

Uloga geografskog informacijskog sustava u cestovnom prometu Republike Hrvatske

Cvijanović, Vedran

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:127942>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**ULOGA GEOGRAFSKOG INFORMACIJSKOG SUSTAVA U
CESTOVNOM PROMETU REPUBLIKE HRVATSKE
THE ROLE OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM IN ROAD
TRAFFIC OF REPUBLIC OF CROATIA**

Mentor: doc. dr. sc. Petar Feletar

Student: Vedran Cvijanović

JMBAG: 0135240741

Zagreb, rujan 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 20. rujna 2024.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Prometni geoinformacijski sustavi**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7705

Pristupnik: **Vedran Cvijanović (0135240741)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Uloga geografskog informacijskog sustava u cestovnom prometu
Republike Hrvatske**

Opis zadatka:

GIS je danas objedinjavanje računalne tehnologije s tehnikama prostornih analiza i digitalnih prostornih podataka. Ključ za uspostavljanje tehnologije za potrebe donošenja odluka je integracija podataka, tehnologije i strategija donošenje odluka. Stoga je predmet ovog rada geografski informacijski sustav, a temeljit će se na cestovnom prometu u Republici Hrvatskoj.

Zadatak uručen pristupniku: 21. svibnja 2024.

Rok za predaju rada: 20. rujna 2024.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

doc. dr. sc. Petar Feletar

ULOGA GEOGRAFSKOG INFORMACIJSKOG SUSTAVA U CESTOVNOM PROMETU REPUBLIKE HRVATSKE

SAŽETAK:

U ovom diplomskom radu obrađena je uloga i utjecaj geografskog informacijskog sustava u cestovnom prometu Republike Hrvatske. Kvalitativno je provedena analiza utjecaja geografskog informacijskog sustava na sigurnost u cestovnom prometu. Kao dio završnog rada također su obrađeni globalni položajni sustav (GPS) i Galileo.

Rad je strukturiran u sedam glavnih cjelina koje obuhvaćaju teoretske osnove, praktične primjene te analizu uloge GIS-a u povećanju sigurnosti i efikasnosti prometa.

Prva cjelina uvodi GIS kao ključnu tehnologiju za upravljanje prostornim podacima, uključujući modeliranje, prostornu analizu i kartografiju. Poseban naglasak stavlja se na kvalitativnu obradu podataka te upotrebu različitih koordinatnih sustava.

U trećem dijelu razmatra se primjena GIS-a u upravljanju cestovnom infrastrukturom u Hrvatskoj. Analiziraju se projekti uvođenja GIS-a u cestovnu mrežu i na autocestama, što uključuje integraciju s postojećim prometnim sustavima.

Četvrti dio rada fokusira se na globalne položajne sustave (GPS) i Galileo sustav, pružajući pregled njihovih tehničkih karakteristika, principa rada te primjena u civilnoj i vojnoj sferi. Diskutira se i o prednostima Galileo navigacijskog sustava.

Peta cjelina analizira upotrebu GIS-a u različitim segmentima prometnog upravljanja, poput automatizacije signalizacije i izrade ortofoto prikaza. Detaljno su opisane primjene u prometnoj infrastrukturi i održavanju cesta.

Šesti dio istražuje kako GIS tehnologija doprinosi poboljšanju sigurnosti prometa, kroz izradu sigurnosnih dijagrama i procjena opasnosti. Pruža se i pregled uloge GIS-a u smanjenju troškova održavanja infrastrukture.

Detaljno je razrađena tematika razvoja geoinformacijskih sustava kroz povijest te njihova široka primjena u praksi.

Ključne riječi: *geografski informacijski sustav, upravljanje prometnicama, globalni položajni sustav (GPS), Galileo, cestovna infrastruktura, sigurnost u cestovnom prometu*

ROLE OF THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM IN ROAD TRAFFIC OF THE REPUBLIC OF CROATIA

SUMMARY:

This thesis addresses the role and impact of Geographic Information Systems (GIS) in road traffic management in the Republic of Croatia. A qualitative analysis of the impact of GIS on road traffic safety was conducted. The thesis also includes an examination of the Global Positioning System (GPS) and Galileo system.

The work is structured into seven main sections covering theoretical foundations, practical applications, and an analysis of the role of GIS in improving traffic safety and efficiency.

The first section introduces GIS as a key technology for managing spatial data, including modeling, spatial analysis, and cartography. Special emphasis is placed on qualitative data processing and the use of various coordinate systems.

The third section explores the application of GIS in managing road infrastructure in Croatia. It analyzes the implementation of GIS projects within the road network and highways, including integration with existing traffic systems.

The fourth part focuses on the Global Positioning System (GPS) and the Galileo system, providing an overview of their technical characteristics, operational principles, and applications in both civilian and military spheres. The advantages of the Galileo navigation system are also discussed.

The fifth section examines the use of GIS in various aspects of traffic management, such as the automation of signaling systems and the creation of orthophoto maps. Applications in traffic infrastructure and road maintenance are described in detail.

The sixth section investigates how GIS technology contributes to improving traffic safety through the development of safety diagrams and hazard assessments. It also reviews the role of GIS in reducing infrastructure maintenance costs.

The thesis thoroughly elaborates on the historical development of geoinformation systems and their wide-ranging practical applications.

Keywords: *Geographic Information System, road management, Global Positioning System (GPS), Galileo, road infrastructure, traffic safety*

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAVI	2
2.1. Povijest i razvoj GIS-a.....	3
2.2. Tipovi geoinformacijskog softwera	15
2.3. Upravljanje geoprostornim podacima	16
2.4. Prostorna analiza	26
2.4. Kartografija	32
2.5. Dodatna područja primjene GIS-a	33
3. UPRAVLJANJE PROMETNICAMA U REPUBLICI HRVATSKOJ POMOĆU GEOINFORMACIJSKOG SUSTAVA	34
3.1. Primjena GIS-a na cestovnoj mreži u Hrvatskoj	35
3.2. Primjena GIS-a na autocestama u Hrvatskoj.....	36
4. GLOBALNI POLOŽAJNI SUSTAV (GPS) I GALLILEO	37
4.1. Razvoj GPS-a	39
4.2. Princip rada GPS-sustava.....	41
4.3. Gallileo navigacijski sustav	46
5. ULOGA GEOINFORMACIJSKOG SUSTAVA NA RAZVOJ CESTOVNE INFRASTRUKTURE U REPUBLICI HRVATSKOJ	49
5.1. Automatizacija prometnog GIS-a korištenjem računalnog vida	50
5.2. Izrada ortofoto prikaza prometnice	51
5.3. GIS za upravljanje prometnom infrastrukturom.....	52
6. ANALIZA PRIMJENE GIS-A U SVRHU POVEĆANJA SIGURNOSTI U CESTOVNOM PROMETU	55
6.1. Upotreba međunarodne normizacije u konceptualnom modeliranju	58
6.2. Izrada konceptualnog modela geoinformacijskog sustava prometnih nesreća	58
6.3. Dijagram slučaja korištenja	59
6.4. Dijagram klasa	62
6.5. Ocjena stanja sigurnosti cestovne infrastrukture RAP metodologijom	64
6.6. Utjecaj geoinformacijskog sustava u funkciji sigurnosti cestovnog prometa ...	67
6.7. Sigurnost županijskog cestovnog prometa u brojkama u Republici Hrvatskoj .	71
6.8. Financijski troškovi prometnih nesreća	74

6.9.Procjena trenutnog stanja cestovne infrastrukture u Republici Hrvatskoj	76
7. ZAKLJUČAK.....	79
LITERATURA.....	1
POPIS KRATICA I AKRONIMA	3
POPIS SLIKA	5
POPIS TABLICA	5

1. UVOD

Tema ovog diplomskog rada je analiza primjene geografskog informacijskog sustava i u njemu prikupljenih podataka, koji su prikupljeni uz pomoć globalnog položajnog sustava (GPS) i sustava Gallileo na upravljanje prometnicama u Republici Hrvatskoj.

U ovom radu opisano je kako se upravlja prometnicama pomoću prikupljenih podataka unutar sustava koji se spominju, kako se ti podaci prikupljaju i koriste te kako se uz pomoć navedenog prometna infrastruktura razvija.

Ovaj diplomski rad se sastoji od 7 poglavlja koja se međusobno nadovezuju. Nakon uvoda, drugo poglavlje opisuje što su to geoinformacijski sustavi i opisuje ih. Treće poglavlje se odnosi na upravljanje prometnicama u Republici Hrvatskoj pomoću geoinformacijskih sustava, a četvrto poglavlje se odnosi na globalni položajni sustav Galileo.

Peto i šesto poglavlje se više bave međusobnim odnosom spomenutih sustava i cestovnog prometa u Republici Hrvatskoj. Bez dobrih i sofisticiranih metoda i razvijenih sustava za prikupljanje podataka prometnice se ne bi razvijale na način na koji se danas razvijaju i ne bi bilo moguće upravljati njima na suvremene načine koji se danas koriste. Dobro upravljanje prometnicama koje kontinuirano, kroz dugoročne periode, daje dobre rezultate, u konačnici utječe pozitivno na sigurnost u prometu.

Također, po prvi put, prometni inženjeri i urbanisti imaju pristup slojevitim, dinamičnim i visokorezolucijskim kartama koje se mogu prilagoditi različitim prometnim scenarijima. Umjesto statičnih, dvodimenzionalnih mapa s ograničenim brojem varijabli, Geoinformacijski sustavi omogućuju integraciju velike količine podataka, uključujući vremenske uvjete, prometnu gustoću, stanje infrastrukture i mnoge druge faktore.

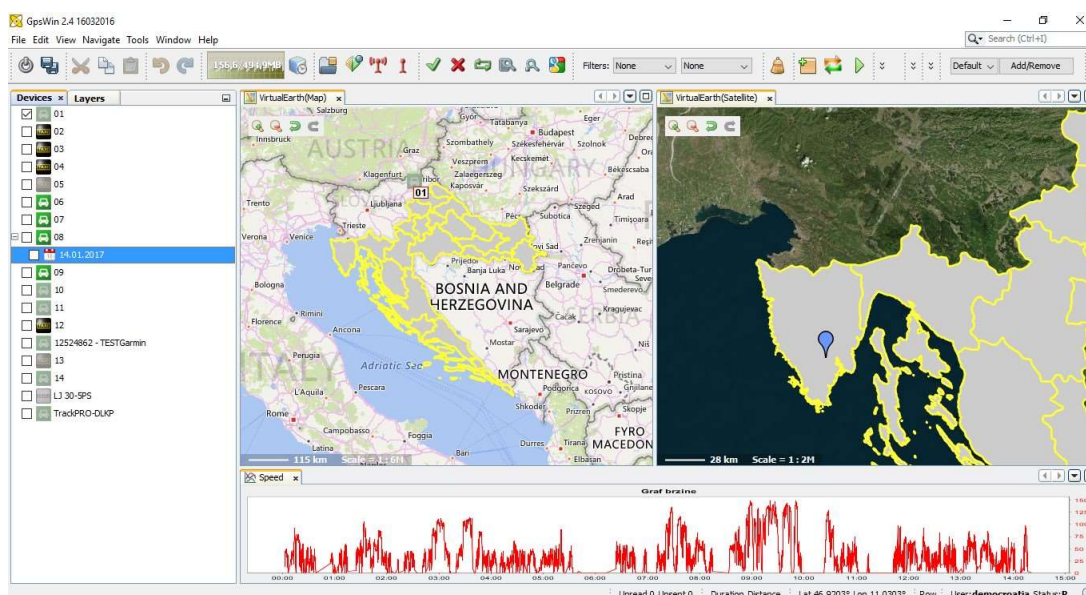
Ovi podaci mogu se koristiti u stvarnom vremenu za donošenje odluka, često putem automatiziranih sustava koji prilagođavaju odgovor promjenama u prometnom okruženju. Prometno-geoinformacijski sustavi ne samo da povećavaju učinkovitost, već također poboljšavaju sigurnost na cestama. Na primjer, analizom prometnih podataka moguće je prepoznati "crne točke" - područja s visokim rizikom od nesreća. Takve informacije mogu se koristiti za preusmjeravanje prometa, postavljanje dodatne signalizacije ili čak za planiranje novih cestovnih pravaca s ciljem smanjenja rizika.

2. GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAVI

Geografski informacijski sustav (ili skraćeno GIS) sastoji se od integriranog računalnog hardvera i softvera koji zajednički pohranjuju, upravljaju, analiziraju, uređuju, izvode i vizualiziraju geografske podatke. Velik dio ovoga često se događa unutar prostorne baze podataka, međutim, to nije bitno za definiranje GIS-a. U širem smislu, takav sustav uključuje i ljudske korisnike i pomoćno osoblje, njihove postupke i radne navike, područja znanja relevantnih pojmova i metoda te znanja institucionalnih organizacija koje koriste sve od prethodno navedenih pojmova.

GIS najčešći je pojam za industriju koja se bavi tim sustavima. Taj isti pojam se može koristiti i kao sinonim za geoinformatiku. Akademska disciplina koja proučava ove sustave i njihove temeljne geografske principe također se može skraćeno nazivati GIS, ali jednoznačni pojam geoinformacijska znanost (eng. GIScience) je češći. Znanost o geoinformacijskim sustavima se često smatra pod disciplinom geografije unutar grane tehničke geografije.¹

Na slici u nastavku je primjer jednog geoinformacijskog sustava.



Slika 1. Geografski informacijski sustav GpsWin 2.4

Izvor: FMLC Hrvatska, „Što je to Geografski Informacijski Sustav (GIS)?“, pristupljeno 17.08.2024

Geografski informacijski sustavi koriste se u raznim tehnologijama, procesima, tehnikama i metodama. Povezani su s različitim operacijama i brojnim aplikacijama koje se odnose na inženjering, planiranje, upravljanje, transport/logistiku, osiguranje, telekomunikacije i poslovanje.¹

¹ Fundamentals of Geographic Information Systems (4th ed.). John Wiley & Sons, inc., str 3.

Iz tog razloga, GIS i aplikacije za lokacijsku inteligenciju su temelji usluga koje omogućuju lokaciju, a koje se oslanjaju na geografsku analizu i vizualizaciju.²



Slika 2. Simbolički prikaz sastava i načina prikupljanja i obrade informacija u geografskom informacijskom sustavu

Izvor: A.Pg, "Što je Geografski Informacijski Sustav (GIS)?", lipanj, 2020. pristupljeno: 17.08.2024.

Geografski informacijski sustav pruža mogućnost povezivanja prethodno nepovezanih informacija korištenjem lokacije kao ključne indeksne varijable. Lokacije i prostorni opsezi koji se nalaze na prostorno-vremenskom kontinuumu Zemlje mogu se zabilježiti putem datuma i vremena pojavljivanja, zajedno s x, y i z koordinatama, koje predstavljaju geografsku dužinu (x), geografsku širinu (y) i nadmorsku visinu (z). Sve prostorno-vremenske reference na Zemlji trebale bi biti međusobno povezane, a u konačnici i s realnom fizičkom lokacijom ili prostornim opsegom. Ova ključna karakteristika geoinformacijskih sustava omogućila je otvaranje novih znanstvenih istraživanja i studija.

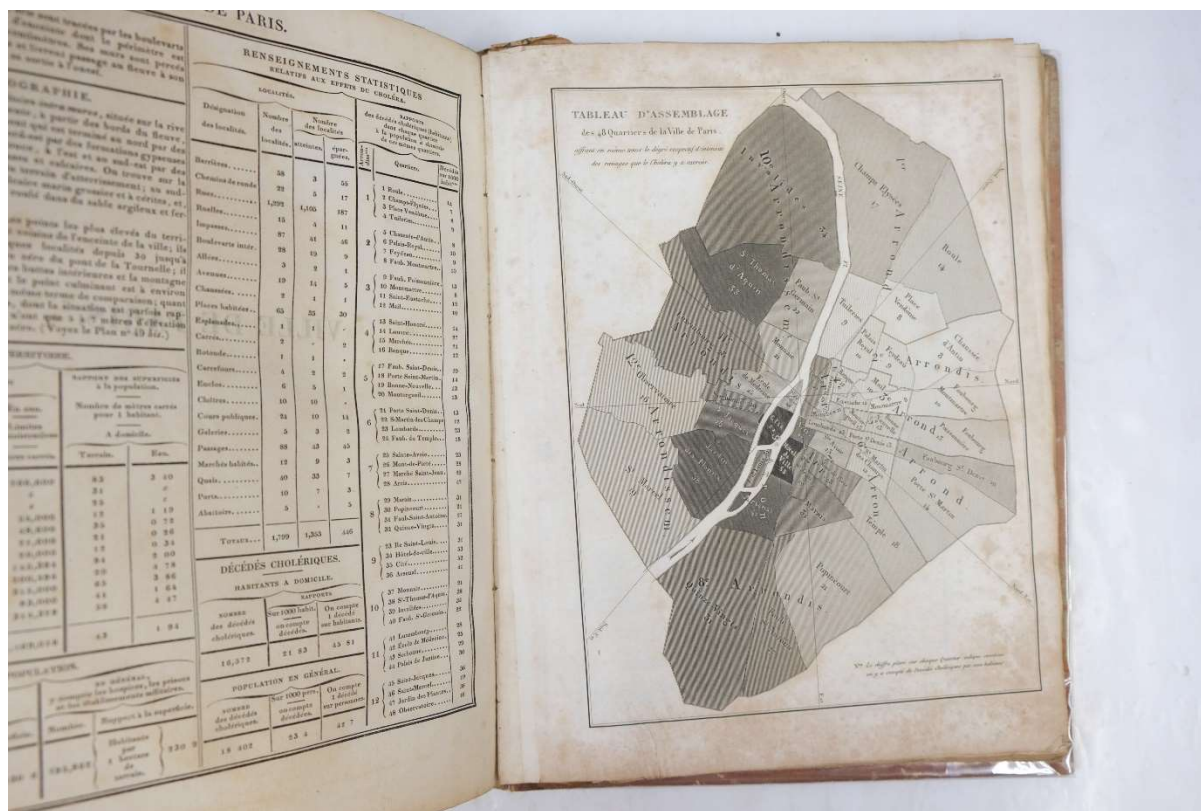
2.1. Povijest i razvoj GIS-a

1963. kanadski geograf rođen u Engleskoj Roger Tomlinson počeo je razvijati ono što će na kraju postati prvi pravi GIS (CGIS ili Canadian GIS) kako bi se pomoglo kanadskoj vladi u praćenju i upravljanju prirodnim resursima zemlje (zbog važnosti svog doprinosa, Tomlinson je postao poznat kao "Otac GIS-a.")²

² Tomlinson, Roger. 1998. "The Canada Geographic Information System." In Timothy Foresman, ed. The History of Geographic Information Systems: Perspectives from the Pioneers. Prentice Hall, Dostupno na: [https://www.britannica.com/biography/Roger-Tomlinson], Pristupljeno: 21.9.2024.

Jedan od prvih poznatih primjera korištenja prostorne analize dolazi iz područja epidemiologije u dokumentu "Izvešće o tijeku i učincima kolere u Parizu i departmanu Seine" iz 1832. godine.

Francuski geograf i kartograf Charles Picquet stvorio je kartu koja prikazuje četrdeset osam okruga u Parizu, koristeći gradacije tonova boja kako bi pružio vizualni prikaz broja prijavljenih smrtnih slučajeva zbog kolere na svakih 1.000 stanovnika.

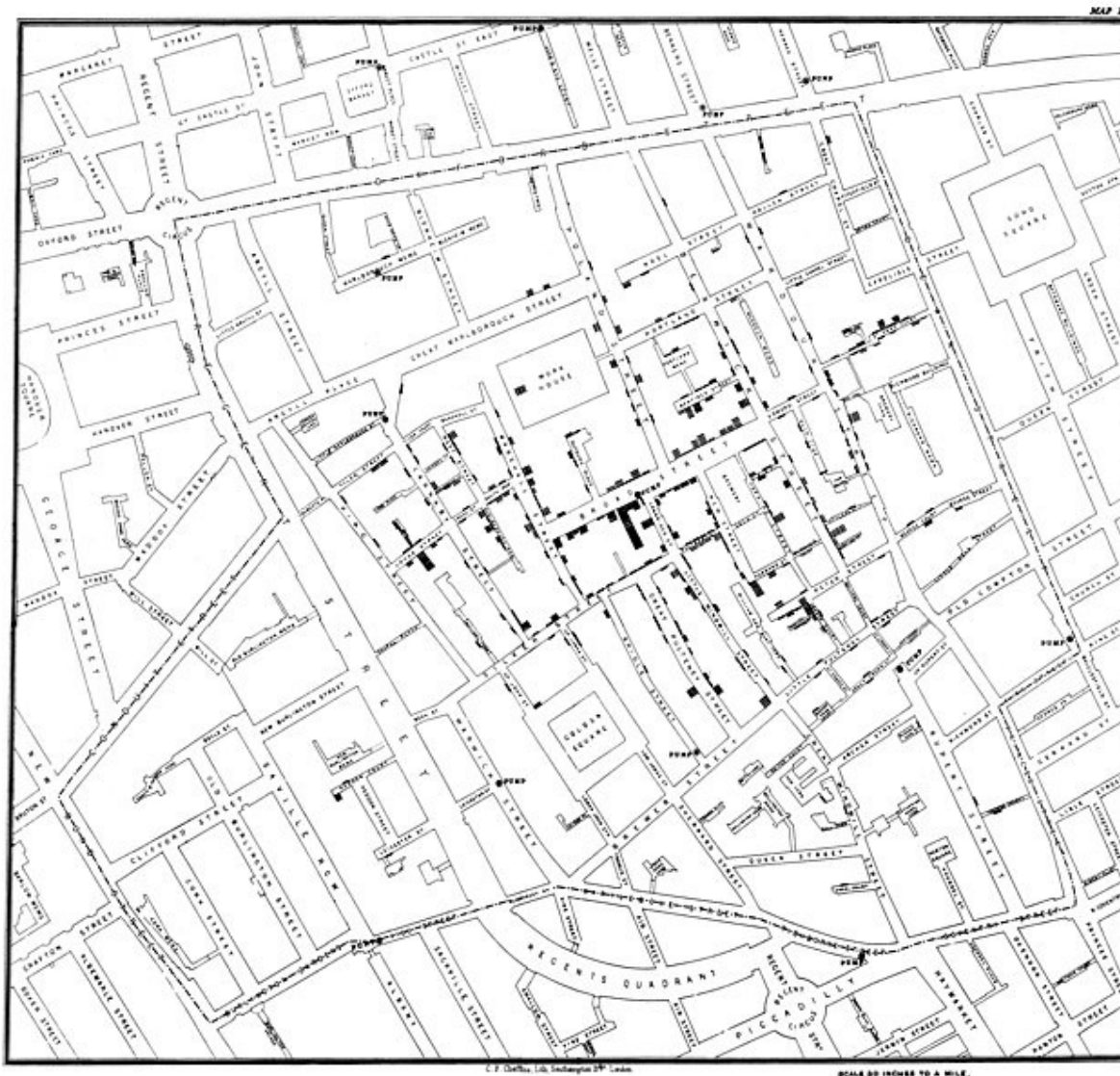


Slika 3 Izvešću o tijeku i učincima kolere u Parizu i departmanu Sena

Izvor: M. Villot, „Rapport sur la marche et les effets du choléra-morbus dans Paris et les communes rurales du département de la Seine - année 1832“, 1832., pristupljeno: 19.08.2024.

