprilie 2020, (c) Septembrie 2020, și (d) Octombrie 2020

Pentru o evaluare riguroasă, am utilizat modelul de calcul al masei de suprafață a particulelor (PM), cu diametrul de $2,5 \mu\text{m}$ ($1,0 \mu\text{m}$) sau mai puțin numit $\text{PM}_{2.5}$, furnizat de platforma MERRA-2.

Analiza seriei temporale (ianuarie 2019 – ianuarie 2022) calculată cu Giovanni și reprezentată în Figura nr 31 evidențiază o scădere drastică a valorilor $\text{PM}_{2.5}$ în primăvara anului 2020. Această anomalie negativă coincide cu perioada de carantină, demonstrând impactul direct al reducerii traficului urban asupra calității aerului în municipiul Oradea. (NASA, fără an)

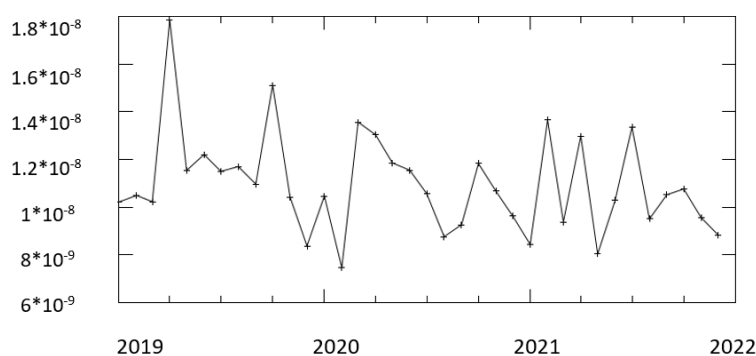


Figura nr 31 Concentrația masei la suprafață de PM 2,5 pentru Oradea, analizată lunar pentru perioada ianuarie 2019–ianuarie 2022 (Droj, et al., 2023)

În interpretarea tendințelor calității aerului, s-a avut în vedere faptul că dispersia poluanților este condiționată nu doar de volumul emisiilor, ci și de variabilele meteorologice (viteza vântului, umiditatea relativă și înălțimea stratului limită). Totuși, scăderea drastică a valorilor PM2.5 înregistrată în aprilie 2020 (Figura nr 31) prezintă o magnitudine care depășește variațiile sezoniere climatice obișnuite pentru regiune.

Studierea impactului pandemiei COVID-19 prin tehnici de teledetecție a reconfirmat necesitatea infrastructurilor de date spațiale ca instrumente de management al crizelor. Rezultatele demonstrează că:

- Datele satelitare depășesc limitările senzorilor ficși, oferind o acoperire spațială continuă asupra întregului areal construit;
- Corelația dintre mobilitate și poluare este cuantificabilă prin indici AOT și modele de reanaliză, oferind decidenților o bază științifică pentru planificarea zonelor cu emisii scăzute;
- GIS-ul devine o platformă integratoare, capabilă să proceseze date de la NASA și ESA pentru a genera indicatori de mediu esențiali în elaborarea studiilor de fundamentare prospective ale PUG-ului.

5.4.3 Identificarea zonelor cu vulnerabilitate ecologică prin indici spectrali (NDVI, NDWI).

În cadrul acestui studiu, am implementat un protocol de analiză bazat pe corelarea vigorii vegetative (NDVI) și a conținutului de umiditate (NDWI) utilizând serii temporale Sentinel-2, cu la o rezoluție de 10 metri, pentru intervalul 2017–2025, prelucrate în QGIS (Quantum GIS). În vederea evidențierii modificărilor survenite asupra zonelor verzi și în vederea facilitării analizei am determinat indicele normalizat de diferențiere a vegetației NDVI pentru imaginile satelitare Sentinel2. Indicele NDVI capitalizează contrastul dintre absorbția puternică a radiației în banda roșie (RED) de către clorofilă și reflexia ridicată în infraroșul apropiat (NIR) de către structura celulară a frunzelor. Pentru Municipiul Oradea, am calculat NDVI utilizând benzile 4 și 8 ale senzorului Sentinel-2 conform formulei (1).

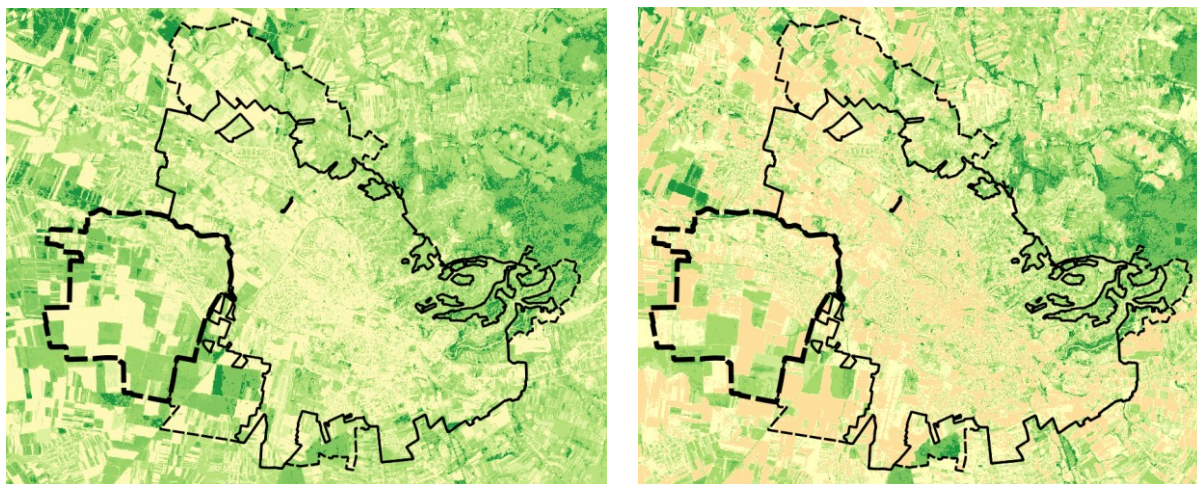


Figura nr 32 NDVI 11 iulie 2017 Sentinel 2 comparativ cu NDVI 21 iulie 2025 Sentinel 2

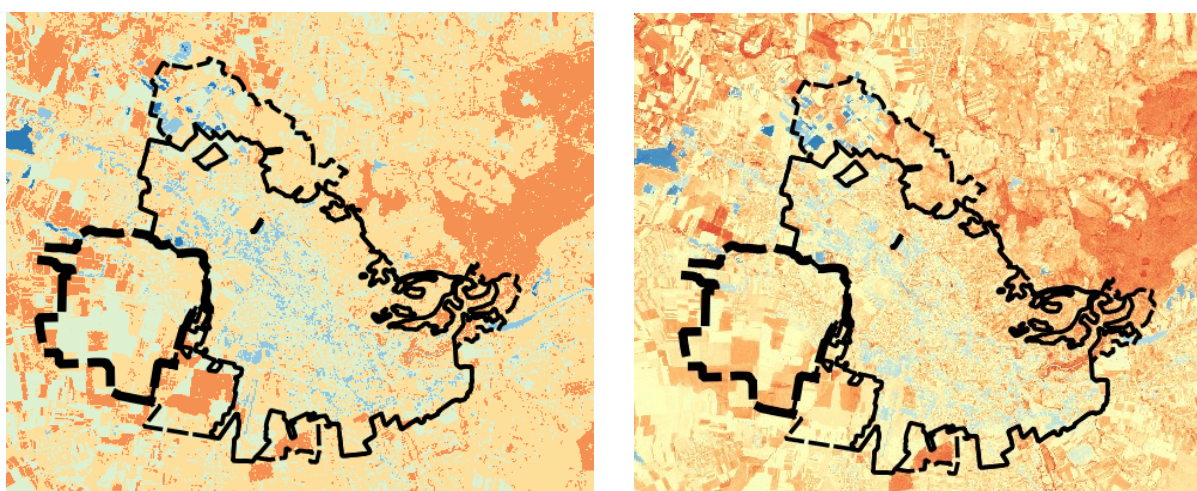


Figura nr 33 NDWI 11 iulie 2017 Sentinel 2 comparativ NDWI 21 iulie 2025 Sentinel 2

Pentru a decupla efectul secetei de cel al urbanizării reale, am introdus în modelul de analiză indicele normalizat de diferență a apei (NDWI). Pentru a izola acest fenomen, s-a calculat NDWI conform formulei 2. Utilizarea benzii de infraroșu cu undă scurtă (SWIR) a permis cartografierea stresului hidric la nivelul coronamentului.