Godine 1854. John Snow, epidemiolog i liječnik, uspio je odrediti izvor izbijanja kolere u Londonu koristeći prostornu analizu. John Snow je to postigao ucrtavajući mjesto prebivališta svake žrtve na karti lokalnog gradskog područja, kao i obližnje izvore vode. Nakon što su te interesne točke označene, uspio je identificirati izvor vode unutar skupa koji je bio odgovoran za izbijanje epidemije. Ovo je bio jedan od najranijih uspješnih primjera korištenja geografske metodologije za određivanje izvora izbijanja bolesti u epidemiologiji. Iako su osnovni elementi topografije i teme prethodno postojali u kartografiji, karta koju je John Snow napravio bila je jedinstvena zbog njegove upotrebe kartografskih metoda ne samo za prikazivanje, već i za analizu skupina geografski ovisnih pojava.³

³ R. Tomlinson „The 50th Anniversary of GIS“, pristupljeno 19.8.2024.



Slika 4. Karta sa kućanstvima u kojima su bili preminuli/oboljeli od kolere, prema podacima koje je vodio John Snow

Izvor: Wikipedia, map made by John Snow in 1854, pristupljeno 17.08.2024.

Početak 20. stoljeća razvijen je postupak slojevite kartografije (eng. photozincography), koji je omogućio razdjeljivanje karata na slojeve, na primjer jedan sloj se mogao koristiti za prikazivanje vegetacije, drugi za prikazivanje prometne mreže, treći za vodene tokove itd.

Ovaj postupak korišten je za iscrtavanje kontura. Crtanje tih kontura bio je radno intenzivan zadatak, ali smještaj bilo kojeg od tih skupina podataka na zasebnom sloju značio je da se na njima moglo raditi bez obzira na drugi sloj. Slojevi su napravljeni jer bi previše podataka na jednom sloju moglo zbuniti crtača i dovesti do neželjenih pogrešaka što bi se na kraju odrazilo na točnost podataka. Ova metoda je izvorno bio rađena uz pomoć staklenih ploča, ali kasnije ih je zamijenio polimerni film s mnogim prednostima poput lakše mase, manjeg prostora za pohranu, savitljivosti koja je omogućila skladištenje u tubama za lakši transport i manje krhkosti.

Kada su svi slojevi bili gotovi, mogli su se kombinirati u jednu sliku koristeći veliku procesnu kameru. Kada je uveden proces tiskanja u boji, ideja slojeva također je korištena za izradu zasebnih tiskarskih ploča za svaku boju.

Iako je korištenje slojeva mnogo kasnije postalo jedna od tipičnih značajki suvremenog geoinformacijskih sustava, prethodno opisani fotografski proces se sam po sebi ne smatra geoinformacijskim sustavom jer su karte bile samo slike bez baze podataka koja bi ih povezivala.⁴



Slika 5. Izrada slojeva karata na plastičnim folijama

Izvor: L. Keyworth, „5 production processes in map making that are no longer in use“. April, 2019 pristupljeno: 17.08.2024

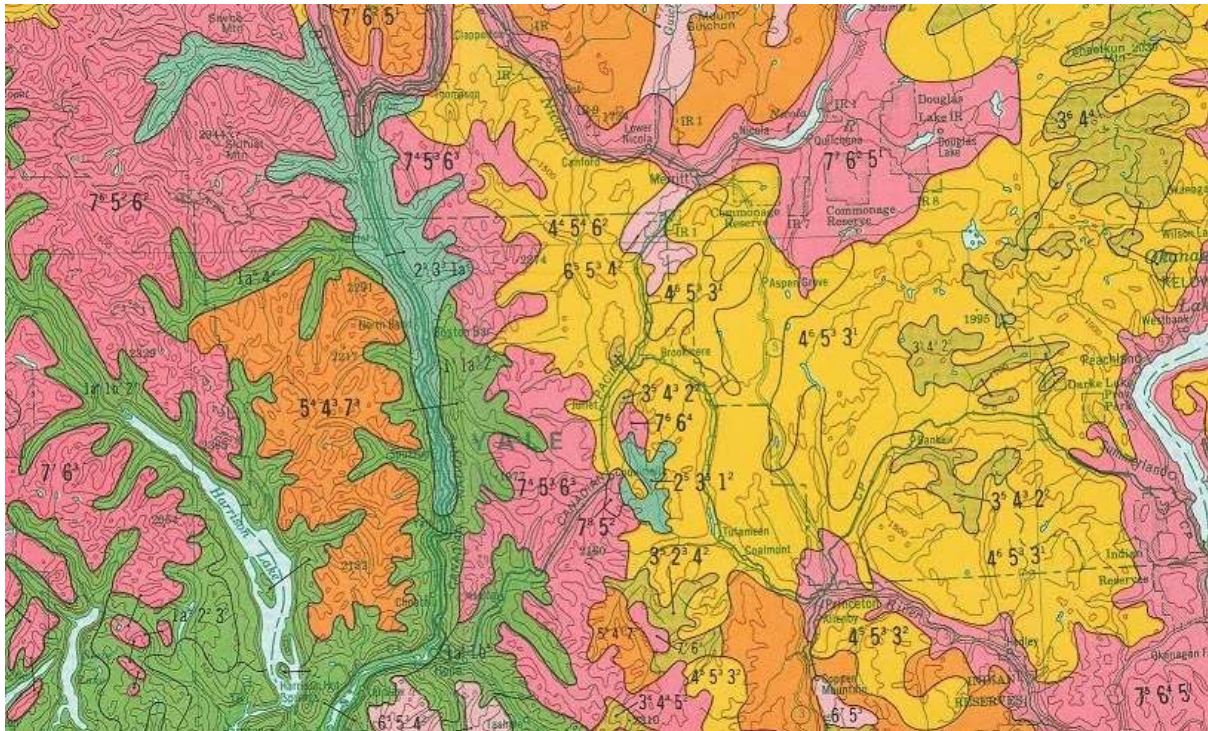
Dva dodatna značajna razvoja u ranim danima geoinformacijskih sustava su publikacija autora Iana McHarga „Design with Nature“ i njegova metoda preklapanja karata te uvođenje mreže ulica u DIME sustav (eng. Dual Independent Map Encoding) američkog ureda za popisivanje.

Prva publikacija koja detaljno opisuje upotrebu računala za olakšavanje kartografije napisao je Waldo Tobler 1959. godine. Daljnji razvoj računalnog hardvera potaknut razvojem nuklearnog naoružanja doveo je do šire primjene računala u opće svrhe za proces mapiranja početkom 1960-ih.

Godine 1963. razvijen je prvi pravi operativno upotrebljivi geoinformacijski sustav na svijetu u Ottawi, pokrajina Ontario, Kanada, od strane saveznog Ministarstva šumarstva i ruralnog

razvoja. Razvio ga je Roger Tomlinson, a nazvan je Kanadski Geografski Informacijski Sustav (eng. CGIS).

Koristio se za pohranu, analizu i manipulaciju podacima prikupljenim za Kanadski inventar zemljišta, za utvrđivanje agrikulturne, šumarske i rudarske upotrebljivosti zemljišta za područje ruralne Kanade prikupljanjem i kartografiranjem informacija o tlu, poljoprivredi, divljim životinjama, vodi, šumarstvu i korištenju zemljišta u omjeru 1:50.000. Također je dodan klasifikacijski faktor za omogućavanje analize.⁴



Slika 6. Karta šumarske upotrebljivosti u Britanskoj Kolumbiji, autor Roger Tomlinson

Izvor: R. Tomlinson, *Origins of the Canada Geographic Information System*, pristupljeno: 20.8.2024.

Kanadski Geografski Informacijski Sustav bio poboljšanje u odnosu na rudimentarne računalne kartografske programe jer je pružao dodatne mogućnosti za pohranu podataka, njihovo preklapanje, mjerenje i digitalizaciju/skeniranje.

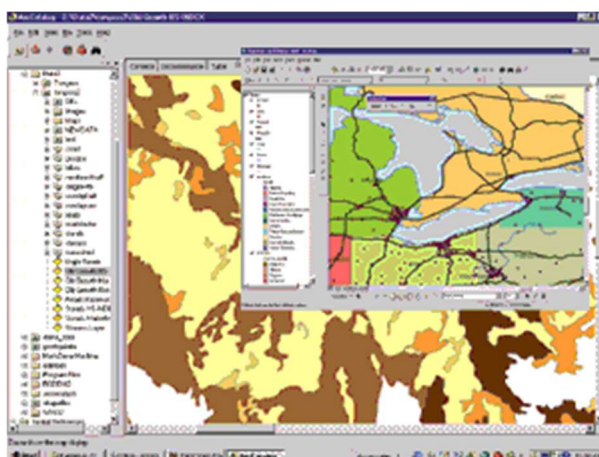
Podržavao je nacionalni koordinatni sustav koji je obuhvaćao kontinent, kodirao linije kao lukove s pravom ugrađenom topologijom i pohranjivao atributske i lokacijske informacije u odvojenim datotekama. Kao rezultat toga, Tomlinson je postao poznat kao „otac“ geoinformacijskih sustava ,posebno zbog svoje upotrebe preklapanja u promicanju prostorne analize konvergentnih geografskih podataka. CGIS se koristio do 1990-ih i uz pomoć njega izgrađena je veliki digitalna baza podataka o zemljišnim resursima na teritoriju Kanade. Razvijen je kao sustav temeljen na tadašnjim super računalima kao podrška saveznm i pokrajinskim uredima

⁴ *What is GIS?*, „Origins of GIS“, pristupljeno: 20.8.2024.

za planiranje i upravljanju resursima. Njegova snaga bila je sveukupna analiza složenih skupova podataka. CGIS kao sustav nikada nije bio dostupan komercijalno.

Godine 1964. Howard T. Fisher osnovao je Laboratorij za računalnu grafiku i prostornu analizu na Harvard Graduate School of Design, gdje su razvijeni brojni važni teoretski koncepti u rukovanju prostornim podacima. Do 1970-ih, laboratorij je distribuirao osnovni softverski kod i sustave, poput SYMAP, GRID i ODYSSEY, sveučilištima, istraživačkim centrima i korporacijama širom svijeta.

Ovi programi bili su prvi primjeri geoinformacijskih softvera opće namjene koji nije bio razvijen za određenu instalaciju i imali su velik utjecaj na budući komercijalni softver, poput Esri ARC/INFO, koji je objavljen 1983. godine.

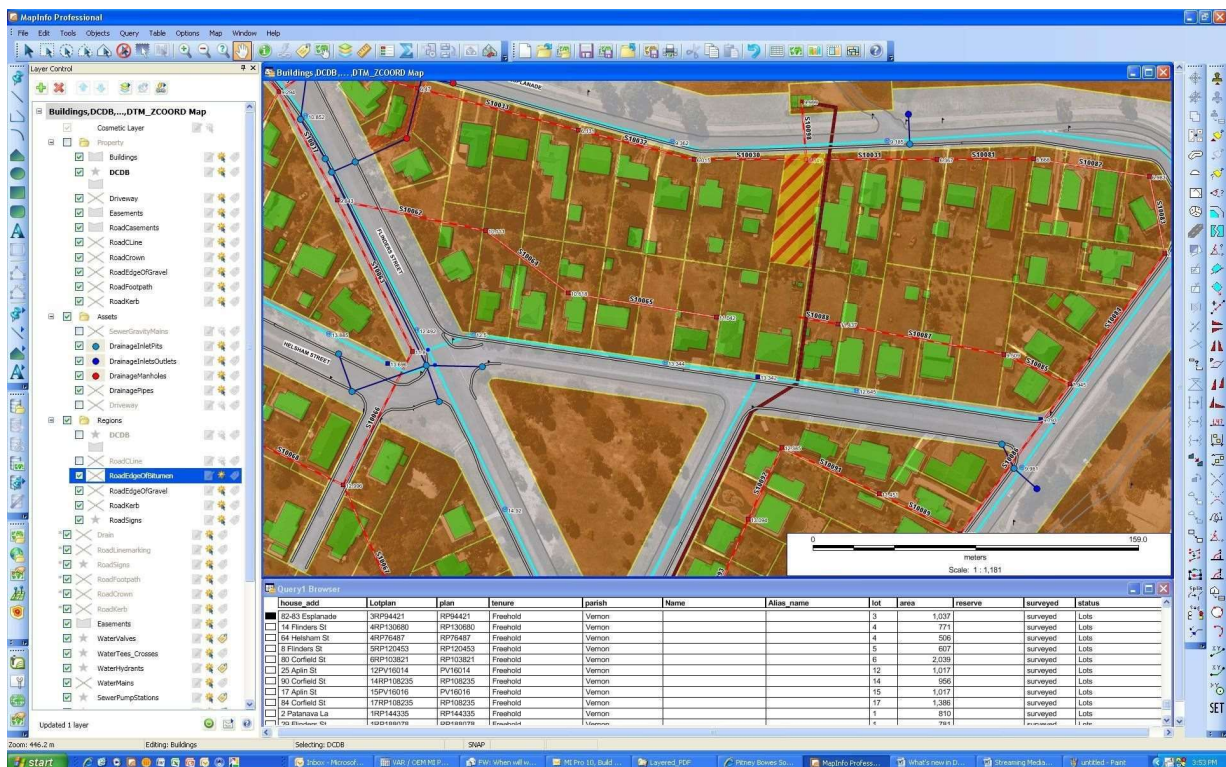


Slika 7. Esri ARC/INFO software verzija 8

Izvor: ARCNews, „ArcInfo 8 Nears Final Release“, pristupljeno: 17.08.2024

Do kraja 1970-ih godina, dva geoinformacijska sustava u javnom vlasništvu (MOSS i GRASS GIS) bila su u paralelnom razvoju, a početkom 1980-ih, M&S Computing (kasnije Intergraph), zajedno s Bentley Systems Incorporated za CAD platformu, Environmental Systems Research Institute (ESRI), CARIS (Computer Aided Resource Information System) i ERDAS (Earth Resource Data Analysis System), pojavili su se na tržištu kao komercijalni dobavljači geoinformacijskog softvera, uspješno integrirajući mnoge značajke CGIS softvera. Ovi novi sustavi kombinirali su pristup prve generacije koji razdvaja prostorne i atributske informacije s pristupom druge generacije koji organizira atributske podatke u strukturirane podatkovne baze.

Godine 1986. objavljen je Mapping Display and Analysis System (MIDAS), prvi geoinformacijski sustav za stolna računala, za DOS operativni sustav. Ovaj je proizvod preimenovan 1990. godine u MapInfo za Windows operativni sustav kada je prilagođen za Microsoft Windows platformu. Ovo je započelo proces premještanja geoinformacijskih sustava iz potpuno istraživačkog i akademskog sektora u poslovni pa i privatni sektor.



Slika 8. Esri ARC/INFO software verzija 8

Izvor: *esri.com*, „ArcInfo 8 Nears Final Release“, pristupljeno: 17.08.2024.

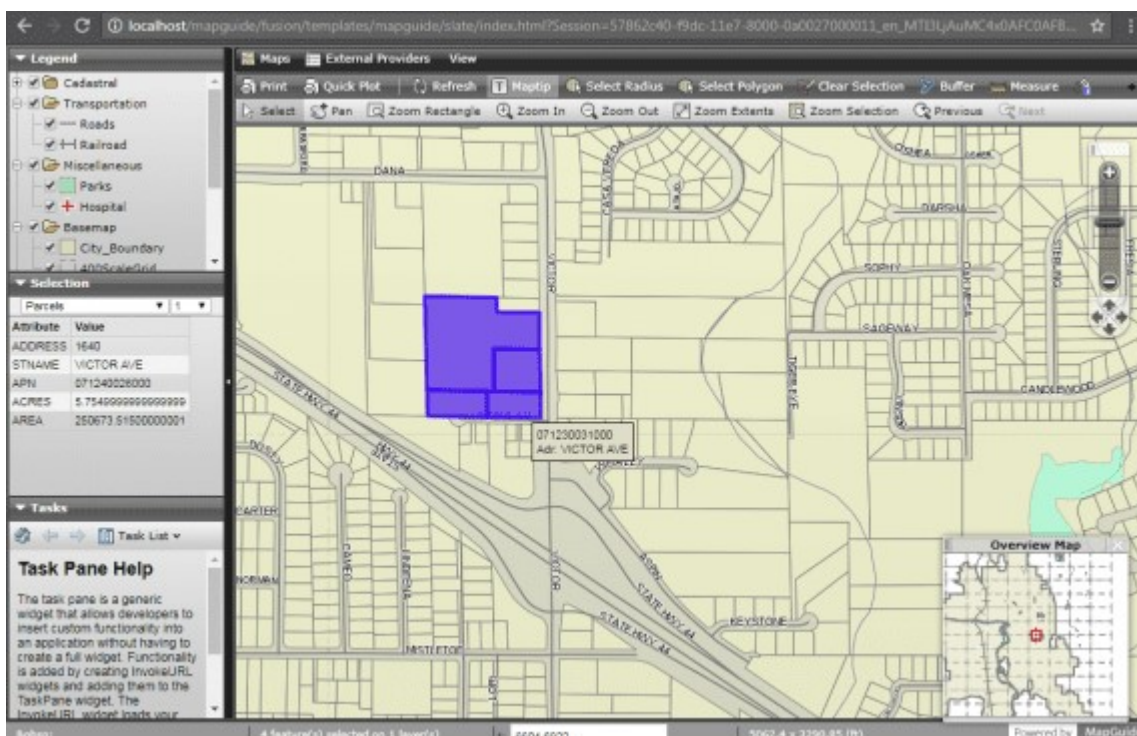
Do kraja 20. stoljeća, brzi rast različitih sustava bio je konsolidiran i standardiziran na nekoliko platformi, a korisnici su počeli istraživati prikaz geoinformacijskih podataka putem Interneta, što je zahtijevalo standarde za formate podataka i prijenos. U novije vrijeme, sve veći broj besplatnih, open-source geoinformacijskih programa radi na različitim operativnim sustavima i može se prilagoditi za izvođenje specifičnih specijaliziranih zadataka. Glavni trend 21. stoljeća bio je integracija geoinformacijskih sustava s drugim informacijskim tehnologijama i Internetskom infrastrukturom, kao što su relacijske baze podataka, računarstvo u oblaku, softver kao usluga i mobilno računarstvo.⁵

⁵ OSGeo, „Open Source GIS histor“, pristupljeno: 19.8.2024.

Geoinformacijski softverski program je računalni program koji podržava upotrebu geografskog informacijskog sustava, te omogućuje stvaranje, pohranu, upravljanje, pretraživanje, analizu i vizualizaciju geografskih podataka, tj. podataka koji predstavljaju pojave za koje je lokacija od presudne važnosti. Industrija geoinformacijskog softvera obuhvaća širok spektar komercijalnih i open-source proizvoda koji nude neke ili sve ove mogućnosti unutar različitih arhitektura informacijskih tehnologija.

Potrebno je razlikovati jedinstveni geografski informacijski sustav, koji je jedna instalacija softvera i pripadajućih podataka za određenu namjenu, zajedno s pripadajućim hardverom, osobljem i institucijama (npr. geoinformacijski sustav za određenu gradsku upravu) i geoinformacijskog softvera kao općeg primjenjivog programa namijenjenog za korištenje u mnogim pojedinačnim geografskim informacijskim sustavima u različitim područjima primjene.

Od kraja 1970-ih stvoreni su mnogi softverski paketi posebno za geoinformacijske programe. ArcGIS, koji uključuje ArcGIS Pro i nadograđeni/nasljedni softver ArcMap, koji trenutno dominira geoinformacijskim tržištem. Ostali primjeri geoinformacijskog softvera uključuju Autodesk i MapInfo Professional te open-source programe kao što su QGIS, GRASS GIS, MapGuide i Hadoop geoinformacijske software. Ovi i drugi desktop geoinformacijski programi uključuju kompletne mogućnosti za unos, upravljanje, analizu i vizualizaciju geografskih podataka i dizajnirani su za samostalno korištenje.



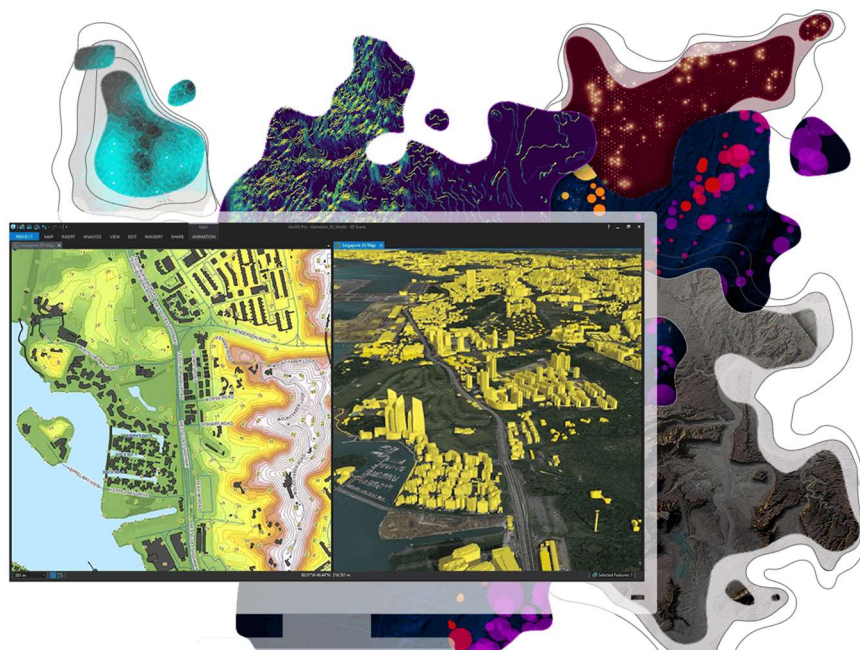
Slika 9. MapGuide software sa prikazom zona i prometnica

Izvor: OsGeo.com, dostupno na: [<https://www.osgeo.org/>], (15.08.2024.)

Počevši od kasnih 1990-ih s pojavom Interneta, s napretkom tehnologije računalnih mreža, infrastruktura za geoinformacijske software i podaci počeli su se seliti na poslužitelje, pružajući

još jedan mehanizam za omogućavanje razvoja mogućnosti geoinformacijskog softwera. To je omogućeno samostalnim softverskim paketima instaliranim na poslužitelju, slično drugim poslužiteljskim softverima kao što su HTTP poslužitelji i sustavi za upravljanje relacijskim bazama podataka, omogućujući klijentima pristup GIS podacima i alatima za obradu bez potrebe za instaliranjem specijaliziranog desktop softvera.

Ove mreže poznate su kao distribuirani GIS. Ova strategija proširena je putem Interneta i razvojem GIS platformi temeljenih na oblaku kao što su ArcGIS Online i GIS-specijalizirani softver kao usluga (SAAS). Korištenje Interneta za omogućavanje distribuiranog GIS-a poznato je kao Internet GIS.



Slika 10. Usporedba gustoće naseljenosti i prometnog opterećenja u ArcGIS softwera

Izvor: Digimap, dostupno na: [<https://digimap.edina.ac.uk/>], pristupljeno: 15.08.2024.

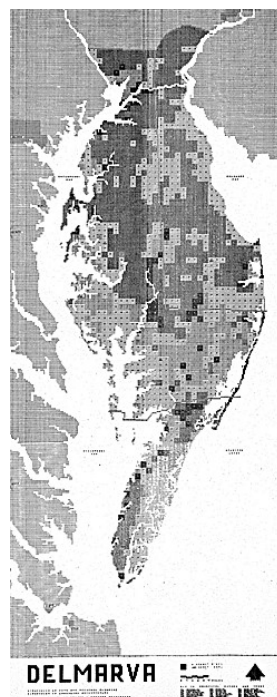
Alternativni pristup je integracija nekih ili svih ovih mogućnosti u drugi softver ili arhitekture informacijskih tehnologija. Jedan primjer je prostorno proširenje objektno-relacijskog softwera za baze podataka, koje definira geometrijski tip podataka tako da se prostorni podaci mogu pohranjivati u relacijske tablice, te proširenja SQL-a za operacije prostorne analize kao što je preklapanje. Drugi primjer je proliferacija geoprostornih biblioteka i aplikacijskih programskih sučelja (npr. GDAL, Leaflet, D3.js) koja proširuju programske jezike kako bi omogućila uključivanje GIS podataka i obrade u prilagođeni softver, uključujući web stranice za mapiranje i usluge temeljene na lokaciji na pametnim telefonima.

Najraniji geografski informacijski sustavi, poput Kanadskog geografskog informacijskog sustava započetog 1963. godine, bili su posebni programi razvijeni posebno za jednu instalaciju (obično vladinu agenciju), temeljeni na posebno dizajniranim podatkovnim modelima.

Tijekom 1950-ih i 1960-ih, akademski istraživači tijekom kvantitativne revolucije geografije počeli su pisati računalne programe za izvođenje prostorne analize, posebno na Sveučilištu Washington i Sveučilištu Michigan, ali to su također bili posebni programi koji su rijetko bili dostupni drugim potencijalnim korisnicima.

Možda je prvi softver opće namjene koji je pružao niz GIS funkcionalnosti bio *Synagraphic Mapping Package*, kojeg su razvili Howard T. Fisher i drugi u začetnom Harvard Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis od 1965. godine. Iako nije bio pravi GIS program sa svim mogućnostima, uključivao je neke osnovne funkcije za mapiranje i analizu, i bio je slobodno dostupan drugim korisnicima.

Tijekom 1970-ih, Harvard Lab je nastavio razvijati i objavljivati druge pakete usmjerene na automatizaciju specifičnih operacija, poput SYMVU (3D vizualizacija površina), CALFORM (kartogrami), POLYVRT (upravljanje topološkim vektorskim podacima), WHIRLPOOL (vektorsko preklapanje), GRID i IMGRID (upravljanje rasterskim podacima) i druge. Krajem 1970-ih, nekoliko ovih modula spojeno je u Odyssey, jedan od prvih komercijalnih cjelovitih GIS programa, objavljen 1980. godine.



Slika 11. Synagraphic Mapping Package (SYMAP)

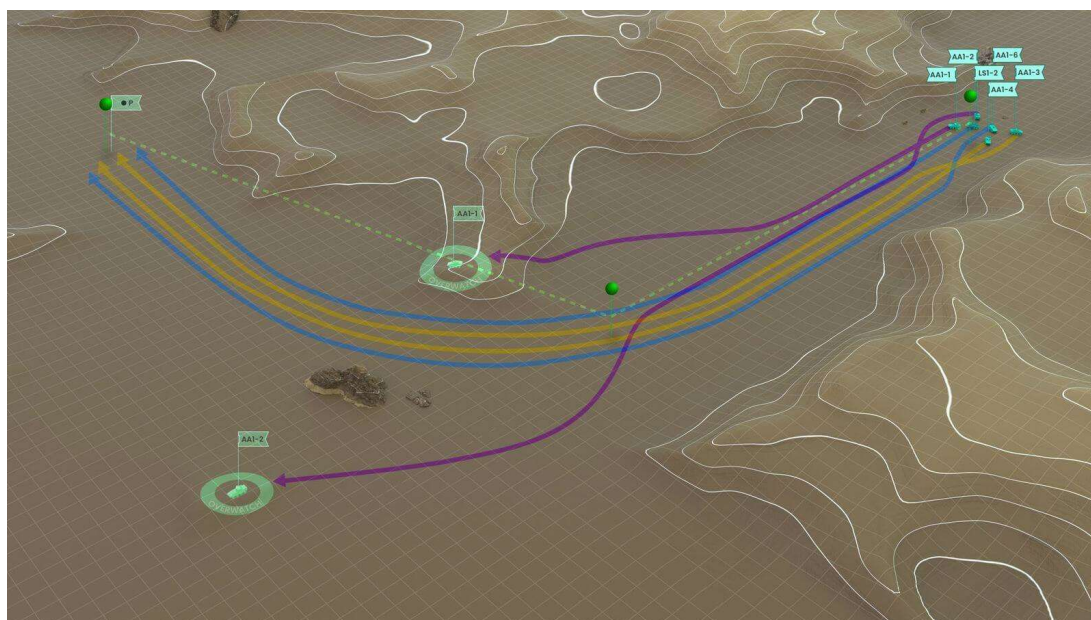
Izvor: *esri.com*, „*Beginnings of Geodesign: A Personal Historical Perspective*“, pristupljeno: 15.08.2024

Tijekom kasnih 1970-ih i ranih 1980-ih, GIS se pojavljivao u mnogim velikim vladinim agencijama koje su bile odgovorne za upravljanje zemljištem i objektima. Posebno su federalne

agencije vlade Sjedinjenih Američkih Država razvile softver koji je po definiciji bio u javnom vlasništvu zbog Zakona o slobodi informacija, i stoga je bio dostupan javnosti. Značajni primjeri uključuju Map Overlay and Statistical System (MOSS) koji su razvili Fish & Wildlife Service i Bureau of Land Management (BLM) počevši od 1976. godine

Projektinu biblioteku razvijenu u United States Geological Survey (USGS), jednu od prvih programskih biblioteka dostupnih javnosti; i GRASS GIS, izvorno razvijen od strane Army Corps of Engineers počevši od 1982. godine. Ovi su programi postavili temelje zajednice open source GIS softvera.

Osamdesetih godina prošlog stoljeća također su započeli razvoj većine komercijalnog GIS softvera, uključujući Esri ARC/INFO 1982. godine; Intergraph IGDS 1985. godine, i Mapping Display and Analysis System (MIDAS), prvi GIS proizvod za MS-DOS osobna računala, koji je kasnije postao MapInfo. Ovi programi su se proširili 1990-ih s pojavom moćnijih osobnih računala, Microsoft Windowsa i popisa stanovništva SAD-a iz 1990. godine, što je podiglo svijest o korisnosti geografskih podataka za poduzeća i druge nove korisnike.



Slika 12. Upotreba midas sustava za prikupljanje podataka u realnom vremenu uz pomoć bespilotnih letjelica

Izvor: Kongsberg Geospatial.com, „Process, Exploit, and Disseminate Sensor Data“ (2024), pristupljeno: 16.05.2024

Krajem 1990-ih pojavilo se nekoliko trendova koji su značajno promijenili GIS softverski ekosustav, krećući se u smjerovima izvan tradicionalne desktop GIS aplikacije s punim značajkama. Pojava objektno-orijentiranih programskih jezika omogućila je izdavanje biblioteka komponenti i aplikacijskih programskih sučelja, kako komercijalnih tako i *open-source*, koje su inkapsulirale specifične GIS funkcije, omogućujući programerima da izgrade prostorne sposobnosti unutar vlastitih programa.

Drugo, razvoj prostornih proširenja za objektno-relacijske sustave za upravljanje bazama podataka (*open-source* i komercijalni) stvorio je nove mogućnosti za pohranu podataka za tradicionalni GIS, ali je i omogućio integraciju prostornih sposobnosti u poslovne informacijske sustave, uključujući poslovne procese.

Treće, s pojavom World Wide Weba, web mapiranje brzo je postalo jedna od njegovih najpopularnijih aplikacija; to je dovelo do razvoja GIS softvera temeljenog na poslužitelju koji je mogao obavljati iste funkcije kao tradicionalni GIS, ali na lokaciji udaljenoj od klijenta kojem je bio potreban samo web preglednik.

Sve navedeno omogućilo je nove trendove u korištenju GIS softvera, kao što su korištenje računarstva u oblaku, softver kao usluga (SAAS) i pametni telefoni za širenje dostupnosti prostornih podataka, obrade i vizualizacije.

2.2. Tipovi geoinformacijskog softwarea

Softverski dio tradicionalnog geografskog informacijskog sustava pruža širok spektar funkcija za upravljanje prostornim podacima koji se mogu svesti u 3 kategorije:

1. Upravljanje podacima, uključujući kreiranje, uređivanje i pohranu geografskih podataka, kao i transformacije poput promjene koordinatnih sustava i pretvaranja između vektorskih i rasterskih modela.
2. Prostorna analiza koja uključuje niz alata za obradu od osnovnih upita pa sve do naprednih algoritama poput analize mreža i vektorskog preklapanja.
3. Izlazne informacije, poput kartografskog dizajna.

Moderni geoinformacijski softverski ekosustav uključuje raznovrsna aplikacijska rješenja koja mogu sadržavati više ili manje mogućnosti i objedinjuje ih u jedan program. Ovi proizvodi mogu se grupirati u sljedeće široke klasifikacije:

1. Tradicionalni oblik geoinformacijskog softvera, prvotno razvijen za super-računala, zatim Unix radne stanice, te u konačnici i osobna računala.
2. Program koji radi na udaljenom poslužitelju (obično u suradnji s HTTP poslužiteljem), obavljajući mnoge ili sve prethodno navedene funkcije, primajući zahtjeve i isporučujući rezultate putem World Wide Weba.

Tako klijent obično pristupa mogućnostima poslužitelja koristeći uobičajeni web preglednik. Rani poslužiteljski softver bio je usmjeren specifično na web mapiranje, uključujući samo fazu izlaza, dok sadašnja serverska geoinformacijska rješenja pružaju potpuni skup funkcija. Ovaj poslužiteljski softver je u središtu modernih platformi temeljenih na oblaku kao što je ArcGIS Online.

Trenutna softverska industrija sastoji se od mnogih konkurentskih proizvoda svake od ovih vrsta, kako u open-source-u tako i u komercijalnim oblicima.

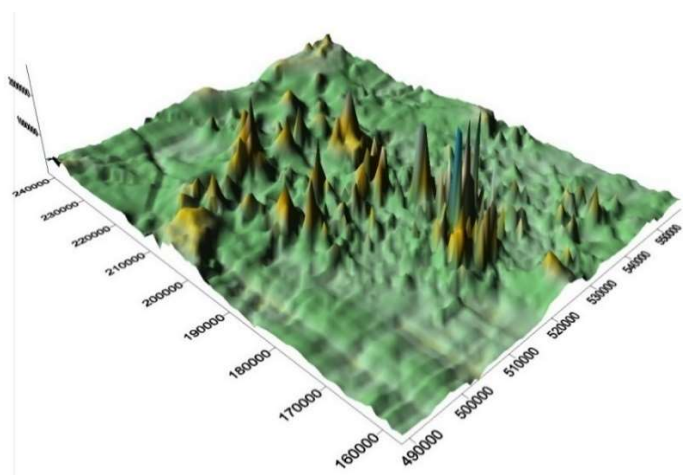
2.3. Upravljanje geoprostornim podacima

Osnova svakog geoinformacijskog sustava je baza podataka koja sadrži prikaze geografskih pojava, modelirajući njihovu geometriju (lokaciju i oblik) te njihove osobine ili atribute. GIS baza podataka može biti pohranjena u različitim oblicima, poput zbirke zasebnih datoteka podataka ili jedinstvene prostorno povezane relacijske baze podataka. Prikupljanje i upravljanje ovim podacima obično čini većinu vremena i financijskih resursa projekta, znatno više nego drugi aspekti poput analize i kartografije.

Geoinformacijski sustav koristi prostorno-vremensku lokaciju kao ključnu indeksnu varijablu za sve ostale informacije. Baš kao što relacijska baza podataka koja sadrži tekst ili brojeve može povezati mnoge različite tablice koristeći zajedničke indeksne varijable, geoinformacijski sustav može povezati inače nepovezane informacije koristeći lokaciju kao ključnu indeksnu varijablu. Ključ je lokacija i/ili opseg u vremenu i prostoru.

Svaka varijabla koja se može prostorno, a sve više i vremenski, locirati može biti referencirana pomoću GIS-a. Lokacije ili opsezi u Zemljinom prostor-vremenu mogu biti zabilježeni kao datumi/vremena pojavljivanja ili koordinate. Te GIS koordinate mogu predstavljati druge kvantificirane sustave prostorno-vremenskih referenci (na primjer, broj filmskog kadra, stanica za mjerenje protoka rijeke, oznaka milje na autocesti, geodetski reper, adresa zgrade, raskrižje ulica, ulazna vrata, dubina vode, početna točka CAD crteža/jedinice).

Jedinice primijenjene na zabilježene prostorno-vremenske podatke mogu se značajno razlikovati (čak i kada koriste iste podatke, vidi kartografske projekcije), ali sve prostorno-vremenske reference na Zemlji trebale bi se, idealno, moći međusobno povezati i na kraju odnositi na "stvarnu" fizičku lokaciju ili opseg u prostor-vremenu.



Slika 13. Korištenje X, Y i Z koordinata u ArcGIS desktop programu za simboličnu prezentaciju visinske razlike

Izvor: Geographic Information systems, „Plotting simple xyz 3d surface map in ArcMap GIS?“ Preuzeto s: <https://gis.stackexchange.com/questions/245269/plotting-simple-xyz-3d-surface-map-in-arcmap-gis>, (Pristupljeno 1.9.2024.)

Povezane točnim prostornim informacijama, nevjerojatna raznolikost stvarnih i projiciranih podataka iz prošlosti ili budućnosti može se analizirati, tumačiti i prikazati. Ova ključna karakteristika GIS-a otvorila je nove puteve znanstvenog istraživanja ponašanja i obrazaca stvarnih informacija koje prethodno nisu bile sustavno povezivane

2.3.1. Modeliranje podataka

Geoinformacijski podaci predstavljaju pojave koje postoje u stvarnom svijetu, poput cesta, zemljišta i njihove namjene, nadmorske visine, vegetacija, vodotokova i državnih granica. Najčešći tipovi pojava koje su predstavljene u podacima mogu se podijeliti u dvije skupine:

- diskretni objekti (npr. kuća, cesta) i kontinuirana polja (npr. količina padalina ili gustoća naseljenosti).
- drugi tipovi geografskih pojava, poput događaja (npr. lokacije bitaka iz Drugog svjetskog rata), procesa (npr. širenje urbanizacije) i sastava (npr. tipovi tla u nekom području) rjeđe su predstavljeni ili su predstavljeni neizravno, ili se modeliraju u analitičkim postupcima, a ne u podacima.

Tradicionalno, postoje dvije široke metode za pohranu podataka u GIS-u za obje vrste apstrakcija kartografskih referenci: raster slike i vektor. Točke, linije i poligoni predstavljaju vektorske podatke kartografski prikazanih atributskih referenci.

Nova hibridna metoda pohrane podataka uključuje identifikaciju oblaka točaka, koji kombiniraju trodimenzionalne točke s RGB informacijama na svakoj točki, stvarajući "3D sliku u boji". GIS tematske karte tako postaju sve realističnije vizualno opisujući ono što žele prikazati ili odrediti.

Prikupljanje GIS podataka uključuje nekoliko metoda za prikupljanje prostornih podataka u GIS bazu podataka, koje se mogu podijeliti u tri kategorije:

1. Primarno prikupljanje podataka, što podrazumijeva izravno mjerenje pojava na terenu (npr. daljinsko istraživanje, globalni položajni sustav);
2. Sekundarno prikupljanje podataka, što uključuje ekstrakciju informacija iz postojećih izvora koji nisu u GIS formatu, poput papirnatih karata, kroz digitalizaciju;
3. Prijenos podataka, što podrazumijeva kopiranje postojećih GIS podataka iz vanjskih izvora, poput državnih agencija i privatnih tvrtki. Sve ove metode mogu zahtijevati značajno vrijeme, financijska sredstva i druge resurse.

Podaci iz geodetskih istraživanja mogu se izravno unijeti u GIS iz sustava za digitalno prikupljanje podataka na geodetskim instrumentima pomoću tehnike zvane koordinatna geometrija. Položaji iz globalnog navigacijskog satelitskog sustava (GNSS), poput globalnog položajnog sustava (GPS), također se mogu prikupljati i zatim uvoziti u geoinformacijski sustav. Trenutni trend u prikupljanju podataka omogućava korisnicima korištenje terenskih računala s mogućnošću uređivanja podataka uživo putem bežičnih veza ili izvan mrežnog uređivanja podataka.

Također, sve veća upotreba aplikacija dostupnih na pametnim telefonima i PDA uređajima, poznata kao mobilni geoinformacijski sustav, postaje uobičajena. Ovo je dodatno poboljšano

dostupnošću jeftinih GPS uređaja za mapiranje s decimetarskom točnošću u stvarnom vremenu, što eliminira potrebu za naknadnom obradom, uvozom i ažuriranjem podataka u uredu nakon terenskog rada. Ove tehnologije također omogućuju korisnicima stvaranje karata i provođenje analiza izravno na terenu, čineći projekte učinkovitijima i kartiranje preciznijim.

Podaci prikupljeni daljinskim istraživanjem također igraju važnu ulogu u prikupljanju podataka i sastoje se od senzora pričvršćenih na platformu. Senzori uključuju kamere, digitalne skenere i lidar, dok platforme obično čine zrakoplovi i sateliti.

U Engleskoj su sredinom 1990-ih hibridni zmajevi/baloni zvani „helikites“ prvi put probno koristili kompaktne zračne digitalne kamere kao zračne geoinformacijske sustave. Softver za mjerenje iz zrakoplova, s točnošću od 0,4 mm, korišten je za povezivanje fotografija i mjerenje tla. Helikites su jeftini i prikupljaju točnije podatke od zrakoplova. Helikites se mogu koristiti iznad cesta, željeznica i gradova gdje su bespilotne letjelice zabranjene.



Slika 14. Helikite postavljen na poziciju

Izvor: Helikites.com, „GIS, Geomatics, Surveying & Inspection Helikites“, pristupljeno: 17.08.2024.

Nedavno je prikupljanje zračnih podataka postalo dostupnije uz korištenje minijaturnih bespilotnih letjelica i dronova. Na primjer: Aeryon Scout je korišten za kartiranje područja od 50 hektara s rezolucijom uzorka tla od 1 inča (2,54 cm) u samo 12 minuta.

Većina digitalnih podataka danas dolazi iz fotointerpretacije zračnih fotografija. Radne stanice za obradu kopija koriste se za digitalizaciju objekata izravno iz stereo parova digitalnih fotografija. Ovi sustavi omogućuju prikupljanje podataka u dvije i tri dimenzije, s visinama koje se mjere izravno iz stereo parova koristeći načela fotogrametrije. Analogne zračne fotografije moraju se skenirati prije nego što se unesu u sustav za obradu kopija, dok se za visokokvalitetne digitalne kamere taj korak preskače.

Satelitsko daljinsko istraživanje pruža još jedan važan izvor prostornih podataka. Sateliti koriste različite senzorske pakete kako bi pasivno mjerili refleksiju iz dijelova elektromagnetskog

spektra ili radio valove koje je emitirao aktivni senzor, poput radara. Daljinsko istraživanje prikuplja rasterske podatke koji se mogu dodatno obraditi koristeći različite spektralne trake za identifikaciju objekata i klasa od interesa, poput pokrova zemljišta.



Slika 15. Simbolični prikaz satelita koji se koriste za analizu različitih aspekata zemljine površine.

Izvor: Medium.com, „GIS, REMOTE SENSING and GPS — What is the difference?“, S. Tanniru (February 2019., pristupljeno: 20.8.2024.

Najčešća metoda stvaranja GIS podataka je digitalizacija, pri čemu se tvrda kopija karte ili plana prenosi u digitalni oblik pomoću CAD programa i mogućnosti georeferenciranja. Sa širokom dostupnošću slika (sa satelita, zrakoplova, Helikitesa i UAV-ova), „heads-up“ digitalizacija postaje glavni način na koji se geografski podaci izvlače. „Heads-up“ digitalizacija uključuje praćenje geografskih podataka izravno na vrhu zračnih snimaka, za razliku od tradicionalne metode praćenja geografskog oblika na zasebnom tabletu za digitalizaciju („heads-down“ digitalizacija).