Pentru a evidenția expansiunea reală a arealului construit în detrimentul spațiilor verzi, am generat imaginea diferență, Δ NDVI, prin operația de scădere pixel-cu-pixel între momentele de referință. În timp ce zonele afectate de secetă prezintă o scădere uniformă și moderată a valorilor, zonele de urbanizare recentă (periferia vestică a municipiului, zonele industriale noi) apar ca anomalii negative extreme, reprezentate cu roșu. (Figura nr 34).

Utilizarea combinată a indicilor NDVI, NDWI și Δ NDVI transformă GIS-ul dintr-un instrument de vizualizare într-un sistem de diagnostică de înaltă precizie. Rezultatele demonstrează că:

- Simpla raportare a suprafețelor verzi fără analiza stresului hidric (NDWI) poate conduce la politici publice eronate.

- Harta diferenței permite prioritizarea programelor de reîmpădurire urbană în zonele identificate ca „anomalii negative”, asigurând compensarea ecologică a noilor proiecte de infrastructură.
- Integrarea acestor indici în gemenul digital al municipiului Oradea permite autorităților să monitorizeze conformitatea cu strategiile „Oradea Oraș Verde” în mod automatizat și obiectiv.

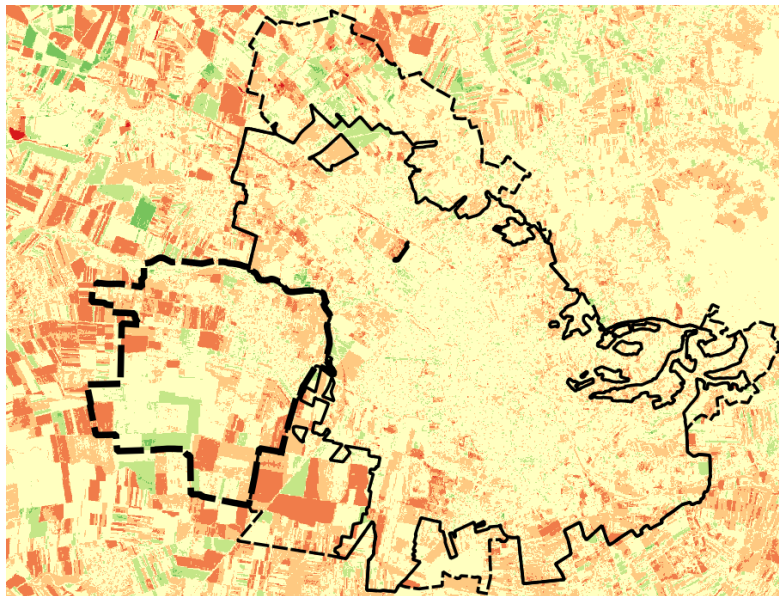


Figura nr 34 Imaginea diferență dintre NDVI 2017 și 2025

5.4.4 Analiza insulei de căldură urbane la nivel de cartier

Pentru analiza insulei de căldură urbană, am introdus în model Indicele de Construcție (NDBI) pentru a identifica precis suprafețele impermeabilizate și densitatea fondului construit. NDBI utilizează contrastul de reflectanță dintre banda de infraroșu cu undă scurtă (SWIR) și infraroșu apropiat (NIR):
$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$$

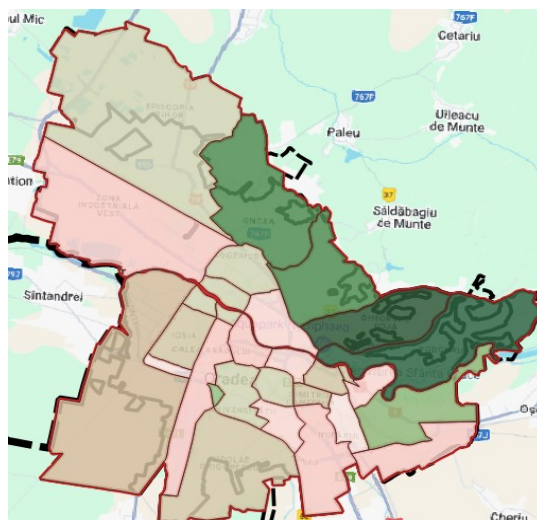


Figura nr 35 Analiza insulelor de căldură urbană

Valorile ridicate ale NDBI indică o concentrare masivă de materiale de construcție (beton, asfalt, ceramică), elemente care prezintă o capacitate ridicată de retenție termică și un albedo scăzut. Utilizând limitele administrative ale cartierelor din Oradea ca strat de agregare, am calculat valorile medii ale ambilor indici (NDVI și NDBI) pentru fiecare sector în parte.

Pentru a evidenția interdependența spațială dintre mediul construit și cel natural, am implementat o tehnică de vizualizare hibridă, suprapunând gradientul de presiune antropică (NDBI pe scara roșu) cu gradientul de reziliență verde (NDVI pe scara verde), utilizând un coeficient de opacitate de 50%, clasificând teritoriul în funcție de vulnerabilitatea la fenomenul de insulă de căldură urbană (Figura nr 35):

- Verde Intens (NDVI ridicat / NDBI scăzut): Identifică zonele de reziliență ecologică maximă
- Roșu Intens (NDVI minim / NDBI maxim): Delimitează punctele critice sau „Hot Spots” termice.
- Nuanțe de Tranziție (Galben/Maro): Reflectă zonele de echilibru fragil, unde densitatea construită începe să sufocă spațiile verzi reziduale, indicând areale unde este necesară implementarea urgentă a unor politici de tip „Nature-Based Solutions”.

Această metodologie demonstrează că fuziunea dintre NDVI și NDBI prin statistici zonale constituie un indicator proxy robust pentru analiza insulelor de căldură urbană. Aceasta permite administrației locale să prioritizeze intervențiile de regenerare urbană nu doar pe baza unor criterii estetice, ci pe baza riscului climatic real. Astfel, GIS-ul devine instrumentul prin care se asigură trecerea de la un management urban reactiv la unul proactiv, orientat către neutralitatea climatică și creșterea rezilienței urbane.

5.5 Studii de fundamentare predictive și suport decizional

5.5.1 Aplicarea analizei spațiale multicriteriale (SMCDA) pentru identificarea zonelor optime de investiție

Procesul decizional în managementul urban și regional contemporan este marcat de o complexitate structurală, generată de interdependența unor factori eterogeni: economici, ecologici, legali și tehnici. În vederea fundamentării obiective a viitoarelor direcții de expansiune rezidențială, prezenta cercetare operaționalizează cadrul metodologic al analizei multicriteriale spațiale, transformând sistemul informațional geografic dintr-o metodă de vizualizare într-un instrument activ de inginerie a spațiului, capabil să medieze între necesitățile de dezvoltare și constrângerile teritoriale.

Procesul analitic a fost structurat conform diagramei de flux (Figura nr 36), parcurgând etapele de achiziție, standardizare, ponderare și sinteză prin operații de geoprosesare. Modelul funcționează pe baza unei logici de filtrare succesivă, unde teritoriul municipiului Oradea este supus unor seturi de constrângeri și factori de oportunitate. Pentru operaționalizarea fluxurilor metodologice și realizarea analizelor complexe de

geoprocesare, s-a optat pentru utilizarea mediului software QGIS (Quantum GIS), versiunea 3.40 LTR. Alegerea acestei platforme s-a datorat abilității acesteia în gestionarea fluxurilor de date eterogene și de capacitatea sa de a integra biblioteci algoritmice avansate, esențiale pentru procesările de tip raster și analiză spațială.