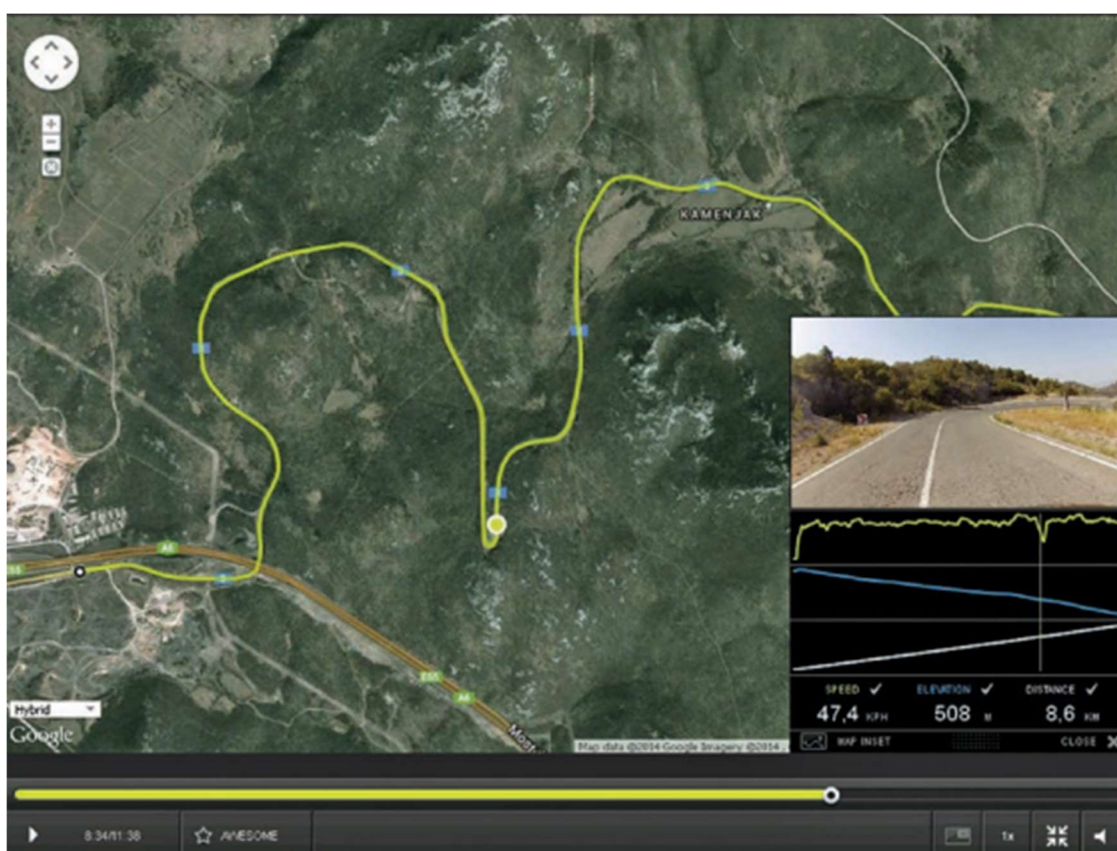
„Heads-down digitalizacija, ili ručna digitalizacija, koristi poseban magnetski olovku ili stilus koji unosi informacije u računalo kako bi se stvorila identična, digitalna karta. Neki tableti koriste alat sličan mišu, nazvan „puck“, prema hokejskom paku, umjesto olovke s osjetljivim vrhom za ekrane osjetljive na dodir. „Puck“ ima mali prozor s križnim nitima koje omogućuju veću preciznost i točno određivanje značajki karte. Iako se *heads-up* digitalizacija češće koristi, *heads-down* digitalizacija je i dalje korisna za digitalizaciju karata loše kvalitete.

Postojeći podaci tiskani na papirnim ili polimernim filmskim kartama mogu se digitalizirati ili skenirati kako bi se proizveli digitalni podaci. Digitalizator proizvodi vektorske podatke dok operater prati točke, linije i granice poligona s karte. Skeniranje karte rezultira raster podacima koji se mogu dalje obraditi kako bi se proizveli vektorski podaci.

Kada se podaci prikupljaju, korisnik treba razmotriti treba li ih prikupiti s relativnom ili apsolutnom točnošću, budući da to može utjecati na interpretaciju informacija i troškove prikupljanja podataka.

Nakon unosa podataka u GIS, podaci obično zahtijevaju uređivanje kako bi se uklonile greške ili proveli daljnji postupci obrade. Za vektorske podatke potrebno je osigurati da budu "topološki ispravni" prije nego što se mogu koristiti za naprednije analize. Na primjer, u mreži cesta, linije se moraju povezati s čvorovima na raskrižju. Također je potrebno ukloniti greške poput kratkih i dugih spojeva. Za skenirane karte, nedostaci na izvornoj karti možda će se trebati ukloniti s rezultantnog rastera. Na primjer, točkice od prljavštine mogu povezati dvije linije koje ne bi trebale biti povezane.

Slika 16. Primjer procesa digitalizacije (interpretacije), Sučelje Contour storyteller softvera



Izvor: P. Feletar (2015), „Hrvatske povijesne ceste; Karolina, Jozefina i Lujzijana“ Dostupno na: [\[http://bib.irb.hr/datoteka/928880.Feletar_-_Stare_cestes_-_kb.pdf\]](http://bib.irb.hr/datoteka/928880.Feletar_-_Stare_cestes_-_kb.pdf), Pristupljeno: 21.9.2024.

2.3.2. Projekcije, koordinatni sustavi i registracija podataka

Geografski podaci su inherentno sferni i predstavljaju površinu Zemlje. Da bi se ti podaci prikazali na ravnoj površini, kao što je karta, moraju se projicirati. Projekcija je matematička transformacija koja prevodi trodimenzionalnu površinu Zemlje na dvodimenzionalnu ravninu. Različite vrste projekcija koriste se ovisno o svrsi karte i prirodi podataka. Uobičajene projekcije su:

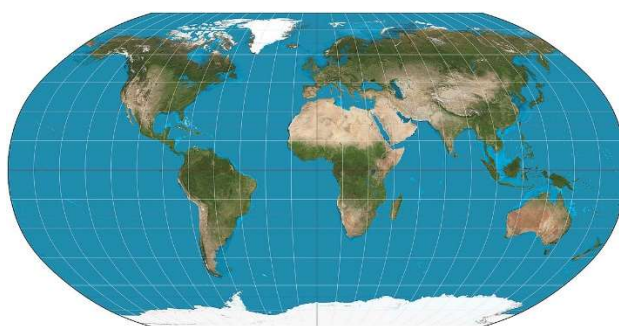
- Mercatorova projekcija: Očuva kutove i oblike, što je čini korisnom za navigaciju, ali iskrivljuje veličinu i udaljenost, osobito blizu polova.
- Robinsonova projekcija: Kompromisna projekcija koja minimizira iskrivljenja veličine i oblika.
- Albersova ekvinocijalna konusna projekcija: Očuva površinu, što je čini korisnom za mapiranje velikih područja poput kontinenta.

Svaka projekcija ima svoje prednosti i ograničenja, a izbor projekcije ovisi o specifičnim zahtjevima projekta. Koordinatni sustavi koriste se za definiranje lokacije geografski značajnih značajki. Pružaju okvir za dodjeljivanje koordinata točkama na površini Zemlje. Postoje dva glavna tipa:

Geografski Koordinatni Sustavi koji koriste geografske širine i dužine za definiranje lokacija. Širina mjeri sjevernu-južnu poziciju, dok dužina mjeri istočnu-zapadnu poziciju. GCS se obično koristi za globalno mapiranje i navigaciju.

Projekcijski Koordinatni Sustavi koji koriste kartezijanske koordinate (x, y) na ravnoj površini. PCS se temelji na određenoj projekciji i koristi se za detaljno, lokalno mapiranje.

Registracija, također poznata kao georeferenciranje, je proces usklađivanja prostornih podataka s koordinatnim sustavom. To uključuje prilagodbu podataka tako da točno odgovaraju stvarnim geografskim lokacijama. To je ključno za integraciju različitih skupova podataka i osiguranje da se svi slojevi prostornih podataka ispravno usklade.



Slika 17. Klasična Robinsonova projekcija

Izvor: N. Frančula, M. Lapaine, N. Vučetić, „Izbor kartografske projekcije za karte sitnih mjerila“ (1997.), pristupljeno: 20.8.2024.

Koraci koji se koriste u registraciji podataka:

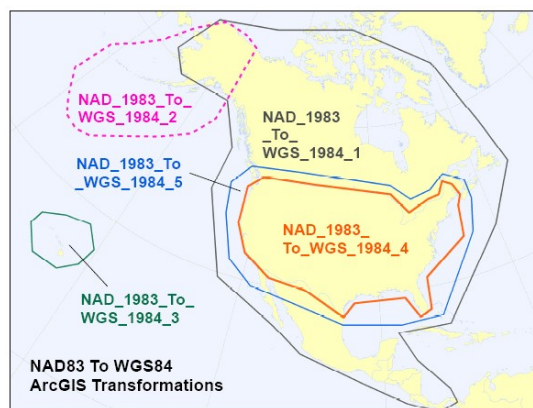
1. Identifikacija kontrolnih točaka: Odaberu se zajedničke referentne točke na podacima i u koordinatnom sustavu. Ove točke koriste se za usklađivanje skupova podataka.
2. Primjena transformacija: Koristit se matematičke transformacije za prilagodbu podataka. Ovo može uključivati skaliranje, rotiranje i pomicanje podataka kako bi odgovarali kontrolnim točkama.
3. Provjera točnosti: Povjeruje se usklađivanje uspoređujući registrirane podatke s poznatim koordinatama ili referentnim slojevima kako biste osigurali točnost.

Registracija osigurava da se različiti skupovi podataka, često prikupljeni u različito vrijeme ili korištenjem različitih metoda, ispravno usklade na istom koordinatnom sustavu. Ovo je ključno za preciznu prostornu analizu i mapiranje.

Zemlja se može predstavljati različitim modelima, od kojih svaki može pružiti različit skup koordinata (npr. geografska širina, dužina, nadmorska visina) za bilo koju točku na Zemljinoj površini. Najjednostavniji model je pretpostavka da je Zemlja savršena kugla. Kako su se akumulirali sve veći broj mjerenja Zemlje, modeli Zemlje postali su sofisticiraniji i precizniji. U stvarnosti, postoje modeli nazvani datumima koji se primjenjuju na različite dijelove Zemlje kako bi se povećala točnost, kao što su Sjevernoamerički datum iz 1983. za mjerenja u SAD-u i Svjetski geodetski sustav za globalna mjerenja.

Geografska širina i dužina na karti napravi na temelju lokalnog datuma možda se neće podudarati s onima dobivenima iz GPS prijarnika. Pretvaranje koordinata s jednog datuma na drugi zahtijeva transformaciju datuma, poput Helmertove transformacije, iako u određenim situacijama jednostavna translacija može biti dovoljna.

U popularnim GIS softverima, podaci projektirani u geografskoj širini/dužini često su predstavljeni kao Geografski koordinatni sustav. Na primjer, podaci u geografskoj širini/dužini ako je datum 'North American Datum of 1983' označeni su kao 'GCS North American 1983'.



Slika 18. GCS North American 1984'

Izvor: Stack Exchange, pristupljeno: 21.8.2024.

2.3.3. Kvaliteta podataka

Iako nijedan digitalni model ne može biti savršena reprezentacija stvarnog svijeta, važno je da GIS podaci budu visoke kvalitete. U skladu s načelom Podaci moraju biti dovoljno blizu stvarnosti kako bi rezultati GIS postupaka ispravno odgovarali rezultatima stvarnih procesa. To znači da ne postoji jedinstveni standard za kvalitetu podataka, jer potrebna razina kvalitete ovisi o mjerilu i svrsi zadataka za koje će se koristiti. Nekoliko elemenata kvalitete podataka važno je za geoinformacijske podatke

- Točnost ili stupanj sličnosti između prikazane mjere i stvarne vrijednosti; s druge strane, pogreška je količina razlike između njih. U geoinformacijskim sustavima postoji zabrinutost za točnost u prikazima lokacije (pozicijska točnost), svojstva (atributna točnost) i vremena. Na primjer, prema popisu stanovništva SAD-a iz 2020. godine, populacija Houstona na dan 1. travnja 2020. bila je 2.304.580; ako je stvarni broj bio 2.310.674, to bi bila pogreška i time nedostatak atributne točnosti.
- Stupanj preciznosti u prikazanoj vrijednosti. Kod kvantitativnog svojstva, ovo je broj značajnih znamenki u izmjerenoj vrijednosti. Neprecizna vrijednost je nejasna ili dvosmislena, uključujući raspon mogućih vrijednosti. Na primjer, ako bi netko rekao da je populacija Houstona 1. travnja 2020. bila "oko 2,3 milijuna," ta bi izjava bila neprecizna, ali vjerojatno točna jer ispravna vrijednost (i mnoge netočne vrijednosti) su uključene. Kao i kod točnosti, prikazi lokacije, svojstva i vremena mogu biti više ili manje precizni. Razlučivost je često korišten izraz za pozicijsku preciznost, posebno u skupovima podataka rastera. Mjerilo je usko povezano s preciznošću na kartama, jer određuje poželjnu razinu prostorne preciznosti, ali je problematično u GIS-u, gdje se skup podataka može prikazati u različitim mjerilima (uključujući mjerila koja ne bi bila prikladna za kvalitetu podataka).
- Opće priznanje prisutnosti pogrešaka i nepreciznosti u geografskim podacima. To jest, to je stupanj opće sumnje, s obzirom na to da je teško točno znati koliko pogrešaka postoji u skupu podataka, iako se može pokušati napraviti neka vrsta procjene (interval pouzdanosti je takva procjena nesigurnosti). Ovo se ponekad koristi kao kolektivni izraz za sve ili većinu aspekata kvalitete podataka.
- Stupanj nejasnoća ili neodređenosti do kojeg je neki aspekt (lokacija, svojstvo ili vrijeme) fenomena inherentno neprecizan, umjesto da nepreciznost proizlazi iz izmjerene vrijednosti. Na primjer, prostorni opseg metropolitanskog područja Houstona je nejasan, jer postoje mjesta na rubovima grada koja su manje povezana s centralnim dijelom grada (mjereno aktivnostima kao što je putovanje na posao) nego mjesta koja su bliže. Matematički alati poput teorije nejasnih skupova (eng. fuzzy set theory) često se koriste za upravljanje nejasnoćama u geografskim podacima.
- Stupanj potpunosti u kojem skup podataka predstavlja sve stvarne značajke koje bi trebao uključivati. Na primjer, ako sloj "ceste u Houstonu" nedostaje neke stvarne ulice, on je nepotpun.

- Trenutačnost ažuriranja podataka ili vremenski najnovija točka u vremenu kada se podaci smatraju točnim prikazom stvarnosti. To je važna briga za većinu GIS aplikacija koje nastoje prikazati svijet "u sadašnjosti," pri čemu su stariji podaci lošije kvalitete.
- Stupanj u kojem prikazi mnogih fenomena u skupu podataka ispravno odgovaraju jedan drugome. Dosljednost u topološkim odnosima između prostornih objekata je posebno važan aspekt dosljednosti. Na primjer, ako bi sve linije u mreži ulica slučajno bile pomerane 10 metara na istok, bile bi netočne, ali i dalje dosljedne, jer bi se i dalje ispravno povezivale na svakom raskrižju, a alati za analizu mreže, poput najkraćeg puta, i dalje bi davali točne rezultate.
- Nesigurnost prikupljenih podataka u kojem kvaliteta rezultata metoda prostorne analize i drugih alata za obradu proizlazi iz kvalitete ulaznih podataka. Na primjer, interpolacija je uobičajena operacija koja se koristi na mnogo načina u GIS-u; budući da generira procjene vrijednosti između poznatih mjerenja, rezultati će uvijek biti precizniji, ali manje sigurni (jer svaka procjena ima nepoznatu količinu pogreške).
- Kvaliteta skupa podataka vrlo je ovisna o njegovim izvorima i metodama korištenim za njegovo stvaranje. Geodeti su mogli pružiti visoku razinu prostorne točnosti koristeći vrhunsku GPS opremu, dok su GPS lokacije na prosječnim pametnim telefonima mnogo manje precizne. Uobičajeni skupovi podataka poput digitalnih terenskih i zračnih snimaka dostupni su u širokom rasponu razina kvalitete, posebno prostorne preciznosti. Papirne karte, koje su digitalizirane dugi niz godina kao izvor podataka, također mogu biti različite kvalitete.
- Kvantitativna analiza karata stavlja naglasak na probleme točnosti. Elektronička i druga oprema korištena za mjerenja u GIS-u daleko je preciznija od uređaja za konvencionalnu analizu karata. Svi geografski podaci su inherentno netočni, a te netočnosti će se prenositi kroz GIS operacije na načine koji su teško predvidivi.
- Restrukturiranje podataka može se izvesti pomoću GIS-a kako bi se podaci pretvorili u različite formate. Na primjer, GIS se može koristiti za pretvorbu satelitske slike u vektorsku strukturu generiranjem linija oko svih ćelija s istom klasifikacijom, dok se utvrđuju prostorni odnosi ćelija, poput susjedstva ili uključivanja.
- Naprednija obrada podataka može se izvesti pomoću obrade slika, tehnike koju su razvili NASA i privatni sektor krajem 1960-ih za poboljšanje kontrasta, prikaz lažnih boja i različite druge tehnike, uključujući upotrebu dvodimenzionalnih Fourierovih transformacija. Budući da se digitalni podaci prikupljaju i pohranjuju na različite načine, dva izvora podataka možda nisu potpuno kompatibilni. Stoga, GIS mora biti sposoban pretvoriti geografske podatke iz jedne strukture u drugu. Pri tome, implicitne pretpostavke koje stoje iza različitih ontologija i klasifikacija zahtijevaju analizu. Ontologije objekata sve više dobivaju na važnosti kao posljedica objektno-orientiranog programiranja i stalnog rada Barryja Smitha i njegovih suradnika.
- Prostorni alati pružaju funkcionalnost obrade podataka tradicionalnog softvera za vađenje, transformaciju i učitavanje, ali s primarnim fokusom na upravljanje prostornim podacima. Omogućuju korisnicima GIS-a da prevode podatke između različitih

standarda i vlasničkih formata, dok se podaci geometrijski transformiraju tijekom prijenosa. Ovi alati mogu se pojaviti u obliku dodataka postojećem široko namijenjenom softveru poput proračunskih tablica.

2.4. Prostorna analiza

Geoinformacijska prostorna analiza je brzo razvijajuće područje, a geoinformacijski programski paketi sve više uključuju analitičke alate kao standardne ugrađene funkcionalnosti i opcionalne skupove alata te kao dodatke ili „analitičare“.

U mnogim slučajevima ove alate pružaju originalni dobavljači softvera (komercijalni dobavljači ili suradnički razvojni timovi), dok su u drugim slučajevima objekti razvijeni i pruženi od strane trećih strana. Nadalje, mnogi proizvođači nude softverske razvojne kitove (SDK-ove), programske jezike i podršku za jezike, skriptne mogućnosti i/ili posebne sučelje za razvoj vlastitih analitičkih alata ili varijacija.

Povećana dostupnost stvorila je novu dimenziju poslovne inteligencije nazvanu "prostorna inteligencija" koja, kada se otvoreno pruža putem intraneta, demokratizira pristup geografskim i društvenim mrežama podataka. Geoprostorna inteligencija, bazirana na GIS prostornoj analizi, također je postala ključni element za sigurnost. GIS u cijelosti može se opisati kao konverzija u vektorsku reprezentaciju ili bilo koji drugi proces digitalizacije.

Mnogi geografski zadaci uključuju teren, oblik površine Zemlje, kao što su hidrologija, zemljani radovi i biogeografija. Stoga su podaci o terenu često osnovni skup podataka u geoinformacijskom sustavu, obično u obliku rastera digitalnog modela visine ili trokutaste nepravilne mreže. Različiti alati su dostupni u većini GIS softvera za analizu terena, često stvaranjem izvedenih skupova podataka koji predstavljaju određeni aspekt površine. Neki od najčešćih uključuju sljedeće:

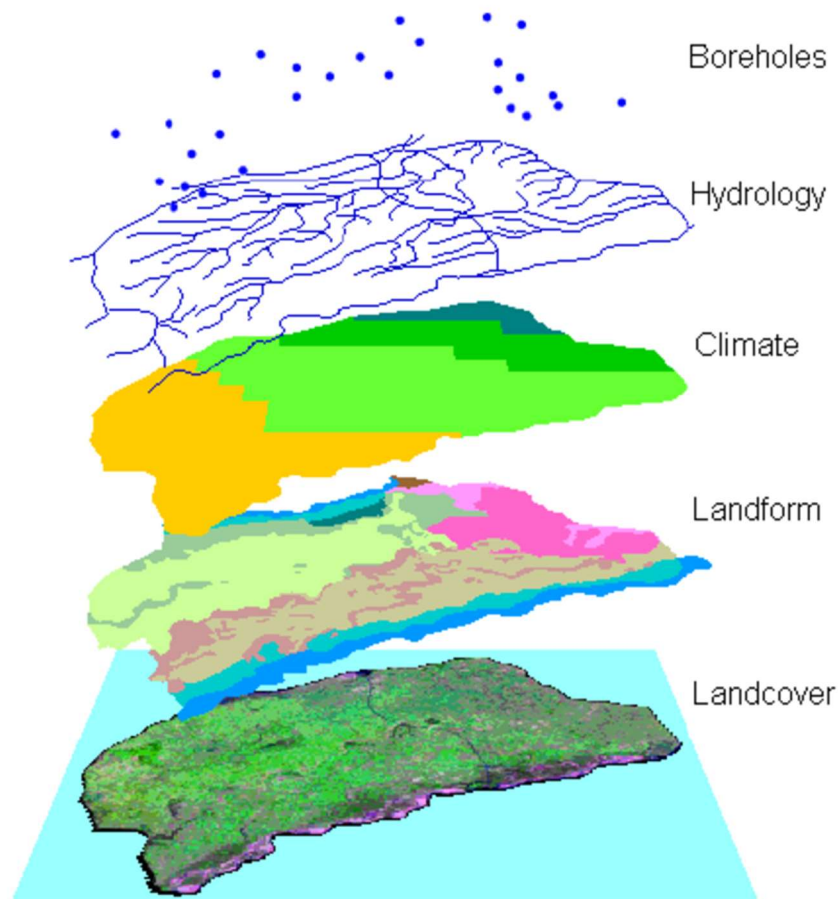
- Nagib ili padina je strmina ili gradijent jedinice terena, obično mjerena kao kut u stupnjevima ili kao postotak.
- Ekspozicija se može definirati kao smjer u kojem jedinica terena gleda. Ekspozicija se obično izražava u stupnjevima od sjevera.
- Izračun sječe i nasipavanja odnosi se na razliku između površine prije i nakon projekta iskopavanja kako bi se procijenili troškovi.
- Hidrološko modeliranje može pružiti prostorni element koji nedostaje drugim hidrološkim modelima, s analizom varijabli kao što su nagib, ekspozicija i područje sliva ili porječja.