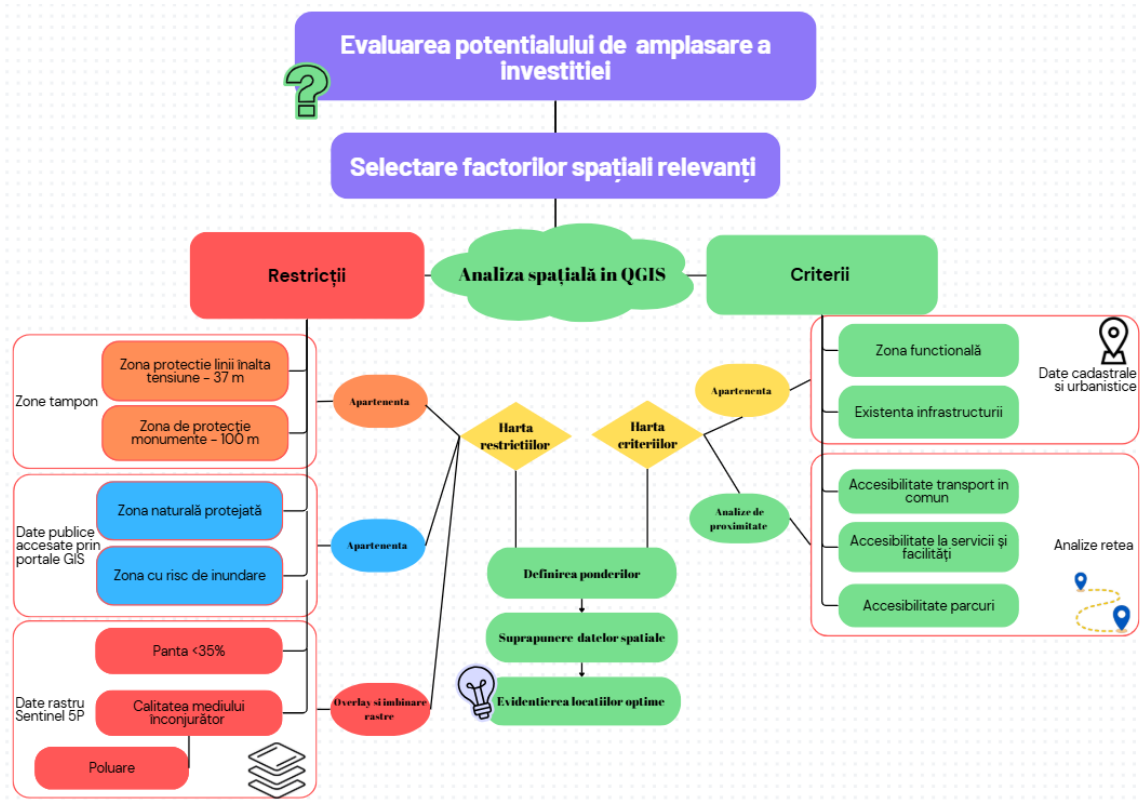


Figura nr 36 Diagrama de flux a analizei spațiale

Prima etapă a constat în delimitarea zonelor non edificabile, unde investițiile rezidențiale sunt interzise prin lege, necesită reglementări suplimentare sau prezintă riscuri majore:

- Arii protejate și situri naturale: Protecția biodiversității și a integrității ecosistemice (Figura nr 37).
- Zone de risc la inundație: Utilizarea hărților de hazard pentru eliminarea arealelor vulnerabile din lunca Crișului Repede (Figura nr 38).
- Constrângeri geomorfologice: Filtarea terenurilor cu pante superioare pragului de 35°, unde costurile de construcție și riscurile de instabilitate a versanților devin critice.
- Culoare tehnice (linii de înaltă tensiune): Buffer-e de siguranță electromagnetică pentru protejarea sănătății publice pe o distanță de 37 m de la linie.
- Zone de protecție a monumentelor istorice: Conservarea identității culturale prin restricționarea și reglementare modalităților construire în perimetrele de protecție ale patrimoniului arhitectural.



Figura nr 37 Arii protejate

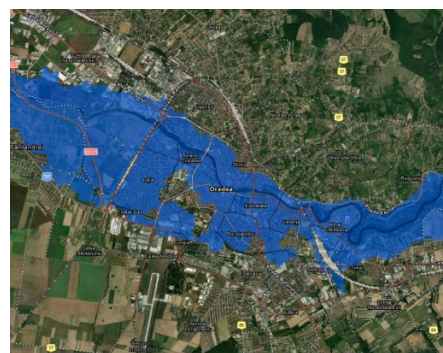


Figura nr 38 Riscul de inundații

Pentru a obține o viziune unitară asupra acestor limitări, reprezentată în figura de mai jos, am utilizat o metodologie de agregare topologică succesivă, structurată astfel:

- Prin operații de buffer s-au determinat zonele de protecție.
- Straturile raster (zone inundabile și pante $>35^\circ$) au fost vectorizate automat.
- Straturile eterogene menționate anterior au fost supuse unei operații de reuniune topologică (*Union*). Acest proces a permis fuziunea tuturor geometriilor de restricție într-un singur strat de date, păstrând totodată complexitatea limitelor specifice fiecărei constrângeri.
- Ulterior unificării, s-a aplicat algoritmul de dizolvare a barierelor interne (*Dissolve*) bazat pe atributul de restricție. Acest pas a asigurat simplificarea bazei de date prin eliminarea redundanțelor geometrice între zonele care se suprapun (de exemplu, o zonă de protecție a unui monument situată parțial într-o zonă inundabilă), rezultând o geometrie unică și continuă a constrângerilor.

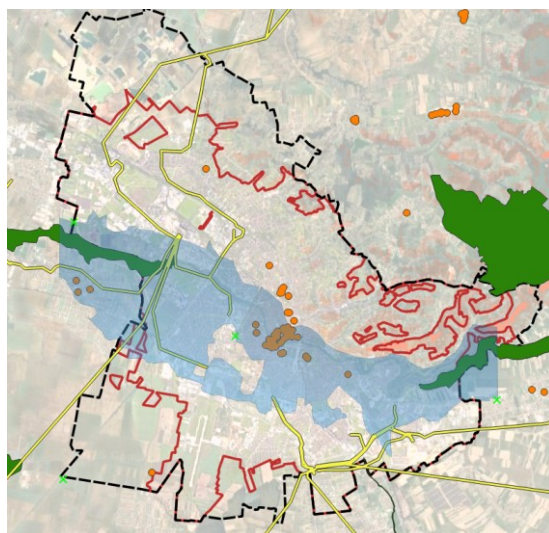


Figura nr 39 Zone cu restricții sau constrângeri asupra regimului construcțiilor

Etapa finală a modelării constrângerilor a constat în aplicarea unui algoritm de diferențiere spațială (operația *Difference*) între limita intravilanului Municipiului Oradea și masca binară a restricțiilor cumulate dezvoltată anterior. Eliminarea tuturor zonelor cu restricții și constrângeri din spațiul destinat urbanizării, rezultând o

geometrie fragmentată ce reprezintă „spațiul de oportunitate reală”, reprezentată în Figura nr 40.

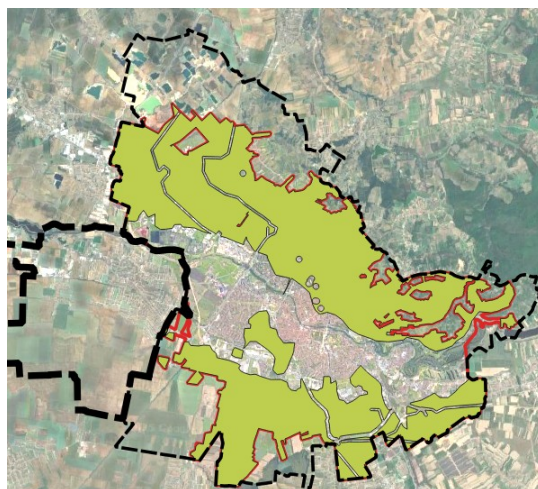


Figura nr 40 Zonele din intravilan fără restricții

Ulterior eliminării zonelor restrictive, suprafața rămasă a fost evaluată prin prisma factorilor de oportunitate, utilizați ca multiplicatori de valoare pentru viitorii rezidenți:

- Accesibilitatea la infrastructura verde: Modelată prin analiza Service Area de 5 minute de mers pe jos (aprox. 300 m), identificând zonele care beneficiază de proximitatea parcurilor. (Figura nr 27)
- Accesibilitatea la rețeaua de transport public: modelată prin analiza Service Area de 10 minute de mers pe jos de stațiile de transport, esențiale pentru reducerea dependenței de autoturismul personal și promovarea mobilității sustenabile. (Figura nr 14)
- Proximitatea față de facilități: Accesul la dotări educaționale, medicale și comerciale.