Analiza terena je temeljna za hidrologiju, jer voda uvijek teče niz padinu. Osnovna analiza terena digitalnog modela visine (DEM) uključuje izračun nagiba i ekspozicije, što čini DEM vrlo korisnim za hidrološku analizu. Nagib i ekspozicija se tada mogu koristiti za određivanje smjera površinskog otjecanja, a time i akumulacije protoka za formiranje potoka, rijeka i jezera.

Područja divergentnog toka također mogu jasno pokazati granice sliva. Nakon što se stvori matrica smjera protoka i akumulacije, mogu se provoditi upiti koji pokazuju doprinoseća ili raspršujuća područja u određenoj točki. Modelu se može dodati više detalja, kao što su hrapavost terena, tipovi vegetacije i tipovi tla, koji mogu utjecati na

stope infiltracije i evapotranspiracije, a time i na površinski tok. Jedna od glavnih upotreba hidrološkog modeliranja je u istraživanju zagađenja okoliša. Ostale primjene hidrološkog modeliranja uključuju mapiranje podzemnih i površinskih voda, kao i karte rizika od poplava.

- Analiza vidokruga (viewshed analysis) predviđa utjecaj terena na vidljivost između lokacija, što je posebno važno za bežičnu komunikaciju.
- Sjenčani reljef je prikaz površine kao da je trodimenzionalni model osvjetljen iz određenog smjera, što se vrlo često koristi na kartama.



Slika 19. Geoinformacijski sutav koji istovremeno pokriva bušotine, vodene tokove, klimu, vrstu terena i vegetaciju

Izvor: Research Gate, pristupljeno: 21.8.2024.

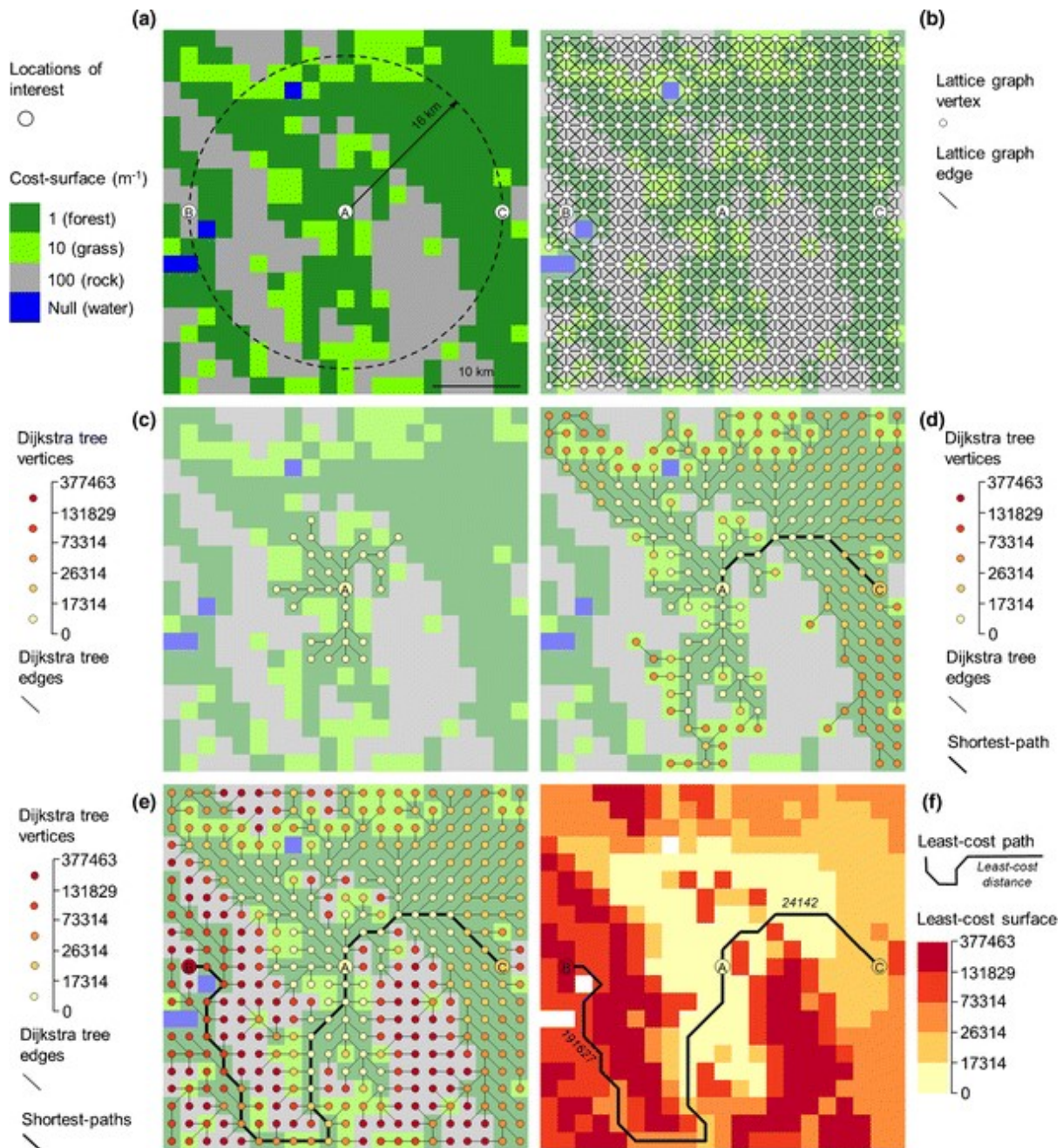
Većina ovih analiza generira se pomoću algoritama koji su diskretne pojednostavnjene verzije vektorskog računa. Nagib, aspekt i zakrivljenost površine u analizi terena izvedeni su iz operacija susjedstva koristeći vrijednosti nadmorske visine susjednih ćelija. Svaka od ovih analiza snažno je pod utjecajem razine detalja u podacima o terenu, kao što je razlučivost, koja bi trebala biti pažljivo odabrana.

- Analiza blizine (*Proximity analysis*) koristi se u geoinformacijskom sustavu za određivanje udaljenosti između prostornih objekata i pronalaženje odnosa blizine

između njih. Ova vrsta analize može uključivati identifikaciju najbližih objekata, kreiranje zona utjecaja (*buffer zones*) ili mjerenje udaljenosti između točaka, linija ili poligona.

- Udaljenost je ključni element u rješavanju mnogih geografskih zadataka, obično zbog "trenja" udaljenosti. Stoga, širok raspon alata za analizu u GIS-u analizira udaljenost na različite načine, kao što su sigurnosne zone, Voronoi ili Thiessen poligoni, analiza troška udaljenosti (*eng. cost distance analysis*) i analiza mreža (*network analysis*).
- Teško je povezati karte močvarnih područja s količinama oborina zabilježenim na različitim točkama poput zračnih luka, televizijskih postaja i škola. Međutim, GIS se može koristiti za prikaz dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih karakteristika Zemljine površine, podzemlja i atmosfere iz informacija s točaka. Na primjer, GIS može brzo generirati kartu s izohipsama ili konturama koje pokazuju različite količine oborina. Takva karta može se smatrati kartom kontura oborina. Mnoge sofisticirane metode mogu procijeniti karakteristike površina iz ograničenog broja točkastih mjerenja. Dvodimenzionalna karta kontura stvorena iz modeliranja površine na temelju mjerenja oborina može se preklapati i analizirati s bilo kojom drugom kartom u GIS-u koja pokriva isto područje. Ova GIS-om izvedena karta može zatim pružiti dodatne informacije, poput održivosti potencijala hidroenergije kao obnovljivog izvora energije. Slično tome, GIS se može koristiti za usporedbu drugih obnovljivih izvora energije kako bi se pronašao najbolji geografski potencijal za regiju.
- Dodatno, iz serije trodimenzionalnih točaka ili digitalnog modela elevacije mogu se generirati izohipsne linije koje predstavljaju konture elevacije, zajedno s analizom nagiba, sjenčanim reljefom i drugim proizvodima vezanim uz elevaciju. Slivovi se mogu lako definirati za bilo koji dio, računanjem svih područja koja su u neposrednoj blizini i uzbrdo od bilo koje točke interesa.
- Slično tome, put kojim bi površinska voda željela teći u povremenim i stalnim potocima, može se izračunati iz podataka o elevaciji u geoinformacijskom sustavu.
- Topološko modeliranje u geoinformacijskom sustavu može prepoznati i analizirati prostorne odnose koji postoje unutar digitalno pohranjenih prostornih podataka. Ovi topološki odnosi omogućuju izvođenje složenog prostornog modeliranja i analize. Topološki odnosi između geometrijskih entiteta tradicionalno uključuju susjedstvo (što se dodiruje s čim), sadržaj (što obuhvaća što) i blizinu (kako je nešto blizu nečemu drugom).
- Geometrijske mreže su linearne mreže objekata koje se mogu koristiti za prikaz međusobno povezanih značajki i za izvođenje specijalnih prostornih analiza. Geometrijska mreža sastoji se od rubova koji su povezani na čvorištima, slično grafovima u matematici i računarstvu. Kao i kod grafova, mreže mogu imati težinu i protok dodijeljene svojim rubovima, što može točnije prikazati različite međusobno povezane značajke. Geometrijske mreže često se koriste za modeliranje mreža cesta i javnih komunalnih mreža, kao što su mreže električne energije, plina i vode. Modeliranje mreža također se često koristi u planiranju prijevoza, modeliranju hidrologije i modeliranju infrastrukture.

- Transportna mreža, ili mreža prijevoza, je mreža ili graf u geografskoj prostoru koja opisuje infrastrukturu koja omogućuje i ograničava kretanje ili protok. Primjeri uključuju, ali nisu ograničeni na, cestovne mreže, željezničke pruge, zračne rute, cijevi, akvadukte i elektroenergetske linije. Digitalna reprezentacija tih mreža i metode za njihovu analizu čine osnovni dio prostorne analize, geografskih informacijskih sustava, javnih komunalnih usluga i inženjeringa prijevoza. Analiza mreža primjena je teorija i algoritama teorije grafova i predstavlja oblik analize blizine.
- Primjenjivost teorije grafova na geografske fenomene prepoznata je u ranim fazama. Mnogi od ranih problema i teorija koje su proučavali teoretičari grafova bili su inspirirani geografskim situacijama, poput problema Sedam mostova u Königsbergu, koji je bio jedno od prvih temelja teorije grafova kada ga je riješio Leonhard Euler 1736. godine. Tokom 1970-ih godina, veza je ponovno uspostavljena od strane ranih razvijачa geografskih informacijskih sustava, koji su je koristili u topološkim strukturama podataka poligona (što ovdje nije od značaja) i analizi transportnih mreža. Rani radovi, poput Tinklera (1977), fokusirali su se uglavnom na jednostavne shematske mreže, vjerojatno zbog nedostatka značajnih količina linearnih podataka i računalne složenosti mnogih algoritama. Potpuna implementacija algoritama za analizu mreža u GIS softveru pojavila se tek u 1990-ima, ali danas su općenito dostupni napredni alati.
- Analiza mreže zahtijeva detaljne podatke koji predstavljaju elemente mreže i njihove karakteristike. Srž skupa podataka mreže je vektorski sloj polilinija koji predstavljaju putanje putovanja, bilo precizne geografske rute ili shematske dijagrame, poznate kao rubovi. Osim toga, potrebne su informacije o topologiji mreže, koja predstavlja veze između linija, čime se omogućuje modeliranje prijenosa s jedne linije na drugu. Tipično, ove točke veze, ili čvorovi, uključeni su kao dodatni skup podataka.



Slika 20. Modeliranje puta najmanjeg troška

Izvor: T. R. Etherington (Svibanj 2017.), „Least-Cost Modelling and Landscape Ecology: Concepts, Applications, and Opportunities“; pristupljeno: 21.8.2024.

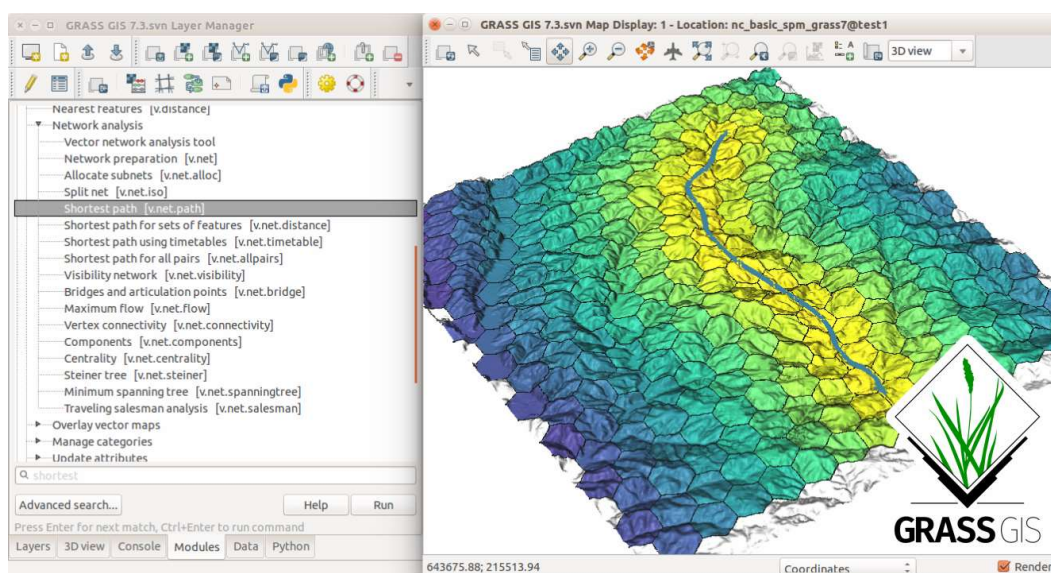
I rubovi i čvorovi imaju pridružene osobine koje se odnose na kretanje ili protok:

- Kapacitet, mjerena bilo kakvih ograničenja u volumenu protoka, poput broja traka na cesti, telekomunikacijske propusnosti ili promjera cijevi.
- Impedancija, mjerena bilo kakvog otpora protoku ili brzini protoka, poput ograničenja brzine ili zabranjenog smjera skretanja na raskrižju ulica.
- Trošak nakupljen tijekom pojedinačnog putovanja duž ruba ili kroz čvor, obično proteklo vrijeme, u skladu s načelom trenja udaljenosti. Na primjer, čvor u mreži ulica može

zahtijevati različito vrijeme za izvođenje određenog lijevog ili desnog skretanja. Takvi troškovi mogu se mijenjati s vremenom, kao što je obrazac vremena putovanja duž urbane ulice ovisno o dnevnim ciklusima prometnog volumena.

- Količina protoka, mjerenja stvarnog kretanja koje se odvija. Ovo može biti specifična mjerenja s vremenskim oznakama prikupljena pomoću senzorskih mreža kao što su brojači prometa, ili opći trendovi tijekom određenog razdoblja, kao što je godišnji prosječni dnevni promet.

Širok raspon metoda, algoritama i tehnika razvijen je za rješavanje problema i zadataka vezanih uz protok u mrežama. Neki od njih su uobičajeni za sve vrste prometnih mreža, dok su drugi specifični za određena područja primjene. Mnogi od tih algoritama implementirani su u komercijalnom i *open-source* GIS softveru, kao što su GRASS GIS i Network Analyst ekstenzija za Esri ArcGIS.



Slika 21. GRASS GIS

Izvor: ncsu.geoforall, „Introduction to GRASS GIS Software and data“, pristupljeno: 21.8.2024.

Geoinformacijsko ili prostorno rudarenje podataka je primjena metoda rudarenja podataka na prostorne podatke. Rudarenje podataka, koje je djelomično automatizirano pretraživanje skrivenih uzoraka u velikim bazama podataka, nudi velike potencijalne koristi za primjenu GIS-a u donošenju odluka. Tipične primjene uključuju praćenje okoliša. Karakteristika takvih primjena je da prostorna korelacija između mjerenja podataka zahtijeva korištenje specijaliziranih algoritama za učinkovitiju analizu podataka.

2.4. Kartografija

Kartografija je dizajn i izrada karata, odnosno vizualnih prikaza prostornih podataka. Velika većina moderne kartografije provodi se uz pomoć računala, obično korištenjem GIS-a, ali se kvalitetna kartografija također postiže uvozom slojeva u dizajnerski program radi dorade. Većina GIS softvera korisnicima pruža značajnu kontrolu nad izgledom podataka.

Web mapping ili web kartografija je proces izrade i prikazivanja kartografskih prikaza putem interneta. Ova tehnologija omogućava korisnicima pristup kartama i prostornim podacima preko web preglednika, često putem web aplikacija koje koriste različite tehnologije poput AJAX-a, JavaScript-a i Flash-a. Web mapping omogućava interakciju s kartama, kao što su zumiranje, pomicanje i filtriranje podataka, te omogućava dijeljenje i pristup kartama s bilo kojeg mjesta u svijetu.

U posljednjim godinama došlo je do eksplozije besplatnog i lako dostupnog softvera za kartografiju kao što su vlasničke web aplikacije Google Maps i Bing Maps, kao i besplatna i otvorena alternativa OpenStreetMap. Ove usluge omogućuju javnosti pristup ogromnim količinama geografskih podataka, koje mnogi korisnici percipiraju kao pouzdane i korisne kao profesionalne informacije. Na primjer, tijekom pandemije COVID-19, web karte hostane na nadzornim pločama korištene su za brzo širenje podataka o slučajevima općoj javnosti.

Neki od njih, poput Google Maps i OpenLayers, nude sučelja za programiranje aplikacija (API) koja omogućuju korisnicima da kreiraju prilagođene aplikacije. Ovi alati obično nude ulične karte, zračne/satelitske snimke, geokodiranje, pretrage i funkcionalnost usmjeravanja. Web kartografija također je otkrila potencijal crowdsourcinga geodataka u projektima poput OpenStreetMap, koji je suradnički projekt za izradu besplatne uređive karte svijeta. Ovi mashup projekti su dokazali da pružaju visoku razinu vrijednosti i koristi krajnjim korisnicima izvan onoga što je moguće kroz tradicionalne geografske informacije.

Od svog nastanka 1960-ih, GIS se koristi u sve većem broju primjena, što potvrđuje široku važnost lokacije i olakšava kontinuirano smanjenje prepreka za usvajanje geoprostorne tehnologije.

2.5. Dodatna područja primjene GIS-a

Geografski informacijski sustavi (GIS) postali su ključni u znanostima vezanim uz **vodene tijekove i imunologiju**. Voda je dinamična, a njezine značajke se stalno mijenjaju. Tehnološki napreci omogućili su znanstvenicima praćenje tih promjena, uključujući satelitsko praćenje divljih životinja i računalno kartiranje staništa. Agencije poput Geološkog zavoda SAD-a i Službe za divlje životinje koriste GIS za očuvanje okoliša.

GIS je od ranih 1990-ih važan alat u **arheologiji**, omogućujući arheolozima proučavanje prostorne dimenzije ljudskog ponašanja kroz vrijeme. Povezanost GIS-a i arheologije idealna je jer arheologija uključuje prostornu komponentu.

Prema Michaelu Goodchildu, GIS je "računalski sustav za rukovanje geografskim informacijama u digitalnom obliku." U novije vrijeme, GIS igra ključnu ulogu u otvorenim podacima, suradnji i sudjelovanju, uz rast digitalnih i ekoloških inicijativa u **javnim politikama i privatnom sektoru**.

U kontekstu **zagađenja okoliša**, GIS se koristi za mapiranje zagađivača u tlu i vodi, koristeći prostornu interpolaciju za učinkovitije praćenje i sanaciju zagađenja. Zagađenje tla i vode metalima postalo je veliki ekološki problem, a GIS pomaže u identificiranju lokacija s visokim rizikom za sanaciju.

Digitalno geološko mapiranje uključuje promatranje i bilježenje geoloških značajki te stvaranje prostorno referenciranih karata koje se mogu ažurirati u stvarnom vremenu tijekom **terenskog rada**.

GIS također igra važnu ulogu u **geoprostornoj obavještajnoj analizi** (GEOINT) i **nacionalnoj sigurnosti** SAD-a. Tehnologija omogućuje učinkovito upravljanje i analizu geografskih podataka, smanjujući nesigurnost za donositelje odluka. GIS softver, poput Google Earth, ERDAS IMAGINE i Esri ArcGIS, koristi se za naprednu analizu i vizualizaciju podataka te suradnju s donositeljima odluka u stvarnom vremenu.

3. UPRAVLJANJE PROMETNICAMA U REPUBLICI HRVATSKOJ POMOĆU GEOINFORMACIJSKOG SUSTAVA

Geografski informacijski sustav (GIS) predstavlja izuzetno korisnu tehnologiju za upravljanje prostornim bazama podataka, koje su ključni temelj za sustave upravljanja cestovnim površinama. Prilikom razvoja sustava za upravljanje kolnicima unutar GIS-a, neophodno je uzeti u obzir specifične potrebe te raspoložive resurse dotične cestovne uprave.

U ovom radu opisana je implementacija jednostavnog sustava za vođenje i upravljanje bazom podataka, posebno prilagođenog za male gradske uprave. Podaci za bazu prikupljeni su ručnim metodama, bilježeći stanje kolnika na nekoliko nerazvrstanih cesta. Na temelju prikupljenih informacija, sustav izračunava PSI indeks te omogućava usporedbu stanja različitih cesta.

Sustavno upravljanje cestovnim površinama i njihovo održavanje postaju sve važniji čimbenici kako kolnici stare. S vremenom dolazi do pogoršanja stanja kolnika, dok se istodobno povećava prometno opterećenje i zahtjevi za infrastrukturnim prilagodbama. Ključni aspekt unutar sustava upravljanja i održavanja kolnika su financijska sredstva te strategije kako optimalno raspodijeliti ograničene resurse⁶.

Za učinkovito donošenje odluka o upravljanju cestovnom mrežom i njezinom održavanju, neophodno je kontinuirano i sustavno prikupljati raznovrsne podatke o stanju cesta, s posebnim naglaskom na kolnike.