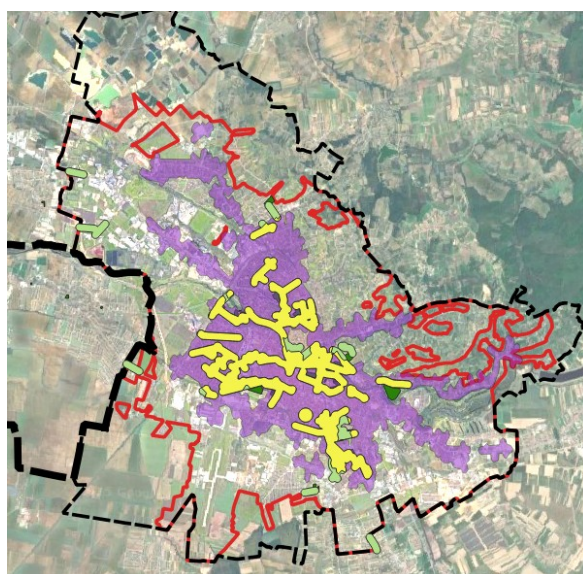


Figura nr 41 Zonele care respectă toate criteriile de accesibilitate

În Figura nr 41 prezentăm zonele care îndeplinesc simultan cele trei cerințe pozitive.

Rezultatul analizei (Figura nr 42) evidențiază arealele care îndeplinesc simultan toate condițiile de studiate:

- Absența restricțiilor și constrângerilor - Terenuri sigure, situate în afara incidenței riscurilor naturale și a restricțiilor constructive.
- Conectivitate ideală - Zone care optimizează timpul petrecut în trafic și maximizează accesul la spații de recreere și la facilități.

Harta evidențiază o ierarhizare spațială a pretabilității, identificând „nucleele de oportunitate” unde densificarea urbană poate fi realizată sustenabil, fără a compromite echilibrul ecologic sau siguranța cetățenilor.

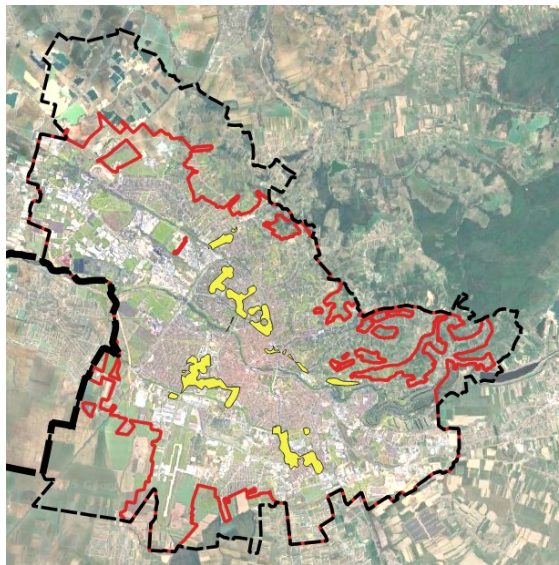


Figura nr 42 Zonele din oraș care îndeplinesc toate criteriile selectate

Analiza multicriterială implementată în acest studiu de caz demonstrează superioritatea planificării bazate pe GIS în raport cu metodele tradiționale de zonificare, oferind următoarele avantaje strategice pentru administrația din Oradea:

- Modelul elimină subiectivismul în procesul de schimbare a regimului de construire.
- Arhitectura modulară permite integrarea ulterioară a unor straturi dinamice suplimentare.
- Rezultatele analizei oferă o bază de negociere și fundamentare pentru noul PUG.

5.5.2 Integrarea sistemelor informaționale geografice și a modelelor de evaluare automată în politicile fiscale locale

Sistemele de evaluare asistată de calculator (CAMA) au fost concepute pentru a determina simultan valoarea unui număr ridicat de proprietăți dintr-o arie geografică (municipiu sau județ) utilizând modele statistice standardizate. Studiile recente subliniază că, prin eliminarea limitărilor nonspațiale, GIS a permis creșterea preciziei evaluărilor, oferind capacitatea de a vizualiza distribuția valorilor și de a identifica

corelații între caracteristicile fizice ale imobilului și contextul său geografic (Demetriou , 2016).



Figura nr 43 Reprezentare schematică a indicatorilor relevanți pentru modelarea hedonică (adaptat după (Ayalke & Sisman, 2022) (Droj, et al., 2024))

Nucleul algoritmilor de evaluare în masă este modelarea hedonică, care presupune descompunerea valorii unei proprietăți într-un set de atribute independente. În cadrul sistemului propus pentru Oradea, modelele hedonice sunt optimizate prin integrarea externalităților identificate prin analiză spațială:

- Externalități pozitive: Proximitatea față de infrastructura verde, rețelele de transport public și punctele de interes (POI) respectiv amplasarea într-un cartier bine cotate sau într-o zonă turistică.
- Externalități negative: Impactul factorilor de poluare fonică, proximitatea față de liniile de înaltă tensiune sau riscurile naturale. GIS joacă un rol vital în evaluarea proprietăților situate în zone vulnerabile, permițând ajustarea valorii de impunere sau a primei de asigurare pe baza hărților de risc.

Din perspectiva administrației locale, AVM-GIS reprezintă un instrument esențial pentru funcționalizarea economiei urbane prin :

1. Asigurarea echității fiscale: Prin utilizarea regresii spațiale (GWR), se elimină inechitățile de la granița zonelor fiscale actuale, unde două proprietăți similare pot avea taxe diferite doar din cauza unei delimitări administrative depășite. Sistemul asigură o corelare justă între povara fiscală și utilitatea reală a amplasamentului, luând în calcul accesul la infrastructură, calitatea aerului și proximitatea față de spațiile verzi.
2. Previzionarea strategică a veniturilor bugetare: Integrarea AVM într-un SDSS conferă administrației din locale capacitatea de a realiza prognoze financiare multi-aniuale.

3. Mecanismul de optimizare și creștere a bazei impozabile cu ajutorul GIS-ului, prin detectarea anomaliilor dintre datele scriptice și realitatea din teren.
4. Valorificarea plus valorii fiscale: dacă administrația crește valoarea terenurilor private prin lucrări de infrastructură rutieră sau utilități, sistemul GIS-AVM cuantifică această plusvaloare, oferind baza legală și tehnică pentru o impozitare adaptivă.

Implementarea eficientă a sistemelor AVM și CAMA este condiționată structural de existența unei arhitecturi de date granulare, capabilă să armonizeze și să proceseze fluxuri informaționale eterogene: cadastrul clădirilor, grafurile de transport, zonificarea funcțională și nomenclatoarele de adrese.

5.6 Sinteza rezultatelor studiului de caz și validarea sistemului informațional ca instrument de suport decizional

Principalele concluzii derivate din operaționalizarea pilonilor de analiză sunt:

1. Sinergia dintre datele economice și structurile cadastrale: Prin utilizarea tehnicilor de data mining spațial și a funcției Ripley's K, s-a demonstrat că performanța economică nu este uniformă, ci puternic polarizată. Fuziunea datelor fiscale cu geometria unităților administrativ teritoriale a permis identificarea precisă a zonelor de vitalitate, oferind administrației capacitatea de a calibra politicile de dezvoltare. Această metodă poate fi extrapolată la nivel urban pentru formularea politicilor de impozitare și de a stimula investițiile, asigurând astfel o echitate fiscală bazată pe realitatea spațială.
2. Eficiența modelării dinamice în gestionarea mobilității: Analiza infrastructurii rutiere prin microsimulare și modelarea predictivă a traficului pentru orizontul 2040 au evidențiat limitele abordărilor statice. Studiul de caz a confirmat faptul că capacitatea sistemului de a genera scenarii de tip „what-if” oferă o bază tehnică pentru prioritizarea marilor proiecte de infrastructură, esențiale pentru menținerea coeziunii metropolitane.
3. Monitorizarea mediului prin teledetecție avansată: Utilizarea seriilor temporale satelitare și a indicilor spectrali corelați (NDVI, NDWI, NDBI) a permis depășirea limitărilor raportărilor administrative clasice. S-a demonstrat că monitorizarea „deșerturilor verzi” și a expansiunii urbane (Change Detection) prin inteligență artificială oferă o imagine neutră și obiectivă asupra degradării ecologice.
4. Optimizarea deciziei prin analiza spațială multicriterială: demonstrează că sistemele informaționale geografice au abilitatea de a automatiza procesul de selecție a terenurilor pentru investiții, garantând respectarea regimului de restricții și maximizarea calității vieții, eliminând totodată subiectivismul arbitrar din procesul de avizare a documentațiilor de urbanism.
5. Studiul a demonstrat că setul minimal de date impus de Ordinul nr. 904/2023 este insuficient pentru un management regional proactiv. Doar prin includerea obiectelor inteligente (senzori IoT), a relațiilor complexe de cardinalitate și a câmpurilor spațiale hibride, sistemul poate evolua către un veritabil geamăn digital al regiunii.

6 Concluzii

Cercetarea desfășurată în cadrul prezentei teze a demonstrat că Sistemele Informaționale Geografice au depășit stadiul de simple instrumente de reprezentare cartografică, devenind infrastructuri critice de inteligență teritorială. Lucrarea a validat ipoteza conform căreia fuziunea dintre rigoarea geodezică și analiza spațială avansată constituie singura bază obiectivă pentru dezvoltarea locală și regională durabilă, precum și demonstrarea faptului că viziunea de Digital Twin al teritoriului poate fi atinsă doar prin convergența simbiotică a patru piloni metodologici:

1. Metode analitice și geospațiale.
2. Modele matematice și geostatistice.
3. Inteligența Artificială (GeoAI).
4. Sinergie pentru suport decizional.

Principalele rezultate obținute confirmă următoarele aspecte:

- Integrarea sistemică a datelor.
- Eficiența modelării dinamice.
- Obiectivitatea decizională.

6.1 Contribuții originale ale autorului

Prezenta lucrare aduce o serie de contribuții teoretice, metodologice și aplicative care fundamentează rolul geodezului modern ca manager al informației geospațiale:

- Stabilirea, pe baza literaturii de specialitate din țară și din străinătate, a metodelor, tehnicilor și algoritmilor utilizați în analiza spațială avansată ca bază obiectivă pentru dezvoltarea locală și regională durabilă.
- Dezvoltarea schemei conceptuale extinse (Figura 13): am propus și validat un model de date care depășește cerințele minimale ale legislației naționale. Integrarea relațiilor de cardinalitate complexă, a ontologiilor de tip moștenire/compoziție și a senzorilor IoT transformă modelul static într-un prim pas pentru un Digital Twin regional.
- Modelarea vitalității economice la nivel de unități teritoriale prin spațial data mining: Integrarea micro-datelor financiare cu unitățile teritoriale de referință reprezintă o abordare inovatoare în planificarea regională, permițând o fiscalitate echitabilă și o zonare bazată pe potențialul economic real. (Droj & Droj , 2019) (Droj, et al., 2020)
- Metodologia de decuplare a zgomotului climatic prin sinergie spectrală: O contribuție originală constă în utilizarea combinată a indicilor NDVI și NDWI pentru a separa efectul secetei de urbanizarea reală, oferind o metodă de auditare neutră a respectării spațiilor verzi în documentațiile de urbanism. (Droj, et al., 2021) (Kwartnik-Pruc & Droj , 2023)

- Modelarea eficienței transportului public validată prin modelarea zonelor de serviciu, identificare zonele cu deficit de deservire oferind soluții pentru optimizarea conectivității nodale între Oradea și localitățile periurbane. (Droj , et al., 2022)
- Analiza impactului disruptiv (COVID-19) asupra microclimatului urban: Utilizarea modelelor de reanaliză MERRA-2 și a transmitanței atmosferice Sentinel-2 pentru a crea un scenariu de referință (baseline) al calității aerului în municipiul Oradea, în absența presiunii traficului rutier. (Droj, et al., 2023)
- Micro simulare dinamică GIS-T prin modelarea cererii de transport pe baza matricelor Origine-Destinație și simularea scenariilor de congestie pentru orizontul 2040 în comuna Sântandrei.
- Îmbinarea sistemelor informaționale geografice cu modele de evaluare automată (AVM/CAMA) pentru fundamentarea tehnică pentru politici fiscale echitabile. (Droj , et al., 2024)
- Operaționalizarea modelului suport spațial al deciziilor pentru investiții rezidențiale: Dezvoltarea unui flux algoritmic complet care integrează constrângerile și restricțiile, cu factori de accesibilitate multimodală, oferind o metodă de ierarhizare a pretabilității terenurilor.

6.2 Aplicabilitatea practică și recomandări pentru administrație

Rezultatele studiului de caz asupra Zonei Metropolitane Oradea oferă instrumente concrete de lucru pentru autoritățile locale:

- Modernizarea infrastructurii de date spațiale și conformitatea LADM. (ISO 19152)
- Planificare urbană: Utilizarea hărților de adecvare derivate prin SMCDA ca instrument oficial în procesul de avizare a Planurilor Urbanistice Generale și Zonale. Această abordare elimină subiectivismul și oferă o justificare matematică riguroasă în procesul de planificare.
- Implementarea modelelor AVM/CAMA-pentru optimizarea veniturilor bugetare și asigurând transparența în fața contribuabilului. Integrarea rutinelor de detecție a schimbărilor (Change Detection) din satelit pentru identificarea construcțiilor noi asigurând astfel creșterea veniturilor proprii fără majorarea cotelor de impozitare.
- Prioritizarea proiectelor de infrastructură în „nucleele de oportunitate” reducând costurile de urbanizare și maximizând beneficiile sociale per capital investit.
- Utilizarea analizelor de zonă de serviciu (Service Area) pentru a corecta deficitul de acoperire ale transportului public, asigurând conformitatea cu principiul „orașului de 15 minute”.
- Adoptarea platformelor de microsimulare ca procedură standard în evaluarea impactului lucrărilor de infrastructură.
- Utilizarea sinergiei indicilor NDVI/NDWI ca metodă neutră de verificare a obligațiilor ecologice și monitorizarea în timp real a sănătății vegetației urbane și identificarea zonelor care necesită irigații sau reîmpăduriri.

- Publicarea datelor privind dispersia aerosolilor (AOT/PM2.5) accesibile cetățenilor, pentru a crește gradul de conștientizare și a justifica implementarea zonelor cu emisii scăzute.

6.3 Direcții de continuare a cercetărilor

Cercetarea poate fi extinsă în următoarele direcții:

- Evoluția către reprezentări 3D și 4D și ulterior către cadastrul 3D și 4D.
- Implementarea GeoAI: Dezvoltarea unor agenți inteligenți capabili să actualizeze automat baza de date geospațială pe baza fluxurilor continue de imagini satelitare și senzori sociali (VGI).
- Extinderea rețelelor de senzori IoT și integrarea lor în infrastructura de date spațiale va permite trecerea de la un Digital Twin static la unul dinamic.
- Modelarea rezilienței climatice prin simulări stochastice.