Prostorna baza podataka, zasnovana na GIS tehnologiji, čini osnovu za vođenje sveobuhvatne baze podataka o javnim cestama. U toj bazi georeferencirani vektorski podaci povezani su s alfanumeričkim atributima, čime se osigurava cjeloviti pregled cestovne mreže. Geografski informacijski sustav (GIS) predstavlja napredni alat za upravljanje bazama podataka, koji omogućuje stvaranje, vizualizaciju, analizu i interpretaciju georeferenciranih podataka. Njegova jedinstvena prednost leži u sposobnosti integracije prostornih podataka u vektorskom obliku (točke, linije, poligoni) i raster podataka s pripadajućim alfanumeričkim atributima⁷.

Mogućnosti GIS-a, kao što su vizualizacija podataka, integrirane logičke, matematičke i statističke funkcije za prostorne analize, kao i primjena topografskih podataka za donošenje odluka, čine ga izuzetno korisnim alatom u usporedbi s drugim sustavima za upravljanje bazama podataka ili alatima za izradu kartografskih prikaza. GIS je prepoznat kao važna tehnologija u različitim inženjerskim disciplinama, osobito u planiranju i održavanju infrastrukture. Zbog prostorne prirode podataka o cestovnoj infrastrukturi, GIS se nameće kao optimalno rješenje za vođenje baza podataka o cestama, pružajući solidnu osnovu za donošenje odluka i upravljanje kolnicima.

⁶ I. Marović, R. Maršanić, M. Cuculić (2023)• Primjena upravljačkih informacijskih sustava u gospodarenju cestovnom infrastrukturom, pristupljeno 20.8.2024.

⁷ I. Marović, R. Maršanić, M. Cuculić (2023)• Primjena upravljačkih informacijskih sustava u gospodarenju cestovnom infrastrukturom, pristupljeno 20.8.2024.

3.1. Primjena GIS-a na cestovnoj mreži u Hrvatskoj

Hrvatske ceste već nekoliko godina primjenjuju GIS tehnologiju u različitim projektima, posebice u planiranju i održavanju cestovne infrastrukture. Za integraciju njihovih postojećih sustava, tvrtka TEB Informatika predložila je web-based GIS intranet rješenje koje koristi Intergraphovu GeoMedia tehnologiju, uključujući GeoMedia Professional, GeoMedia WebMap, GeoMedia Transportation Manager, GeoMedia Transportation Analyst i IntelliWhere on Demand. Ključni cilj projekta je bio povezivanje postojećih sustava radi učinkovitije razmjene podataka.

Web-based intranet rješenje omogućuje integraciju GIS podataka sa svim postojećim sustavima, uključujući cestovnu bazu podataka, prometne informacije i druge relevantne podsustave. Time se osigurava učinkovita funkcionalnost unutar poduzeća.

Interaktivna karta s legendama korisnicima omogućuje jednostavan pristup vizualnim analizama podataka, dok intuitivno sučelje omogućuje pristup ažuriranim GIS podacima. To unapređuje analitičke kapacitete sustava i omogućuje optimizaciju operativnih procesa. Novi sustav također nudi unaprijedne opcije izvještavanja, omogućujući zaposlenicima brži pristup relevantnim podacima jednostavnim klikom na kartu, bez potrebe za slanjem novih zahtjeva.

Prije ove integracije, podaci su bili dostupni samo određenim odjelima ili zaposlenicima u specifičnim situacijama. Novi GIS sustav sada omogućuje pristup informacijama široj skupini korisnika, olakšavajući dijeljenje korisnih izvještaja između različitih odjela.

Hrvatske ceste planiraju razviti web GIS sustav za javnu upotrebu koji će biti integriran u njihove službene stranice. Iako će sučelje biti slično internom sustavu, pristup podacima bit će ograničen na korisnike s nižim razinama dozvola. Web GIS rješenje smatra se optimalnim za omogućavanje javnog pristupa postojećim podacima, čime se olakšava njihovo korištenje zainteresiranim korisnicima⁸.

GIS Cloud je web-bazirani geografski informacijski sustav koji pruža napredne mogućnosti vizualizacije prostornih podataka i interakcije s njima. Njegova glavna prednost leži u upotrebi vektorske vizualizacijske tehnologije, koja poboljšava performanse prikaza podataka u web preglednicima. GIS Cloud se temelji na najnovijim HTML5 tehnologijama i omogućuje manipulaciju, pohranu i dijeljenje georeferenciranih podataka, čineći ga temeljem za druge aplikacije⁹.

⁸ M. Slosar (2013), „GIS (Geografski informacijski sustav) u cestovnom prometu“, pristupljeno: 1.9.2024.

⁹ M. Slosar (2013), „GIS (Geografski informacijski sustav) u cestovnom prometu“, pristupljeno: 1.9.2024.

3.2. Primjena GIS-a na autocestama u Hrvatskoj

Rukovoditelji igraju ključnu ulogu u iskorištavanju GIS tehnologije za učinkovito upravljanje prometom. GIS omogućuje razvoj i implementaciju strateških rješenja za optimizaciju prometa. Integracija različitih izvora podataka pruža cjelovit pregled trenutnih prometnih uvjeta, čime menadžeri mogu vizualizirati problematična područja, poput prometnih zastoja, i brzo reagirati na incidente. Ove informacije mogu se podijeliti s javnošću putem interneta, omogućujući vozačima da dobiju ažurirane podatke o prometnim uvjetima u stvarnom vremenu.

Izazov balansiranja između razvoja javne infrastrukture i očuvanja okoliša zahtijeva sofisticirane alate, a GIS nudi napredne analitičke i vizualizacijske mogućnosti za podršku donošenju odluka. Ova tehnologija omogućuje modeliranje prometnih potreba, planiranje kapitalnih investicija te pronalaženje održivih prometnih rješenja koja minimiziraju negativan utjecaj na okoliš. GIS je ključan u provođenju ekoloških procjena i u odabiru alternativnih rješenja koja uravnotežuju potrebu za infrastrukturom i očuvanje okoliša.

Što se tiče troškova, GIS značajno smanjuje izdatke povezane s prikupljanjem, analizom i vizualizacijom podataka, olakšavajući izradu karata i optimizaciju troškova gradnje i održavanja. Uspostavljeni sustavi za upravljanje imovinom omogućuju racionalno korištenje resursa i bolje donošenje odluka. Korisnici GIS-a mogu brzo dobiti detaljne informacije o prometnim objektima, a uočeni problemi tijekom terenskih pregleda mogu odmah rezultirati zahtjevima za održavanjem i popravcima.

Integracija GIS tehnologije u sustave za upravljanje radom i održavanjem autocesta povećava operativnu učinkovitost. GIS omogućuje menadžerima kvalitetnije praćenje radova i bolju organizaciju rasporeda održavanja.

GIS također osigurava pristup svim ključnim podacima projekta, uključujući geotehničke studije, tehničke nacрте i projektne mape. Ovaj pristup znatno poboljšava učinkovitost, smanjujući vrijeme potrebno za prikupljanje informacija tijekom izgradnje.

Sigurnosni propisi u prometu sve više naglašavaju potrebu za povećanjem sigurnosti na cestama. GIS omogućuje prikupljanje i analizu podataka o nesrećama na kritičnim točkama te, uz pomoć naprednih statističkih alata, pomaže inženjerima u prepoznavanju uzroka nesreća i pronalaženju rješenja za njihovo smanjenje.

Prometno planiranje i upravljanje zahtijeva posebnu pažnju prema utjecajima prometa na okoliš. GIS pomaže prometnim stručnjacima da analiziraju te utjecaje i odaberu ekološki prihvatljiva rješenja. GIS olakšava identifikaciju osjetljivih područja, kao što su močvarna staništa i riječni slivovi, te omogućuje analizu utjecaja otjecanja oborinskih voda na kvalitetu vode. Prometni planeri mogu koristiti GIS za donošenje održivih odluka i integraciju ekoloških čimbenika u prostorno planiranje, čime se omogućava bolje razumijevanje i suradnja između različitih dionika pri rješavanju okolišnih pitanja.

4. GLOBALNI POLOŽAJNI SUSTAV (GPS) I GALLILEO

Globalni pozicijski sustav (GPS), izvorno Navstar GPS je satelitski radio navigacijski sustav u vlasništvu vlade Sjedinjenih Država, kojim upravlja Svemirska postrojba Sjedinjenih Država. To je samo jedan od globalnih satelitskih navigacijskih sustava (GNSS) koji pruža informacije o geolokaciji i vremenu. GPS ne zahtijeva od korisnika da šalje podatke i djeluje neovisno o telefonskom ili internetskom prijemu.

GPS pruža kritične mogućnosti pozicioniranja vojnim, civilnim i komercijalnim korisnicima diljem svijeta. Iako je vlada Sjedinjenih Država stvorila, te kontrolira i održava GPS sustav, on je slobodno dostupan svima koji imaju GPS prijemnik¹⁰.

GPS projekt je pokrenulo američko Ministarstvo obrane 1973. godine. Prvi prototip svemirske letjelice lansiran je 1978. godine, a puna konstelacija od 24 satelita postala je operativna 1993. godine. Nakon što je let Korean Air Lines 007 oboren kada je greškom ušao u sovjetski zračni prostor, predsjednik Ronald Reagan objavio je da će GPS sustav biti dostupan za civilnu upotrebu od 16. rujna 1983., međutim, početno je ta civilna upotreba bila ograničena na prosječnu točnost od 100 metara.

Kako je rasla civilna upotreba GPS-a, rastao je i pritisak za uklanjanje pogrešaka i netočnih podataka. Sustav SA privremeno je bio onemogućen tijekom Zaljevskog rata, jer je nedostatak vojnih GPS jedinica značio da mnogi američki vojnici koriste civilne GPS uređaje poslani od doma¹¹.

990-ih su diferencijalni GPS sustavi od Obalne straže Sjedinjenih Država, Federalne uprave za zrakoplovstvo i sličnih agencija u drugim zemljama počeli emitirati lokalne GPS korekcije, smanjujući učinak i degradacije SA i atmosferskih utjecaja (koje su vojni prijemnici također ispravljali).

Predsjednik Bill Clinton potpisao je zakon kojim se naređuje da se Selektivna dostupnost onemogući 1. svibnja 2000., a 2007. godine američka vlada je objavila da sljedeća generacija GPS satelita uopće neće uključivati tu značajku. Napredak tehnologije i novi zahtjevi za postojeći sustav sada su doveli do napora da se modernizira GPS i implementira sljedeća generacija GPS-a

Kada je Selektivna dostupnost prekinuta, GPS je bio točan na oko 5 metara. GPS prijemnici koji koriste L5 pojas imaju mnogo veću točnost od 30 centimetara, dok su oni za vrhunske primjene poput inženjerstva i geodezije točni na 2 cm i mogu čak pružiti preciznost od submilimetra s

¹⁰ eskola.zvezdarnica, „Globalni položajni sustav – GPS“, Dostupno na: [<https://eskola.zvezdarnica.hr/osnove-astronomije/polozejna-i-efemeridna-astronomija/globalni-polozejni-sustav-gps/>] (24.8.2024.

¹¹ U. Svete (2004), „Uporaba informacijsko-komunikacijske tehnologije u američko-irankom sukobu 2003.-2004.“, pristupljeno 21.8.2024.

dugoročnim mjerenjima. Potrošački uređaji poput pametnih telefona mogu biti točni na 4,9 m ili više kada se koriste s pomoćnim uslugama poput pozicioniranja putem Wi-Fi-ja¹².

Kada je Sovjetski Savez lansirao svoj prvi umjetni satelit (Sputnik 1) 1957. godine, dvojica američkih fizičara, William Guier i George Weiffenbach, odlučili su pratiti njegove radio transmisije. U roku od nekoliko sati shvatili su da mogu točno odrediti gdje se satelit nalazi na svojoj orbiti zbog Dopplerovog efekta. Direktor APL-a dao im je pristup svom UNIVAC-u za obavljanje potrebnih teških izračuna¹³.

Rano iduće godine, Frank McClure, zamjenik direktora APL-a, zamolio je Guira i Weiffenbacha da istraže inverzni problem: odrediti lokaciju korisnika, s obzirom na lokaciju satelita. To je njih i APL dovelo do razvoja „TRANSIT“ sustava 1959. godine. ARPA (preimenovana u Darpa 1972.) također je imala ulogu u TRANSIT-u¹⁴.

TRANSIT je prvi put uspješno testiran 1960. godine. Koristio je konstelaciju od pet satelita i mogao je pružiti navigacijsku fiksaciju otprilike jednom na sat. 1967. godine američka mornarica razvila je Timation satelit, koji je dokazao izvedivost postavljanja preciznih satova u svemir, tehnologiju potrebnu za GPS.

1970-ih, kopneni OMEGA navigacijski sustav, temeljen na usporedbi faza prijenosa signala između parova stanica, postao je prvi svjetski radio navigacijski sustav. Ograničenja ovih sustava potaknula su potrebu za univerzalnijim navigacijskim rješenjem s većom točnošću. Iako je postojala široka potreba za preciznom navigacijom u vojnom i civilnom sektoru, gotovo nijedna od njih nije se smatrala opravdanjem za milijarde dolara koje bi koštale istraživanje, razvoj, implementacija i rad konstelacije navigacijskih satelita.

Tijekom Hladnog rata, nuklearna prijetnja Sjedinjenim Državama bila je jedina potreba koja je opravdala ovaj trošak s gledišta Kongresa Sjedinjenih Država. To je bio razlog zbog kojeg se financirala izrada GPS-a kakvog danas poznajemo. Američka mornarica i američko ratno zrakoplovstvo razvijali su vlastite tehnologije paralelno kako bi riješili u osnovi isti problem.

Ažuriranja s mornaričkog TRANSIT sustava bila su prespora za velike brzine operacija Ratnog zrakoplovstva.

¹² M. Čopo (2023), „Pogreške satelitskih sustava za navigaciju“, Pristupljeno: 1.9.2024.

¹³ Kozmos.hr, N.Brlek (2022), „Sputnjik 1 – prvi umjetni satelit u svemiru – lansirani prije 65 godina“, Dostupno na: [Sputnjik 1 – prvi umjetni satelit u svemiru – lansirani prije 65 godina] (1.9.2024.)

¹⁴ T. Kos, M. Grgić, S. Krile (2004.), „Hiperbolni i satelitski sustavi za navigaciju“, pristupljeno: 1.9.2024.

4.1. Razvoj GPS-a

U 1960-ima, shvatilo se da se može razviti superiorni sustav sintetiziranjem najboljih tehnologija iz 621B, Transit, Timation i SECOR u višeservisni program. Greške u orbitalnom položaju satelita, uzrokovane varijacijama u gravitacijskom polju i refrakcijom radara, među ostalim, morale su biti riješene.

Tim je koristio je asimilaciju podataka u realnom vremenu i rekurzivnu procjenu kako bi to učinio, smanjujući sistematske i rezidualne pogreške na upravljivu razinu kako bi se omogućila točna navigacija. Tijekom vikenda Praznika rada 1973. godine, održan je sastanak sa oko dvanaest vojnih časnika u Pentagonu na kojem se raspravljalo o stvaranju obrambenog satelitskog navigacijskog sustava (DNSS). Upravo na tom sastanku stvoren je pravi sintetički proizvod koji je postao GPS.

Kasnije te godine, program DNSS dobio je ime Navstar. Navstar se često pogrešno smatra akronimom za "Navigacijski sustav koji koristi vremensko određivanje i određivanje udaljenosti", ali ga Ured za zajednički GPS program nikada nije tako smatrao. Budući da su pojedini sateliti bili povezani s imenom Navstar (kao i prethodnici Transit i Timation), korišteno je sveobuhvatnije ime za identifikaciju konstelacije satelita Navstar, Navstar-GPS. Deset prototipnih satelita "Blok I" lansirano je između 1978. i 1985. godine (jedna dodatna jedinica uništena je prilikom neuspjelog lansiranja).

Nakon što je let Korean Air Lines 007, Boeing 747 s 269 putnika, oboren od strane sovjetskog presretača nakon što je zalutao u zabranjeni zračni prostor zbog navigacijskih pogrešaka, u blizini otoka Sahalin i Moneron, predsjednik Ronald Reagan izdao je direktivu kojom se GPS čini slobodno dostupnim za civilnu upotrebu, čim bude dovoljno razvijen, kao zajedničko dobro.

Prvi satelit Blok II lansiran je 1989., a 24. satelit lansiran je 1994. godine. Procjenjuje se da su troškovi programa GPS do tog trenutka, bez uključivanja troškova korisničke opreme, ali uključujući troškove lansiranja satelita, iznosili 5 milijardi američkih dolara (ekvivalentno 10 milijardi dolara danas)¹⁵.

Početno je najkvalitetniji signal bio rezerviran za vojnu upotrebu, a signal dostupan za civilnu upotrebu bio je namjerno degradiran, u politici poznatoj kao Selektivna dostupnost. To se promijenilo 1. svibnja 2000. godine, kada je predsjednik Bill Clinton potpisao direktivu o isključivanju selektivne dostupnosti kako bi se civilima pružila ista točnost koja je bila dostupna vojsci. Direktivu je predložio američki ministar obrane William Perry, s obzirom na širok rast diferencijalnih GPS usluga od strane privatne industrije za poboljšanje civilne točnosti.

¹⁵ A. Bilajbegović (2010.), „Status i perspektive postojećih i planiranih satelitskih navigacijskih sustava“, pristupljeno: 1.9.2024.

Štoviše, američka vojska razvijala je tehnologije za uskraćivanje GPS usluge potencijalnim protivnicima na regionalnoj osnovi. Selektivna dostupnost uklonjena je iz GPS arhitekture počevši od GPS-III verzije¹⁶.

Od svog uvođenja, SAD je implementirao nekoliko poboljšanja GPS usluge, uključujući nove signale za civilnu upotrebu te povećanu točnost i integritet za sve korisnike, uz održavanje kompatibilnosti s postojećom GPS opremom. Modernizacija satelitskog sustava kontinuirana je inicijativa Ministarstva obrane SAD-a putem niza satelitskih akvizicija kako bi se zadovoljile sve veće potrebe vojske, civila i komercijalnog tržišta.

Od početka 2015. godine, visokokvalitetni GPS prijemnici za Standardnu pozicijsku uslugu (SPS) pružali su horizontalnu točnost bolju od 3,5 metara (11 stopa), iako mnogi faktori, poput kvalitete prijemnika i antene te atmosferskih uvjeta, mogu utjecati na ovu točnost.

GPS je u vlasništvu i pod upravom vlade Sjedinjenih Američkih Država kao nacionalni resurs. Ministarstvo obrane SAD-a je odgovorno za GPS. Između 1996. i 2004. godine, Interagency GPS Executive Board (IGEB) nadgledao je pitanja politike GPS-a. Nakon toga, Nacionalni izvršni odbor za pozicioniranje, navigaciju i mjerenje vremena temeljenog na svemiru osnovan je predsjedničkom direktivom 2004. godine kako bi savjetovao i koordinirao federalne odjele i agencije u pitanjima vezanim uz GPS i srodne sustave. Izvršni odbor zajednički vode zamjenici tajnika obrane i prometa. Njegovo članstvo uključuje službenike ekvivalentne razine iz Ministarstava vanjskih poslova, trgovine i domovinske sigurnosti, Združenog stožera i NASA-e. Komponente izvršnog ureda predsjednika sudjeluju kao promatrači u izvršnom odboru, a predsjednik FCC-a sudjeluje kao veza.

Ministarstvo obrane SAD-a je zakonski obvezno "održavati Standardnu pozicijsku uslugu (kako je definirano u federalnom planu radio navigacije i specifikaciji signala standardne pozicijske usluge) koja će biti dostupna na kontinuiranoj, globalnoj razini" te "razviti mjere za sprječavanje neprijateljske uporabe GPS-a i njegovih nadogradnji bez pretjeranog ometanja ili degradacije civilnih namjena".

¹⁶ M. Šitin (2018), „Upotreba GPS-a u navigaciji“, dostupno na: [https://zir.nsk.hr/islandora/object/pfst:458/preview] (1.9.2024.)

4.2. Princip rada GPS-sustava

GPS sateliti nose vrlo stabilne atomske satove koji su sinkronizirani jedni s drugima i sa referentnim atomskim satovima na zemaljskim kontrolnim stanicama. Svako odstupanje satova na satelitima od referentnog vremena održavanog na zemaljskim stanicama redovito se korigira. Budući da je brzina radio valova (brzina svjetlosti) konstantna i neovisna o brzini satelita, vremensko kašnjenje između trenutka kada satelit emitira signal i kada ga zemaljska stanica primi proporcionalno je udaljenosti od satelita do zemaljske stanice.

S informacijama o udaljenosti prikupljenim s više zemaljskih stanica, koordinate položaja bilo kojeg satelita u bilo koje vrijeme mogu se izračunati s velikom preciznošću. Svaki GPS satelit nosi točan zapis o vlastitom položaju i vremenu te neprestano emitira te podatke. Na temelju podataka primljenih s više GPS satelita, GPS prijemnik krajnjeg korisnika može izračunati svoj vlastiti četverodimenzionalni položaj u prostor-vremenu. Međutim, za izračunavanje četiri nepoznate veličine (tri koordinate položaja i odstupanje vlastitog sata od vremena satelita) potrebno je da prijemnik vidi najmanje četiri satelita¹⁷.

Svaki GPS satelit kontinuirano emitira signal koji uključuje: Pseudorandom kod (niz jedinica i nula) koji je poznat prijemniku. Usklađivanjem vremena verzije koda generiranog prijemnikom i verzije koda izmjerene prijemnikom može se pronaći vrijeme dolaska, definirane točke u slijedu koda, nazvanog epoha, na vremenskoj skali sata prijemnika¹⁸.

Prijemnik formira četiri vrijednosti vremena leta, koje su (s obzirom na brzinu svjetlosti) približno ekvivalentne udaljenostima prijemnik-satelit plus vremenska razlika između prijemnika i GPS satelita pomnožena s brzinom svjetlosti, koje se nazivaju pseudo-domet.

Prijemnik zatim izračunava svoj trodimenzionalni položaj i odstupanje sata od četiri TOF-a. U praksi se položaj prijemnika (u trodimenzionalnim kartezijanskim koordinatama s ishodištem u središtu Zemlje) i pomak sata prijemnika u odnosu na GPS vrijeme izračunavaju istodobno, koristeći navigacijske jednadžbe za obradu TOF-ova.