Bibliografie

- Buchanan, M., 2019. The benefits of public transport. *Nature Physics*.
- Nguyen, H. X. și alții, 2020. A Hybrid Approach Using GIS-Based Fuzzy AHP–TOPSIS Assessing Flood Hazards along the South-Central Coast of Vietnam. *Applied Sciences*, 10(20).
- Yuan, S., Zhao, X. & An, Y., 2014. Identification and optimization of traffic bottleneck with signal timing. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, pp. 353-361.
- Afolayan, A. și alții, 2022. GIS-Based Spatial Analysis of Accident Hotspots: A Nigerian Case Study. *Infrastructures*, 7(103).
- Aggarwal, C. C. & Abdelzaher, T., 2011. INTEGRATING SENSORS AND. În: C. C. Aggarwal, ed. *Social Network Data Analytics*. London: Springer, pp. 379- 412.
- Alawadi , K. & Benkraouda, O., 2018. What Happened to Abu Dhabi’s Urbanism? The Question of Regional Integration.. *Journal of Urban Design* , 23(3), p. 367–394..
- Andrews, C., 2018. *GIS and BIM Integration Leads to Smart Communities*. [Interactiv] Available at: www.esri.com [Accesat 21 April 2022].
- Antoniou , V., Vassilakis , E. & Hatzaki, M., fără an Is Crowdsourcing a Reliable Method for Mass Data Acquisition? The Case of COVID-19 Spread in Greece During Spring 2020. *International Journal of Geo-Information*.
- Ayalke, Z. & Sisman, A., 2022. Nominal Land Valuation with Best-Worst Method Using Geographic Information System: A Case of Atakum, Samsun. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 11(4).
- Aydinoglu, A. C., Bovkir, R., Sisman, S. & Kara, A., 2025. Enhancing the National Spatial Data Infrastructure to Support 3D Real Estate Valuation: A Case Study of GIS-Supported Scoring of 3D Residential Units Based on Expert Opinion. *Transactions in GIS*, Volumul 29.
- Badea, A. C. & Badea, G., 2021. *Aspects about Spatial Information Management to optimize Spatial Planning and Sustainable Development*. Prato, Italy, https://www.fig.net/resources/proceedings/2021/Workshop%20FIG_PRATO_BADEA.pdf, s.n.
- Badea, A. C. & Badea, G., 2021. *Traffic Analysis Studies Using GIS Tools*. Virtually in the Netherlands, s.n.
- Badea, G. & Badea, A. C., 2013. *Cadastru, banci de date si aplicatii GIS in zone urbane*. București: Conspress (U.T.C.B.).
- Banca Internațională pentru Reconstrucție și Dezvoltare și Banca Mondială, 2020. *POLITICA URBANĂ 2020-2035 ȘI PLANUL DE ACȚIUNE*, București: Ministerul Dezvoltării Lucrărilor Publice și Administrației.
- Bezdek, J. C., Robert, E. & William, F., 1984. FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm. *Computers & Geosciences*, 10(2-3), pp. 191-203.
- Biljecki, F. și alții, 2015. Applications of 3D City Models: State of the Art Review.. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Volumul 4, p. 2842–2889.

Borges, A. V. K., Davis, J. A. C. & Laender, H., 2001. OMT-G: An Object –Oriented Data Model for Geographic Applications,. *Geoinformatica*, 5(3).

Borrough, P. A. & Frank, A. U., 2020. *Geographic Objects with Inderterminate Boudaries*. s.l.:Taylor and Francis.

Boulos, M. și alții, 2017. From urban planning and emergency training to Pokémon Go: applications of virtual reality GIS (VRGIS) and augmented reality GIS (ARGIS) in personal, public and environmental health.. *Int J Health Geographics*.

Buchard, V. și alții, 2016. Evaluation of the surface PM2.5 in Version 1 of the NASA MERRA Aerosol Reanalysis over the United States.. *Atmospheric Environment*, Volumul 125, p. 100–111..

Bühlmann, P., Drineas, P., Kane, M. & van der Laan, M., 2019. *Handbook of Big Data*. 1 ed. s.l.:Chapman & Hall.

Bull, A., 2003. *TRAFFIC CONGESTION - THE PROBLEM AND HOW TO DEAL WITH IT*, Santiago de Chile: United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean.

Cardone, B. & Di Martino, F., 2020. A Fuzzy Rule-Based GIS Framework to Partition an Urban System Based on Characteristics of Urban Greenery in Relation to the Urban Context. *Applied Sciences*.

Carniel, A. C., 2022. Defining and designing spatial queries: the role of spatial relationships. *GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE*, pp. 1-25.

Câmara, G., Souza, R. C. M., Freitas, U. M. & Garrido, J., 1996. Spring: Integrating remote sensing and gis by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, 20(3), pp. 395-403.

Chaves, R. și alții, 2019. Crowdsourcing as a Tool for Urban Emergency Management: Lessons from the Literature and Typology. *Sensors* .

da Silva, C. N., da Silva, J. M. P. & Castro, C. J. N., 2015. Methodological Guidelines for the Use of Geoprocessing Tools: Spatial Analysis Operations—Kernel, Buffer and the Remote Sensing Image Classification. *Agricultural Sciences*, Volumul 6, pp. 707-716.

Demetrescu, C. & Italiano, G., 2014. *Speeding Up Dijkstra's Algorithm for All Pairs Shortest Paths*, s.l.: s.n.

Demetriou , D., 2016. GIS-Based Automated Valuation Models (AVMs) for Land Consolidation Schemes.

Dijkstra, E., 1959. A note on two problems in connexion with graphs.. *Numerische Mathematik*, pp. 269-271.

Dimopoulos , T. & Moulas , A., 2016. A Proposal of a Mass Appraisal System in Greece with CAMA System: Evaluating GWR and MRA Techniques in Thessaloniki Municipality. *Open Geosciences*, Issue 8, pp. 675 – 693,.

Dixon, P. M., 2006. Ripley's K function. În: *Encyclopedia of Environmetrics*. s.l.:s.n.

Droj , G. & Droj , L., 2019. *Spatial Data Mining Using GIS Webservices*. Oradea, s.n.

Droj , G., Droj , L. & Badea, A.-C., 2022. GIS-Based Survey over the Public Transport Strategy: An Instrument for Economic and Sustainable Urban Traffic Planning. *ISPRS International Journal of Geo-Information* .

Droj , G., Kwartnik-Pruc, A. & Droj, L., 2024. A Comprehensive Overview Regarding the Impact of GIS on Property Valuation. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 13(6).

Droj , L. & Droj, G., 2010. *Spatial Decision Support System for Property Taxation Modelling*. Istanbul, IBIMA.

Droj, G., 2009. *Introducere in GIS*. s.l.:Universitatea din Oradea.

Droj, G. & Droj, L., 2020. *Usage of GIS based application for assessing urban traffic under influence of COVID-19*. Oradea, s.n.

Droj, G., Droj, L., Badea, A.-C. & Dragomir, P. I., 2023. GIS-Based Urban Traffic Assessment in a Historical European City under the Influence of Infrastructure Works and COVID-19,. *Applied Sciences*, p. 1355.

Droj, G., Droj, L. & Kwartnik-Pruc, A., 2021. *Gis Based Analysis For Urban Green Space Accessibility*. Virtualy in Oradea, University of Oradea .

Droj, L. & Droj , G., 2015. Usage of Location Analysis Software in the Evaluation of Commercial Real Properties. *Proceedings of the EMERGING MARKETS QUERIES IN FINANCE AND BUSINESS 2014,, Volumul 32*, p. 826–832.

Droj, L., Droj , G. & Ban , O., 2020. Geospatial And Financial Analysis Of The Tourism Sector In Romania,. *Turism & Hospitality Industry*.

European Space Agency, 2023. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/document-library>. [Interactiv]
[Accesat decembrie 2023].

Feizizadeh, B. și alții, 2022. A GIS-Based Spatiotemporal Modelling of Urban Traffic Accidents in Tabriz City during the COVID-19 Pandemic. *Sustainability*, 14(7468).

Force, R. T., 2013. *Roads Task Force - Technical Note 10 - What is the capacity of the road network for private motorised traffic and how has this changed over time?*, s.l.: Transport of London .

Franch-Prado, I., Napoletano, B., Rosete-Verges, F. & Billa, L., 2020. Spatial analysis and GIS in the study of COVID-19. A review. *Science of the Total Environment*, Volumul 739.

Getis, A. & Ord, J. K., 1992. The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis*, Volumul 24, pp. 189-206.

Geymen, A., Yomralioglu, T. & Baz, I., 2008. Developing an urban information system for local governments. *ICE Proceedings Municipal Engineer* , 161(3), pp. 163-173.

Gillian, J. & Gonzales, L., fără an *Ripley's K Function and pair correlation function.*, s.l.: s.n.

Goh, ,. C., Li, H. & Li, M., 2014. A Comparative Analysis of Domestic and International Tourism Spatial Distribution: Trends and Impacts.. *Journal of China Tourism Research*, 10(4),, p. 388–413.

Goodchild, M. F., 2007. Citizens as sensors: The world of volunteered geography.. *GeoJournal*, 69(4), , pp. 211-221..

Grieves, M. & Vickers, J., 2017. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. În: *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems* . s.l.:Springer, pp. 85-113.

Gudivada , V., Irfan, M., Fathi, E. & Rao, D., 2016. Cognitive Analytics: Going Beyond Big Data Analytics and Machine Learning. În: *Handbook of Statistics*. s.l.:Elsevier, pp. 169-205.

Guo , W. și alții, 2017. Urban Analytics: Multiplexed and Dynamic Community Networks. *IEEE COMMUNICATIONS MAGAZINE*,.

Gupta, P., Neelam , J., P. K. , S. & Kishor , K., 2009. Geographical Information System in Transportation Planning. *Geospatial World*.

Herrera, J. C. și alții, 2010. Evaluation of traffic data obtained via GPS-enabled mobile phones: the Mobile Century field experiment,. *Transportation Research Part C*, p. 568–583.

Huang, B., Cova, T. J. & Tsou, M.-H., 2018. *Comprehensive Geographic Information Systems*. s.l.:Elsevier.

Huang, B. & Pan, X., 2007. GIS coupled with traffic simulation and optimization for incident response. *Computers, Environment and Urban Systems*, pp. 116-132.

Huang, B. & Wang, J., 2020. Big spatial data for urban and environmental sustainability. *GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE*, 23(2), p. 125–140.

Indrajit, A., Van Loenen, B. & Van Oosterom, P., 2019. Assessing Spatial Information Themes in the Spatial Information Infrastructure for Participatory Urban Planning Monitoring: Indonesian Cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(305).

ISO - International Organization for Standardization, 2012. *ISO 19125-1:2012 - Geographic information - Simple feature access - Part 1: Common architecture*. s.l.:ISO.

Jiménez-Espada, M., Marticez Garcia, F. M. & Gonzalez Escobar , R., 2022. Urban Equity as a Challenge for the Southern Europe Historic Cities: Sustainability-Urban Morphology Interrelation through GIS Tools. *Land*, p. 11.

Karthik , S. & Loui , T. R., 2021. Development of Traffic Congestion Model to Evaluate the Level of Congestion and its Associative Cost for an Urban Arterial Road: a Case Study. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A volume* , Volumul 102, pp. 623-632.

Ketzler , B. și alții, 2020. Digital Twins for Cities: A State of the Art Review. *Built Environment*, 46(4), pp. 547-573.

Kontgis, K. și alții, 2021. *Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning*. s.l., IGARSS 2021-2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium..

Kopczewska, k., Churski, P., Ochojski , A. & Polko, A., 2019,. SPAG: Index of spatial agglomeration.. *Papers in Regional Science, volume 98*, p. 2391– 2424.

Kutzner, T., Chaturvedi, K. & Kolbe, T. H., 2020. CityGML 3.0: New Functions Open Up New Applications. *Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science* , Volumul 88, pp. 43-61.

Kutzner, T. & Kolbe, T. H., 2018. *CityGML 3.0: Sneak Preview*. Munich, Conference: PFGK18 - Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformatik - Kartographie, 37. Jahrestagung in München 2018At:.

Kwartnik-Pruc, A. & Droj , G., 2023. The Role of Allotments and Community Gardens and the Challenges Facing Their Development in Urban Environments—A Literature Review. *Land*, 12(2).

Långström, S. & Fridsäll, E., 2019. *Optimizing traffic flow on congested roads*, STOCKHOLM: KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE.

Leng, L. și alții, 2022. A Generalized 9-Intersection Model for Topological Relations. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 11(118).

Litman, T., 2021. *Well measured - Developing Indicators for Sustainable and Livable Transport Planning*, , s.l.: Victoria Transport Policy Institute.

Liu, P. și alții, 2019. Building footprint extraction from high-resolution images via spatial residual inception convolutional neural network.. *Remote Sensing*, 11(7).

Li, W., 2020. GeoAI: Where machine learning and big data converge in GIScience. *Journal of Spatial Information Science*, Volumul 20.

Li, Z., 2021. *Big Social Media Data to Measure Place Connectivity and Human Mobility Dynamics*. s.l., s.n.

Li, Z. și alții, 2025. GIScience in the era of Artificial Intelligence: a research agenda towards Autonomous. *Annals of GIS*,, 31(4).

Loidl, M. și alții, 2016. GIS and Transport Modeling—Strengthening the Spatial Perspective. *Internationa Journal of Geo-Information* .

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. & Rhind, D. W. R., 2005. *New Developments in Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*. Second ed. s.l.:Abridged .

Longley, P., Higgs, G. & Martin, D., 1994. The Predictive Use of Gis to Model Property Valuations. *International Journal 764 of Geographical Information Systems*, Volumul 8, p. 217–235.

Lopez, P. A. și alții, 2018. *Microscopic Traffic Simulation using SUMO*. Maui, Hawaii, USA, IEEE, pp. 2575-2582.

Luncan, T. A., Covăcescu, R. & Gavriș (Droj) , G., 2004. *GIS - instrument al managementului și controlului urban - Studiu de caz Oradea*. București, Academia Română.

Lwin , K. K. & Murayama, Y., 2025. *Handling of Geospatial Data with QGIS*. s.l.:Springer.

- Mai, G. și alții, 2025. Towards the next generation of Geospatial Artificial Intelligence. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volumul 136.
- Malczewski, J. & Rinner, C., 2015. *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. s.l.:Springer nature.
- Marsal-Llacuna, M.-L., Tat Leung , . Y. & Ren , G.-J., 2011. Smarter Urban Planning: Match Land Use with Citizen Needs and Financial Constraints. *Computational Science and Its Applications - ICCSA 2011* , Volumul LNCS 6783, pp. 93-108.
- Marsal-Llacuna, M.-L. & Segal, M. E., 2016. The Intelligent Method (I) for making “smarter” city projects and plans. *Cities*, Volumul 55, pp. 127-138.
- Marušić , B. G. & Marušić , D., 2012. Behavioural Maps and GIS in Place Evaluation and Design. În: B. M. Alam, ed. *Application of Geographic Information Systems*. London: Intechopen, pp. 113-138.
- Masahisa, F. & Hideaki , . O., 1982. Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations.. *Regional science and urban economics*, Volumul 12, pp. 161-169.
- Mesquitela, J., Elvas, L. B., Ferreira, J. C. & Nunes, L., 2022. Data Analytics Process over Road Accidents Data—A Case Study of Lisbon City. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 11(143).
- Ming Zhang , și alții, 2022. GIS Based Procedural Modeling in 3D Urban Design. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 11(10), p. 531.
- Ministerul Dezvoltării Regionale și Turismului, 2010. *Ordinul 1466/2010 privind Întreținerea și actualizarea Registrului local al spațiilor verzi din intravilanul localităților*, s.l.: MDRT.
- Ministerul Dezvoltării Lucrărilor Publice și Administrației, 2023. *Ordinul nr. 904/2023 privind modificarea și completarea Normelor metodologice de aplicare a Legii nr. 350/2001 privind amenajarea teritoriului și urbanismul și de elaborare și actualizare a documentațiilor de urbanism, aprobate prin Ordinul viceprim-minis*, s.l.: Monitorul Oficial.
- Ministerul Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Administrației, 2017. *NORME TEHNICE privind proiectarea, construirea și modernizarea drumurilor*, București: Ministerul Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Administrației.
- Mitchell, A., 2005. *The Esri Guide to GIS Analysis*. s.l.:ESRI Press.
- Morar, T., Radoslav, R., Spiridon, L. C. & Păcurar, L., 2014. Assessing Pedestrian Accessibility To Green Space Using GIS. *Transylvanian Review of Administrative Sciences*, 2014.pp. 116-139.
- NASA, fără an *Giovanni The Bridge Between Data and Science v 4.37*. [Interactiv] Available at: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/> [Accesat march - november 2022].
- Nations, U., 2015. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*, s.l.: United Nations.
- Olaode, A., Naghdy, G. & Todd , C., 2014. Unsupervised Classification of Images: A Review. *International Journal of Image Processing* , 8(5), pp. 325-342.

Organisation for Economic Co-operation and Development, 2024. *OECD Economic Surveys: Romania*, s.l.: OECD.

Papadopoulou , C.-A. & Giaoutzi, M., 2014. Crowdsourcing as a Tool for Knowledge Acquisition in Spatial Planning. *Future Internet*, pp. 109-125.