Lokacija rješenja prijemnika usmjerena na Zemlju obično se pretvara u geografsku širinu, dužinu i visinu u odnosu na elipsoidni model Zemlje. Visina se zatim može dodatno pretvoriti u visinu u odnosu na geoid, što je u biti srednja razina mora. Ove koordinate mogu se prikazati, na primjer na pokretnom prikazu karte, ili snimiti ili koristiti nekim drugim sustavom, kao što je sustav vođenja vozila.

GPS zahtijeva da su četiri ili više satelita vidljiva za točnu navigaciju. Rješenje navigacijskih jednadžbi daje položaj prijemnika zajedno s razlikom između vremena koje održava prijemnikova ugrađena satna jedinica stvarnog vremena, čime se eliminira potreba za preciznijim i potencijalno nepraktičnim satom u prijemniku. Aplikacije za GPS, poput prijenosa

¹⁷ M. Šitin (2018), „Upotreba GPS-a u navigaciji“, dostupno na: [https://zir.nsk.hr/islandora/object/pfst:458/preview] (1.9.2024.)

¹⁸ M. Stojkovic (2013), „Kako radi GPS?“ na: [https://www.navigacija.net/kako-radi-gps/] (1.9.2024.)

vremena, podešavanja vremena semafora i sinkronizacije baznih stanica mobilnih telefona, koriste ovu jeftinu i vrlo preciznu sinkronizaciju vremena. Neke GPS aplikacije koriste ovo vrijeme za prikaz, ili ga, osim za osnovne izračune položaja, uopće ne koriste.

Iako su četiri satelita potrebna za normalan rad, manje ih se može koristiti u posebnim slučajevima. Ako je jedna varijabla već poznata, prijemnik može odrediti svoj položaj koristeći samo tri satelita. Na primjer, brod na otvorenom moru obično ima poznatu nadmorsku visinu blizu 0 metara, a nadmorska visina zrakoplova može biti poznata. Neki GPS prijemnici mogu koristiti dodatne tragove ili pretpostavke, poput ponovne upotrebe posljednje poznate nadmorske visine, mrtvog računanja, inercijalne navigacije ili uključivanja informacija iz računala vozila, kako bi dali (moguće degradiran) položaj kada su vidljiva manje od četiri satelita.

Sadašnji GPS sustav sastoji se od tri glavna segmenta. To su svemirski segment, kontrolni segment i korisnički segment. Svemirske i kontrolne segmente razvija, održava i upravlja njima Američke svemirske snage (U.S. Space Force)¹⁹.

Od veljače 2019. godine, u GPS konstelaciji se nalazi 31 satelit, od kojih je 27 u uporabi u bilo kojem trenutku, dok su ostali u stanju pripravnosti. 32. satelit lansiran je 2018. godine, ali je do srpnja 2019. godine još bio u fazi evaluacije. Još je više umirovljenih satelita u orbiti, dostupnih kao zamjena.

Dodatni sateliti poboljšavaju preciznost izračuna GPS prijemnika pružanjem suvišnih mjerenja. S povećanim brojem satelita, konstelacija je promijenjena u neuniformni raspored. Pokazalo se da takav raspored poboljšava točnost, ali također poboljšava pouzdanost i dostupnost sustava u slučaju kvara više satelita. S proširenom konstelacijom, devet satelita obično je vidljivo u bilo kojem trenutku s bilo koje točke na Zemlji s jasnim horizontom, osiguravajući znatnu suvišnost preko minimalno četiri potrebna satelita za određivanje položaja²⁰.

¹⁹ Ž. Dukovac (2015), „Globalni pozicijski sustav (GPS)“, pristupljeno: 21.8.2024.

²⁰ D. Mrđenović, „Europski navigacijski satelitski sustav " Galileo ", pristupljeno: 21.8.2024.

4.2.1. Kontrolni segment GPS-a

Kontrolni segment GPS-a sastoji se od globalne mreže zemaljskih kontrolnih stanica koje upravljaju satelitima i osiguravaju ispravnost i preciznost GPS sustava. Ovaj segment uključuje glavnu kontrolnu stanicu, nekoliko nadzornih stanica i stanica za upravljanje satelitima.

Komponente kontrolnog segmenta:

1. Glavna kontrolna stanica (Master Control Station - MCS):

- Smještena u zračnoj bazi Schriever u Coloradu, SAD, glavna kontrolna stanica odgovorna je za nadzor i kontrolu cijele GPS konstelacije. Ovdje se prikupljaju podaci iz svih nadzornih stanica i šalju korekcije satelitima.

2. Nadzorne stanice (Monitor Stations):

- Nadzorne stanice smještene su na različitim lokacijama diljem svijeta kako bi se osigurala globalna pokrivenost. One neprestano prate GPS signale koje emitiraju sateliti i šalju te podatke natrag u glavnu kontrolnu stanicu za analizu.

3. Stanice za upravljanje satelitima (Ground Antennas):

Ove stanice koriste se za slanje komandi satelitima, ažuriranje njihovih orbitalnih podataka i sinkronizaciju njihovih satova s referentnim vremenom.

Kontrolni segment osigurava da sateliti ostanu u ispravnim orbitama, da se održava točnost vremenskih signala te da se korekcije i ažuriranja primjenjuju po potrebi kako bi se GPS sustav održavao u optimalnom stanju za korisnike širom svijeta.

Master Control Station (MCS) može pristupiti antenama zemaljske mreže Satellite Control Network (SCN) za dodatne mogućnosti zapovijedanja i kontrole te nadzornim stanicama Nacionalne geosvemirske obavještajne agencije (NGA). Satelitske putanje prate posebne nadzorne stanice američkih svemirskih snaga, smještene na Havajima, Atolu Kwajalein, otoku Ascension, Diego Garciji, Colorado Springsu, Coloradu i Cape Canaveralu, zajedno s dijeljenim NGA nadzornim stanicama u Engleskoj, Argentini, Ekvadoru, Bahreinu, Australiji i Washingtonu DC. Ove informacije šalju se u MCS u bazi Schriever Space Force, koju upravlja 2. eskadrila svemirskih operacija (2 SOPS) američkih svemirskih snaga. Nakon obrade, 2 SOPS redovito kontaktira svaki GPS satelit kako bi ažurirao navigacijske podatke koristeći namjenske ili dijeljene antene (namjenske GPS antene smještene su na Kwajaleinu, otoku Ascension, Diego Garciji i Cape Canaveralu).

Ažuriranja uključuju sinhronizaciju atomskih satova na satelitima na razini nanosekundi i prilagodbu efemerida unutarnih orbitalnih modela satelita. Ova ažuriranja stvara Kalmanov filter koji koristi podatke iz nadzornih stanica, informacije o svemirskom vremenu i druge relevantne podatke.

OCS (Operational Control Segment)** trenutno je službeni kontrolni segment i osigurava operativne sposobnosti koje podržavaju GPS korisnike i održavaju GPS funkcionalnim unutar

specifikacija. OCS je 2007. godine uspješno zamijenio staru glavnu kontrolnu stanicu iz 1970-ih u bazi Schriever Air Force, čime je omogućena nadogradnja sustava i razvoj nove sigurnosne arhitekture koja podržava američke oružane snage.

GPS OCX (Next Generation GPS Operation Control System)** predstavlja nadolazeći segment kontrole koji će zamijeniti OCS. OCX će omogućiti značajna poboljšanja u GPS misijskim sposobnostima, pružajući poboljšane operativne usluge vojnim, civilnim i komercijalnim korisnicima diljem svijeta. Program OCX također ima za cilj smanjiti troškove održavanja i povećati sposobnosti upravljanja GPS konstelacijom, uključujući nove modernizirane signale i napredne mogućnosti kao što je M-kod. Ovaj novi sustav će također poboljšati informacijske sigurnosne mjere, uključujući sposobnost detekcije i prevencije cyber napada.

Unatoč tim ambicijama, projekt OCX naišao je na značajna kašnjenja i povećanje troškova. U 2023. godini projekt je bio 73% iznad prvotno procijenjenog proračuna, s očekivanjem da će postati operativan tijekom ljeta 2024. godine.

Korisnički segment GPS-a

Korisnički segment (US) sastoji se od stotina tisuća američkih i savezničkih vojnih korisnika sigurnog GPS Precise Positioning Service (preciznog pozicioniranja) te desetaka milijuna civilnih, komercijalnih i znanstvenih korisnika Standard Positioning Service (standardnog pozicioniranja). Općenito, GPS prijamnici sastoje se od antene podešene na frekvencije koje prenose sateliti, prijamnih procesora i vrlo stabilnog sata (često kristalnog oscilatora). Također mogu uključivati zaslon za pružanje informacija o lokaciji i brzini korisniku.

GPS prijamnici mogu uključivati ulaz za diferencijalne korekcije koristeći RTCM SC-104 format. To je obično u obliku RS-232 porta s brzinom od 4.800 bit/s. Podaci se zapravo šalju puno nižom brzinom, što ograničava točnost signala poslanog putem RTCM-a. Prijamnici s internim DGPS prijamnicima mogu nadmašiti one koji koriste vanjske RTCM podatke. Od 2006. godine čak i jeftiniji uređaji često uključuju prijamnike Wide Area Augmentation System (WAAS).

Mnogi GPS prijamnici mogu prenositi podatke o poziciji na računalo ili drugi uređaj koristeći NMEA 0183 protokol. Iako je ovaj protokol službeno definiran od strane National Marine Electronics Association (NMEA), reference na ovaj protokol sastavljene su iz javnih zapisa, omogućujući alatima otvorenog koda kao što je gpsd da čitaju protokol bez kršenja zakona o intelektualnom vlasništvu. Također postoje i drugi vlasnički protokoli, poput SiRF i MTK protokola. Prijamnici mogu komunicirati s drugim uređajima putem serijske veze, USB-a ili Bluetootha.

Područja primjene GPS sustava

Iako je izvorno bio vojni projekt, GPS se smatra tehnologijom dvostruke namjene, što znači da ima značajne civilne primjene.

GPS je postao široko primijenjen i koristan alat za trgovinu, znanstvene svrhe, praćenje i nadzor. Točno vrijeme koje GPS pruža olakšava svakodnevne aktivnosti kao što su bankarstvo, rad

mobilnih telefona, pa čak i upravljanje elektroenergetskim mrežama omogućavanjem dobro usklađenog prijenosa sklopki.

4.2.2. Civilna upotreba GPS sustava

Mnoge civilne primjene koriste jedan ili više od tri osnovna GPS elementa: apsolutnu lokaciju, relativno kretanje i prijenos vremena.

Atmosfera: proučavanje kašnjenja u troposferi (prikupljanje podataka o sadržaju vodene pare) i kašnjenja u ionosferi (prikupljanje podataka o broju slobodnih elektrona). Također, prikupljanje podataka o pomacima Zemljine površine zbog atmosferskog tlaka.

Astronomija: i podaci o položaju i podaci o sinkronizaciji sata koriste se u astrometriji i nebeskoj mehanici te preciznom određivanju orbita. GPS se također koristi u amaterskoj astronomiji s malim teleskopima, kao i u profesionalnim opservatorijima za pronalaženje ekstrasolarnih planeta.

Automatizirana vozila: primjena podataka o lokaciji i rutama za vozila koja funkcioniraju bez ljudskog vozača.

Kartografija: i civilni i vojni kartografi opsežno koriste GPS.

Mobilna telefonija: sinkronizacija sata omogućuje prijenos vremena, što je ključno za usklađivanje šifri između baznih stanica kako bi se olakšao prijenos između ćelija i podržala hibridna GPS/mobilna detekcija položaja za hitne pozive i druge primjene.

Sinkronizacija sata: točnost GPS signala vremena (± 10 ns) druga je po preciznosti samo atomskim satovima na kojima se temelji i koristi se u primjenama kao što su GPS oscilatori.

Pomoć u slučaju katastrofa/hitne službe: mnoge hitne službe oslanjaju se na GPS za mogućnosti određivanja lokacije i vremena.

Praćenje flote: koristi se za identifikaciju, lociranje i održavanje kontakta s jednom ili više vozila flote u stvarnom vremenu.

Geodezija: određivanje parametara orijentacije Zemlje uključujući dnevno i podnevno kretanje polova, varijabilnosti duljine dana, kretanje geocentra i parametre gravitacijskog polja niskog stupnja.

Geofencing: sustavi praćenja vozila, osoba i kućnih ljubimaca koriste GPS za lociranje uređaja koji su pričvršćeni na ili ih nose osoba, vozilo ili ljubimac.

4.2.3. Ograničenja za civilnu upotrebu i

Američka vlada kontrolira izvoz nekih civilnih prijemnika. Svi GPS prijemnici koji su sposobni za rad iznad 18 km nadmorske visine i 1500 m/s; 2.000 km/h;, ili su dizajnirani / modificirani za upotrebu s bespilotnim raketama i zrakoplovima, klasificirani su kao oružje — što znači da im je potrebna dozvola za izvoz od *State Departmenta*.

Ova ograničenja primjenjuju se samo na jedinice ili komponente koje se izvoze iz Sjedinjenih Američkih Država. Rastuća trgovina raznim komponentama uključuje GPS jedinice iz drugih zemalja.

4.3. Gallileo navigacijski sustav

Galileo je globalni navigacijski satelitski sustav (GNSS) koji je započeo s radom 2016. godine, stvoren je od strane Europske unije preko Europske svemirske agencije (ESA), te ga upravlja Europska agencija za svemirski program (EUSPA), sa sjedištem u Pragu, Češka, uz dva operativna centra na zemlji u Oberpfaffenhofenu, Njemačka, koja su uglavnom odgovorna za kontrolu satelita, i u Fucinu, Italija, koja su uglavnom odgovorna za pružanje navigacijskih podataka. Projekt vrijedan 10 milijardi eura nazvan je po talijanskom astronomu Galileo Galileiju²¹.

Jedan od ciljeva Galilea je pružiti neovisan visoko precizan sustav pozicioniranja kako bi političke i vojne vlasti u Europi mogle djelovati neovisno o američkom GPS-u ili ruskim sustavima, koji bi mogli biti onemogućeni ili degradirani od strane njihovih operatera u bilo kojem trenutku. Korištenje osnovnih (manje preciznih) Galileo usluga je besplatno i otvoreno svima. Potpuno šifrirana usluga visoke preciznosti dostupna je besplatno za korisnike autorizirane od strane vlade. Galileo također pruža novu globalnu funkciju pretraživanja i spašavanja (SAR) kao dio MEOSAR sustava.

Prvi Galileo testni satelit GIOVE-A lansiran je 28. prosinca 2005. godine, dok je prvi satelit koji je postao dio operativnog sustava lansiran 21. listopada 2011. Galileo je počeo nuditi ranu operativnu sposobnost 15. prosinca 2016., pružajući početne usluge sa slabim signalom. U listopadu 2018., četiri dodatna Galileo satelita su stavljena u rad, povećavajući broj aktivnih satelita na 18. U studenom 2018. godine, FCC je odobrio upotrebu Galilea u SAD-u.

Od prosinca 2023. godine, postoje 23 lansirana satelita koja su u funkciji u konstelaciji, dok pet nije dostupno. Očekuje se da će nova generacija satelita početi s radom nakon 2025. godine kako bi zamijenila stariju opremu, koja će tada moći služiti kao rezervna opcija. Većina

²¹ European Union, dostupno na: [<https://eur-lex.europa.eu/HR/legal-content/glossary/galileo.html>], (1.9.2024.)

satelitskih programa izgrađena je u OHB-u u Bremenu, Njemačka, uz doprinos Surrey Satellite Technology (SSTL) iz Guildforda, Ujedinjeno Kraljevstvo²².

Galileo sustav ima veću preciznost od GPS-a, s točnošću manjom od 1 m kada se koriste emitirane efemeride (GPS: 3 m) i pogrešku signala u prostoru (SISRE) od 1,6 cm (GPS: 2,3 cm) kada se koriste ispravci u stvarnom vremenu za orbite satelita i satove.

Godine 1999., različiti koncepti trojice glavnih doprinositelja ESA-e (Njemačka, Francuska i Italija) za Galileo uspoređeni su i objedinjeni od strane zajedničkog tima inženjera iz svih triju zemalja. Prva faza programa Galileo službeno je dogovorena 26. svibnja 2003. godine od strane Europske unije i Europske svemirske agencije.

Sustav je namijenjen prvenstveno civilnoj upotrebi, za razliku od sustava više usmjerenih na vojnu uporabu kao što su američki GPS, ruski GLONASS i kineski BeiDou. Europski sustav bit će podložan gašenju samo u vojnoj svrsi u ekstremnim okolnostima (kao što je oružani sukob). Italija i Njemačka vodile su razvoj prve generacije programa Galileo, dok Francuska igra istaknutiju ulogu u razvoju Galileo programa druge generacije (G2G)²³.

Države članice Europske unije odlučile su da je važno imati infrastrukturu za satelitsko pozicioniranje i mjerenje vremena koju SAD ne bi mogao lako isključiti u vremenima političkog sukoba.

Posljedično, Europska unija i Europska svemirska agencija dogovorili su u ožujku 2002. godine financiranje projekta, uz uvjet da se izvrši revizija 2003. godine (koja je završena 26. svibnja 2003. godine). Početni trošak za razdoblje do 2005. godine procijenjen je na 1,1 milijardu eura. Potrebni sateliti (planirani broj je 30) trebali su biti lansirani između 2011. i 2014. godine, a sustav bi trebao biti u funkciji i pod civilnom kontrolom od 2019. godine. Konačni trošak procijenjen je na 3 milijarde eura, uključujući infrastrukturu na Zemlji, koja je izgrađena 2006. i 2007. godine. Plan je bio da privatne tvrtke i investitori uplate barem dvije trećine troškova provedbe, dok bi EU i ESA podijelili preostale troškove. Osnovna usluga *Open Service-a* trebala bi biti dostupna bez naknade svima s prijemnikom kompatibilnim s Galileom, dok je poboljšana precizna komercijalna usluga s enkripcijom prvotno planirana kao usluga uz naknadu, ali je u veljači 2018. godine dogovoreno da će visoko precizna usluga (HAS) (koja pruža podatke o preciznom pozicioniranju na E6 frekvenciji) biti dostupna besplatno, dok će usluga autentifikacije ostati komercijalna. Početkom 2011. godine, troškovi projekta bili su 50% veći od prvotnih procjena²⁴.

²² Š.P. Jakšić (2019.), „Satelitski sustavi za pozicioniranje i ponavljajuća točnost određivanja pozicije“, pristupljeno: 1.9.2024.

²³ Š.P. Jakšić (2019.), „Satelitski sustavi za pozicioniranje i ponavljajuća točnost određivanja pozicije“, pristupljeno: 1.9.2024.

²⁴ Europska Unija, „Agencija Europske unije za svemirski program (EUSPA)“, dostupno na: [https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/search-all-eu-institutions-and-bodies/european-union-agency-space-programme-euspa_hr] (1.9.2024.)

Galileo je namijenjen kao civilni GNSS Europske unije koji omogućuje pristup svim korisnicima. U početku je GPS rezervirao signal najviše kvalitete za vojnu upotrebu, a signal dostupan za civilnu upotrebu bio je namjerno degradiran (Selektivna dostupnost). To se promijenilo kada je predsjednik Bill Clinton potpisao politiku 1996. godine koja je ukinula Selektivnu dostupnost. Od svibnja 2000. godine, isti signal preciznosti dostupan je i civilima i vojsci.

Budući da je Galileo dizajniran za pružanje najviše moguće preciznosti (veće od GPS-a) svima, SAD je bio zabrinut da bi neprijatelj mogao koristiti Galileo signale u vojnim napadima protiv SAD-a i njegovih saveznika. Frekvencija koja je prvotno odabrana za Galileo omogućila bi SAD-u da blokira Galileo signale bez ometanja vlastitih GPS signala. SAD nije želio izgubiti svoju GNSS sposobnost s GPS-om dok je onemogućavao neprijateljima upotrebu GNSS-a. Neki američki dužnosnici postali su posebno zabrinuti kada su izvještaji o kineskom interesu za Galileo počeli stizati.

Jedan anonimni dužnosnik EU-a tvrdio je da su američki dužnosnici implicirali da bi mogli razmotriti obaranje Galileo satelita u slučaju velikog sukoba u kojem bi Galileo bio korišten u napadima protiv američkih snaga. Stajalište EU-a je da je Galileo neutralna tehnologija, dostupna svim zemljama i svima. U početku, dužnosnici EU-a nisu željeli mijenjati svoje izvorne planove za Galileo, ali su kasnije postigli kompromis da Galileo koristi različite frekvencije. To omogućuje blokiranje ili ometanje jednog GNSS-a bez utjecaja na drugi.

Jedan od razloga za razvoj Galilea kao neovisnog sustava bio je to što se informacija o poziciji iz GPS-a može značajno pogoršati namjernom primjenom univerzalne selektivne dostupnosti (SA) od strane američke vojske.

GPS se široko koristi širom svijeta za civilne aplikacije; pobornici Galilea tvrdili su da civilna infrastruktura, uključujući navigaciju i slijetanje zrakoplova, ne bi trebala isključivo ovisiti o sustavu s ovom ranjivošću.

Dana 2. svibnja 2000. godine, selektivna dostupnost je onemogućena od strane predsjednika Sjedinjenih Američkih Država, Billa Clintona; krajem 2001. godine, entitet koji upravlja GPS-om potvrdio je da ne namjerava ponovo omogućiti selektivnu dostupnost. Iako sposobnost selektivne dostupnosti još uvijek postoji, 19. rujna 2007. godine, Ministarstvo obrane SAD-a objavilo je da noviji GPS sateliti neće biti sposobni za implementaciju selektivne dostupnosti; serija satelita Block IIF lansirana 2009. godine, kao i svi kasniji GPS sateliti, navedeno je da ne podržavaju selektivnu dostupnost.

Kako se stari sateliti zamjenjuju u programu GPS Block III, selektivna dostupnost prestat će biti opcija. Program modernizacije također sadrži standardizirane značajke koje omogućuju interoperabilnost između GPS III i Galileo sustava, omogućujući razvoj prijarnika koji koriste GPS i Galileo zajedno za stvaranje još preciznijeg GNSS-a.