Parlamentul României, 1996. *Legea cadastrului și a publicității imobiliare nr. 7*, s.l.: Monitorul oficial.

Parlamentului European, Consiliului Uniunii Europene, 2024. *Directiva 2007/2/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 14 martie 2007 de instituire a unei infrastructuri pentru informații spațiale în Comunitatea Europeană - varianta actualizata*, s.l.: European Union.

Primaria Municipiului Oradea, 2016. *Plan Urbanistic Genera Oradea*, s.l.: s.n.

Primăria Municipiului Oradea, 2019. *Program de regenerare urbană și creștere a calității spațiilor verzi din municipiul Oradea : Oradea oraș verde 2020-2030*, Oradea: s.n.

Rashid, M. F. A., 2018. Capabilities of a GIS-based multi-criteria decision analysis approach in modelling migration. *Springer Nature , GeoJournal*.

Riedler, B. & Lang, S., 2022. INTEGRATING GEOSPATIAL DATASETS FOR URBAN STRUCTURE ASSESSMENT. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, V(4).

Ripley, B. D., 1981. *Spatial Statistics*. New York: Wiley.

Romanian Government , 2007. *Act nr 24*, s.l.: s.n.

Sani , M. J. & Rahman , A. A., 2018. GIS and BIM integration at Data Level: a Review. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII(4).

Satria, R. & Castro, M., 2016. GIS TOOLS FOR ANALYZING ACCIDENTS AND ROAD DESIGN: A REVIEW. *Transportation Research Procedia*, Volumul 18, pp. 242-247.

Satterthwaite, D., McGranahan, G. & Tacoli, C., 2010. Urbanization and its implications for food and farming. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, pp. 2809-2820.

Sestras, P. și alții, 2025. A novel method for landslide deformation monitoring by fusing UAV photogrammetry and LiDAR data based on each sensor's mapping advantage in regards to terrain feature. *Engineering Geology*, Volumul 346.

Shahidinejad, J., Kalantari , M. & Rajabifard, A., 2024. 3D Cadastral Database Systems—A Systematic Literature Review. *ISPRS Int. J. Geo-inf.*

Soares Machado, C. A. și alții, 2015. Characterization of Black Spot Zones for Vulnerable Road Users in São Paulo (Brazil) and Rome (Italy). *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 4(2), pp. 858-882.

Songchitruksa, P. & Zeng, X., 2010. Getis–Ord Spatial Statistics to Identify Hot Spots by Using Incident Management Data. *Journal of the Transportation Research* , Volumul 2165.

Song, Z., Zhang , H. & Dolan, C., 2020. Promoting disaster resilience: Operation mechanisms and self-organizing processes of crowdsourcing. *Sustainability*, 5(12).

Southworth, F., 1995. *A Technical Review of Urban Land Use – Transportation Models as Tools for Evaluating Vehicle Travel Reduction Strategies*, Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory; Department of Energy, Office of Environmental Analysis and Sustainable Development; Martin Marietta Energy Systems, Inc..

Sperandio, V. G., DIAs, V. E. C., Stempliuç, S. M. & Lisboa-Filho, J., 2018,. Creating Municipal Databases from OpenStreetMap: The Conceptual Database Schema. *Proceedings XIX GEOINFO Campina Grande, PB, Brazil, Volumul XIX*, pp. 25-35.

Steffeck, A. W., 2021. Insignificant Impacts of COVID-19 Stay-At-Home Orders on Chicago Air Quality. *DePaul Discoveries*, 10(1).

Sun, C. & Lu, J., 2022. The Relative Roles of Socioeconomic Factors and Governance Policies in Urban Traffic Congestion: A Global Perspective. *Land*, Volumul 11.

Sunita & Garg, D., 2018. Dynamizing Dijkstra: A solution to dynamic shortest path problem through retroactive priority queue. *Journal of King Saud University –Computer and Information Sciences*.

Toadere, T., 1992. *Elemente de teoria grafelor*. s.l.:Universitatea Babeș-Bolyai.

Todd, L. & Donihue , R., 2021. *Crowdsourcing for digital storytelling*. [Interactiv] Available at: [Esri.com](https://www.esri.com) [Accesat 27 septembrie 2022].

UN HABITAT, 2007. *Inclusive and sustainable Urban Planning: A Guide for Municipalities*. Pristina, Kosovo: UNON Publishing Service Section.

van Maarseveen, M., Martinez, J. & Flacke, J., 2019. *GIS in Sustainable Urban Planning and Management:A Global Perspectiv*. London: Taylor& Francis Group.

Vanegas, C. A., Aliaga, D. G., Benes, B. & Waddell, P., 2009. Interactive Design of Urban Spaces using Geometrical and Behavioral Modeling. *ACM Transaction on Graphics*, 28(10).

Verbavatz, V. & Barthelemy, . M., 2019. Critical factors for mitigating car traffic in cities. *PLOS ONE*.

Wang, D., Abdelzaher, T. & Kaplan, L., 2016. *Social Sensing - Building Reliable Systems on Unreliable Data*. s.l.:Morgan kaufmman.

Wang, Y.-l., Li, L.-b. & Wo, B., 2011. The Mechanism of Urban Land Redevelopment Impact on Traffic Systems. *ICCTP*.

Wang, Y., Peng , H., Xiong , Y. & Song, H., 2023. Spatial relationship recognition via heterogeneous representation: A review. *Neurocomputing*, Volumul 533, pp. 116-140.

Wei, C. și alții, 2022. The Research Development of Hedonic Price Model-Based Real Estate Appraisal in the Era of Big Data. *Lang (Basel_*, 11(334).

Wilkie , D., Sewall, J. & MIng C., L., 2010. Transforming GIS Data into Functional Road Models for Large-Scale Traffic Simulation. *IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS*.

Worboys, M. & Duckham, . M., 2004. *GIS: A Computing Perspective*. s.l.:CRC Press,.

World Bank Group, 2021. *Demographic trends and urbanization*, Washington: World Bank Group.

Wuest , B. A. & Mioc , D., 2007. *Visualization and modeling of traffic congestion in urban environments*,. Aalborg University, Denmark, s.n.

Xin, L. și alții, 2017. A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 6(53).

Xu, C. și alții, 2021. A Modular Remote Sensing Big Data Framework. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Volumul 60.

Yamada, H., 2024. Moran's I for Multivariate Spatial Data. *Mathematics* , 12(17).

Yılmaz, O., Sürmenelib , H. G. & Alkan, M., 2023. Spatial-Land use planning system data model proposal for edition II of LADM. *Geocarto International* , 38(1).

Ying , Y., Koeva, M., Kuffer, M. & Zevenbergen, J., 2023. Toward 3D Property Valuation—A Review of Urban 3D Modelling Methods for Digital Twin Creation. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 12(2).

Yu, D. & Fang, C., 2023. Urban Remote Sensing with Spatial Big Data: A Review and Renewed Perspective of Urban Studies in Recent Decades. *Remote Sensing*, 15(1307).

Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), pp. 338-353.

Zhang, C., Wei, S., Ji, S. & Lu, M., 2019. Detecting large-scale urban land cover changes from very high resolution remote sensing images using cnn-based classification. *SPRS International Journal of Geo-Information*, Volumul 8.

Zhang, T. & Huang, X., 2018. Monitoring of urban impervious surfaces using time series of high-resolution remote sensing images in rapidly urbanized areas: A case study of Shenzhen. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11(8), p. 2692–2708..

Zhang, W., Tan, G., Ding, N. & Wang, G., 2012. Traffic Congestion Evaluation and Signal Control Optimization Based on Wireless Sensor Networks: Model and Algorithms. *Mathematical Problems in Engineering*, Hindawi Publishing Corporation.

Zhang, X., Zhou, Y. & Luo, J., 2022. Deep learning for processing and analysis of remote sensing big data: a technical review. *Big Earth Data*, 6(4), pp. 527-560.

Zona Metropolitană Oradea, 2021. *Strategia Integrată de Dezvoltare Urbană pentru Municipiul Oradea și Zona Metropolitană Oradea pentru perioada 2021-2027*. [Interactiv] Available at: <https://zmo.ro/download/SIDU.pdf> [Accesat 2025].