5. ULOGA GEOINFORMACIJSKOG SUSTAVA NA RAZVOJ CESTOVNE INFRASTRUKTURE U REPUBLICI HRVATSKOJ

Nacionalna agencija za prijevoz, odgovorna za upravljanje 6800 km državnih cesta diljem Hrvatske, treba integrirati sve podatke iz različitih informacijskih sustava u jedinstvenu cjelinu. Te informacije dostupne su za više od 500 zaposlenika raspoređenih u 14 podružnica i poslovnica diljem zemlje. Svi odjeli unutar Hrvatskih cesta svakodnevno imaju pristup ovoj bazi podataka, a u poduzeću postoje tri razine korisnika. Većina zaposlenika su korisnici koji pregledavaju prikupljene podatke i koriste ih za svoje specifične potrebe. Stručnjaci u određenim odjelima koriste GIS softver za izradu izvješća, dok dva GIS administratora kontinuirano ažuriraju bazu s podacima o cestama te alfanumeričkim i prostornim informacijama. Kako bi im pomogla u ovom integracijskom projektu, Hrvatske ceste angažirale su TEB Informatiku, koja je uspješno implementirala svoje informacijske sustave 2001. godine.

Ciljevi projekta su:

- spojiti postojeće podatke iz različitih sustava u jedinstven centralni sustav koristeći GIS tehnologiju,
- omogućiti svakom zaposleniku Hrvatskih cesta pristup podacima bez dodatnih troškova za softverske licence.

Hrvatske ceste već niz godina koriste GIS tehnologiju za razne projekte, uključujući planiranje aktivnosti održavanja. TEB Informatika preporučuje integraciju različitih sustava putem GIS intranet rješenja temeljenog na webu, koristeći Intergraphovu GeoMedia tehnologiju. Ova tehnologija obuhvaća alate kao što su GeoMedia Professional, GeoMedia WebMap, GeoMedia Transportation Manager, GeoMedia Transportation Analyst i IntelliWhere on Demand. Ključna potreba za integracijom postojećih sustava bila je presudna za pokretanje projekta.

Web-based intranet rješenje integrira podatke GIS-a s postojećim sustavima, uključujući osnovnu bazu cesta povezanu s prometom i drugim podsustavima, čime se ispunjavaju specifične funkcije unutar tvrtke. Interaktivna karta i legende omogućuju korisnicima lak pristup vizualnoj analizi podataka, dok jednostavno sučelje pruža zaposlenicima Hrvatskih cesta pristup aktualnim GIS podacima. Poboljšana analiza podataka optimizira cijeli sustav. Novi sustav također omogućuje izvještavanje putem upita iz pojedinih sustava, gdje zaposlenici ne moraju ponovo slati upite – dovoljno je kliknuti na kartu i prikazat će se svi relevantni GIS podaci povezani s tom slikom.

Prije integracije, podaci i informacije bili su dostupni samo određenim odjelima ili zaposlenicima koji su ih trebali u specifičnim situacijama. Novi web-based GIS sustav sada omogućava jednostavan pristup izvještajima i korisnim informacijama i zaposlenicima iz drugih odjela.

Sljedeći korak Hrvatskih cesta je razviti sličan GIS sustav za javnu uporabu i integrirati ga u službene web stranice tvrtke. Sučelje će biti slično, ali s ograničenim pristupom podacima. Predloženo rješenje Web GIS-a predstavlja idealan alat za dostupnost podataka svim zainteresiranim stranama.

GIS Cloud je web bazirani geografski informacijski sustav s naglaskom na vizualizaciju prostornih podataka i interakciju korisnika s njima. Njegova prednost leži u vektorskoj vizualizaciji koja omogućuje bolje performanse prikaza prostornih podataka u internetskom pregledniku. GIS Cloud je izgrađen na najnovijim HTML5 tehnologijama, što omogućuje manipulaciju, pohranu i dijeljenje georeferenciranih podataka te predstavlja temelj za ostale aplikacije kao što su:

1. Upravljanje imovinom: Omogućuje prikupljanje geolociranih podataka na terenu putem pametnih telefona, kreiranje radnih naloga, upravljanje višekorisničkim ulogama i prilagođavanje obrazaca radnih naloga.
2. Upravljanje radovima na cesti: Omogućuje praćenje trenutnih i planiranih projekata i radova na cestama, pružajući investitorima pregled stanja radi nadzora.
3. Upravljanje voznim parkom: Jednostavna aplikacija koja dopunjuje ostale GIS Cloud aplikacije kako bi ponudila potpuno rješenje za upravljanje voznim parkom. Cilj je smanjenje troškova goriva i eliminacija gubitka vremena.
4. Prikupljanje terenskih podataka: Omogućuje prikupljanje točnih i pravovremenih informacija koje se odmah mogu analizirati, objaviti i dijeliti. Podaci se prikupljaju s automatskim dodjeljivanjem geolokacije putem GPS-a, uz dodatak atributa, slika i audio zapisa.

5.1. Automatizacija prometnog GIS-a korištenjem računalnog vida

Glavni cilj razvoja prometnog GIS-a je osigurati izravan pregled propisanog stanja te time olakšati održavanje prometnica. Jedan od ključnih elemenata prometnog GIS-a uključuje prometnu signalizaciju, koja obuhvaća prometne znakove i oznake na kolniku. Ovaj sustav omogućuje jednostavnije prepoznavanje nepravilnosti, poput oštećenih, zakrivljenih ili ukradenih znakova, kao i izbrisanih ili nepravilno iscrtanih oznaka na cesti. Da bi se ovaj potencijal u potpunosti iskoristio, u praksi je potrebno automatizirati sljedeće zadatke:

1. Kreiranje GIS-a putem kartiranja početnog stanja prometnice,
2. Verifikacija ispravnosti usporedbom trenutnog stanja prometnice s GIS podacima.

U usporedbi s drugim sličnim rješenjima, ovaj sustav nudi naprednije mogućnosti temeljene na georeferenciranom videu, kao i bolju interoperabilnost s drugim softverskim sustavima, poput AutoCAD-a. Podaci su organizirani u slojeve, čija se vidljivost može prilagoditi prema potrebi. Integracija georeferenciranog videa u prometni GIS donosi poboljšanja u kvaliteti usluga u odnosu na tradicionalnu verifikaciju na terenu, uključujući:

- Dodatni način vizualizacije kartirane prometnice,
- Mogućnost objektivne i odgođene analize stanja signalizacije na prometnici.

U novije vrijeme, metode temeljene na strojnom učenju sve se češće koriste za pronalaženje i prepoznavanje prometnih znakova, za razliku od tradicionalnih specifičnih metoda. Glavna ideja je da se optimalan proces klasifikacije uspostavi na temelju velikog broja ručno označenih slika ciljanih objekata. U svrhu prikupljanja takvih primjera, razvijen je program za označavanje slika znakova. U opsežnim eksperimentima, strojno naučeni algoritmi za prepoznavanje znakova pokazali su impresivne rezultate. Na primjer, s grupom za učenje koja sadrži 900 trokutastih znakova, postignuta je preciznost od 95% na ispitnom skupu od 100 znakova. Specifični algoritmi koji se oslanjaju na eksplicitnu detekciju okruglih i trokutastih oblika postižu preciznost od 80% do 90%.

Međutim, algoritmi za prepoznavanje obično generiraju velik broj lažnih dojava, jer moraju procijeniti prisutnost objekta na mnogo različitih lokacija i razmjera unutar slike. Lažne dojave se filtriraju u fazi prepoznavanja, gdje se točno određuje tip znaka. Preliminarni rezultati prepoznavanja zasnovani na izgledu pokazali su točnost veću od 70%. Trenutni napori usmjereni su na razvoj metoda za prepoznavanje znakova koje bi kombinirale različite indikatore, poput izgleda, oblika, boje, dinamike kretanja i drugih karakteristika.

5.2. Izrada ortofoto prikaza prometnice

Ortofoto prikaz prometnice može se dobiti iz perspektivnih slika pomoću inverzne perspektivne transformacije. Parametri ove transformacije ovise o visini i orijentaciji kamere, a razvijena je odgovarajuća metoda za njihovo kalibriranje. Aktivnosti su usmjerene na spajanje pojedinačnih prikaza u ortofoto kartu cijele prometnice. Ova karta omogućava precizna mjerenja površine ceste, što je teško postići drugim metodama.

Ortofoto prikaz posebno je koristan za identifikaciju elemenata horizontalne signalizacije jer dimenzije tih elemenata nisu pod utjecajem položaja vozila. U ortofoto prikazu prometne linije imaju uniformnu debljinu diljem slike, što omogućava njihovo precizno izdvajanje pomoću prilagođenog filtra. Korištenjem ovog filtra moguće je utvrditi orijentaciju ceste i položaj prometnog traka s točnošću od 90% na skupu od 2500 slika. Trenutni rad fokusira se na modeliranje geometrije prometnice i dinamike vozila, s ciljem poboljšanja tih rezultata.

Rukovoditelji koriste GIS tehnologiju kako bi poboljšali upravljanje prometnicama i povećali njihovu efikasnost. GIS igra ključnu ulogu u razvoju strategija za učinkovito upravljanje prometom. Kada se podaci i rezultati pravilno integriraju, GIS pruža sveobuhvatan pregled trenutnih prometnih uvjeta. Na primjer, prometni rukovoditelji mogu vizualno identificirati uska grla i brzo reagirati na moguće incidente. Također, ovi prikazi mogu se dijeliti putem interneta, omogućujući vozačima pristup najnovijim informacijama o cestama i uvjetima putovanja.

Izazov leži u pronalaženju ravnoteže između potreba za javnom infrastrukturom i odgovornosti za očuvanje kvalitete života i zaštite okoliša. GIS tehnologija nudi napredne analitičke i vizualne alate za rješavanje ovog izazova. Omogućuje izradu modela za prognozu potražnje putovanja i

planiranje kapitalnih poboljšanja, te podržava strateško odlučivanje. Također, GIS aplikacije koje provode procjene okoliša pomažu u pronalaženju različitih prijevoznih alternativa.

U pogledu upravljanja troškovima, GIS olakšava prikupljanje, obradu i prikaz podataka, čime se smanjuju troškovi izrade mapa i alata, što može dovesti do smanjenja troškova gradnje i održavanja. Kada je sustav upravljanja imovinom dobro uspostavljen, pruža okvir za učinkovito raspoređivanje resursa među konkurentnim ciljevima. Putnici mogu koristiti GIS za brzo pronalaženje potrebnih objekata i obavljanje detaljnih pregleda, a uočeni nedostaci mogu rezultirati novim zahtjevima za održavanje i popravke.

Moderne autoceste koriste GIS za poboljšanje produktivnosti i učinkovitosti kroz integraciju održavanja i upravljanja sustavom. Održavanje sustava omogućava bolje raspoređivanje aktivnosti i praćenje rada, što pomaže menadžerima u održavanju sustava i donošenju kvalitetnih odluka.

GIS također pomaže u organiziranju svih relevantnih informacija o projektu, uključujući ankete, tla, geotehničke studije, studije utjecaja na okoliš, tehničke crteže i projektne karte. Time što omogućuje brz i jednostavan pristup informacijama tijekom izgradnje, GIS može značajno povećati učinkovitost i smanjiti vrijeme provedeno u traženju potrebnih podataka.

Većina velikih organizacija u prijevozu razvila je različite aplikacije i sustave za upravljanje svojim podacima i informacijama, pri čemu GIS igra ključnu ulogu u integraciji tih postojećih sustava. GIS koristi moderne uslužno orijentirane arhitekture (SOA) za poboljšanje sposobnosti izgradnje poslovnih aplikacija i prikupljanje podataka kao što su prometne točke, kolnici i nesreće, što omogućuje složene analize. GIS softver naglašava interoperabilnost i jednostavnu integraciju s komercijalnim rješenjima (COTS), pružajući snažnu prostornu analitiku koja pomaže u razumijevanju ponašanja putovanja. Detaljne GIS karte omogućuju lako prenošenje tih informacija donositeljima odluka i javnosti.

Upravljanje suvremenim prometnicama je složen zadatak. Rukovoditelji autocesta moraju koristiti širok spektar tehnologija za upravljanje računalnim sustavima, kontrolom prometa, incidentima i sigurnosnim sustavima, te za učinkovito planiranje kapitalnih ulaganja i aktivnosti održavanja. Geografski informacijski sustav može pomoći u integraciji različitih tehnologija kako bi se postigla bolja operativna učinkovitost i bolji rezultati. ESRI softver podržava analize i upravljanje kroz cijeli životni ciklus infrastrukture, od planiranja i dizajniranja, preko anketa i izgradnje, pomažući profesionalnim prijevoznicima da sveobuhvatno upravljaju infrastrukturom.

5.3. GIS za upravljanje prometnom infrastrukturom

Mogućnost prikazivanja troškova i uvjeta tijekom gradnje, nadogradnje ili popravaka prometne infrastrukture ključna je za uspješno upravljanje i donošenje pravih odluka. Softver za Geografski informacijski sustav (GIS) omogućuje upravo to, uz mnoge dodatne mogućnosti. Uz ESRI GIS tehnologiju, moguće je dinamično upravljati projektima, a svestrane aplikacije za mapiranje

pružaju informacije svim korisnicima, od projektnog tima i vladinih agencija do terenskog osoblja i javnosti.

GIS integrira hardver, softver i podatke za prikupljanje, upravljanje i analizu te prikaz svih oblika geografski relevantnih informacija. Ovaj sustav omogućava pregled, zahtijevanje i razumijevanje podataka na različite načine, što pomaže u odgovaranju na pitanja i rješavanju problema. Kada se podaci promatraju u kontekstu zemljopisa, lako se shvaćaju i dijele. GIS tehnologija se može integrirati u bilo koji informatički okvir poduzeća.

ESRI GIS tehnologija integrira softver za upravljanje, financijsko planiranje i planiranje resursa s vodećim programima za održavanje i rukovanje, čime poboljšava produktivnost i pomaže u rješavanju složenih problema unutar organizacije.

Tijekom životnog ciklusa prometne infrastrukture, ESRI GIS tehnologija pomaže u stvaranju kontinuiteta informacija kroz sve faze projekta. GIS omogućuje učinkovito prijenos podataka iz faze planiranja u faze dizajna, izgradnje, operacija i održavanja. Integracija GIS-a s različitim tehnologijama poboljšava produktivnost zaposlenika i prometne performanse, te pomaže organizacijama da bolje donose odluke temeljem rezultata informacija prikupljenih tijekom izgradnje.

GIS tehnologija pomaže stručnjacima u provođenju složenih analiza potrebnih za planiranje budućih transportnih sustava. Planeri sve više integriraju faktore poput korištenja zemljišta, zaštite okoliša i energetske potrošnje u svoje planove. GIS omogućuje povezivanje tih čimbenika u konačnom modeliranju i planiranju budućnosti.

U sljedećoj fazi inženjeri transporta uviđaju prednosti integriranja GIS-a u proces dizajna. Uključivanjem slika, nadmorskih visina i okolišnih podataka u CAD sustave, inženjeri mogu koristiti poznati softver uz pristup važnim GIS podacima. Dizajnerske slike mogu se povezati s financijskim softverom za bolje upravljanje materijalima i procjenu troškova projekta. Ova integracija čini GIS ključnim za razvoj informacijskih sustava u budućnosti. Kada se GIS integrira s građevinskim i financijskim softverom, može pomoći u praćenju izvedbe infrastrukturnih projekata. GIS pruža pristup informacijama poput rasporeda, procjena i ugovora kroz prostorna sučelja. Praćenje projekta uz pomoć GIS-a organizira sve relevantne podatke iz istraživanja, tla i geotehničkih studija, čime se poboljšava učinkovitost i smanjuje vrijeme traženja informacija, što može povećati povrat na investiciju.

Za operativnu učinkovitost i sigurnost modernih transportnih sustava potrebno je imati pristup detaljnim informacijama u realnom vremenu. GIS omogućuje upravljanje podacima iz svih aspekata poslovanja, prateći imovinu i pružajući uvid kroz vizualizaciju informacija na kartama. Integracija različitih izvora podataka stvara jedinstvenu operativnu sliku objekata i transportnih sustava, poboljšavajući kontrolu poslovanja. Sveobuhvatan pristup zaštiti transportnih objekata zahtijeva suradnju različitih tehnologija i izvora informacija. GIS integrira podatke iz različitih izvora, prikazuje ih na kartama ili satelitskim snimkama i omogućuje nadzor u stvarnom vremenu. Ove mogućnosti čine GIS ključnim za upravljanje sigurnošću u prijevozu.

GIS povezuje mapiranje s upravljanjem projektima i alatima za proračun, omogućujući centralizirano upravljanje troškovima izgradnje i održavanja. Temeljni GIS sustav za upravljanje održavanjem pomaže u raspoređivanju aktivnosti i praćenju rada, osoblja, opreme i materijala. Radnici na terenu mogu koristiti GIS mobilne uređaje za bilježenje podataka, obavljanje pregleda i lociranje imovine. GIS automatski može generirati nove radne naloge za održavanje i popravak na temelju otkrivenih nedostataka.

GIS povezuje informacije o zemljištu, istraživanjima i procjenama, pružajući bolje razumijevanje resursa i načina analiziranja svojstava koja više nisu potrebna. GIS može snimiti lokaciju komunalnih usluga unutar pravnog okvira, olakšati buduće širenje i premještanje aktivnosti te spriječiti nepredviđene nesreće tijekom izgradnje.

6. ANALIZA PRIMJENE GIS-A U SVRHU POVEĆANJA SIGURNOSTI U CESTOVNOM PROMETU

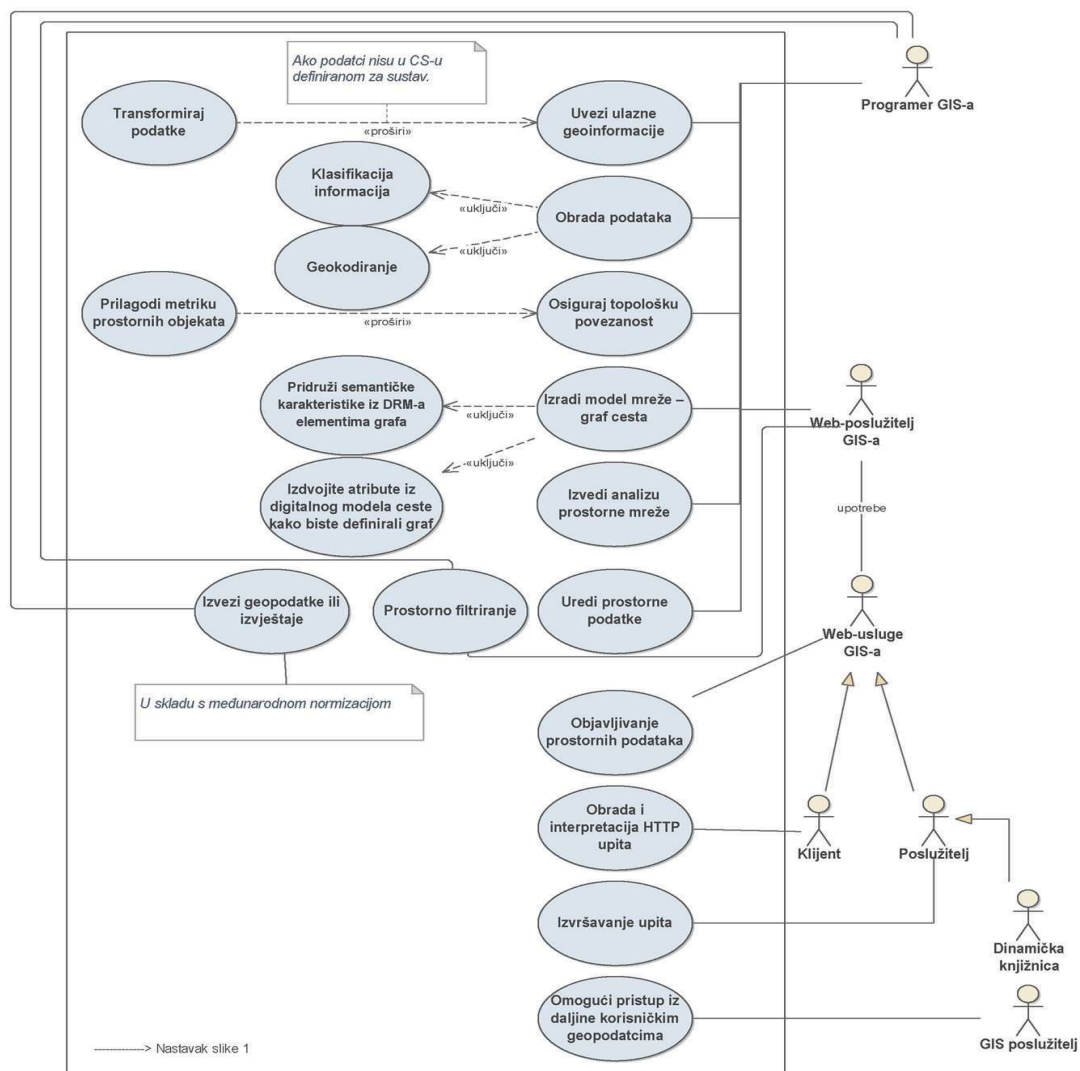
Područje prometnih nesreća zahtijeva specifičan geoinformacijski sustav koji bi omogućio funkcionalnost za kreiranje i upravljanje inteligentnim prostorno-vremenskim modelima orijentiranim na geografiju za prostornu analizu. Cilj je predstaviti konceptualni model geoinformacijskog sustava prometnih nesreća, oblikovan u skladu sa zahtjevima međunarodne normizacije. Korišteni su pristupi međunarodne normizacije i konceptualnog modeliranja geoinformacija, zajedno s principima objektno orijentiranog modeliranja, metodama apstrakcije i klasifikacije. Kao rezultat toga, razvijeni su slučaj upotrebe i dijagram klasa, prikazani u UML-u. Normirani konceptualni model definiran je kao ključna početna faza u izradi geoinformacijskog sustava prometnih nesreća, koji omogućava točan formalizirani opis domene i prikaz strukturnih tipova geoinformacijskih procesa, a potom se može automatski i objedinjeno prevesti u funkcionalni fizički model za analizu prometnih nesreća.

Geografski informacijski sustavi (GIS) predstavljaju univerzalni i višenamjenski alat za održivo upravljanje prometno značajnim područjima, uključujući neizbježno povezane prometne nesreće. Taj problem, koji se javlja na nacionalnoj i međunarodnoj razini, zahtijeva osiguranje funkcionalnosti za stvaranje i upravljanje inteligentnim prostorno-vremenskim modelima kako bi se omogućila analiza prometnih nesreća i donošenje ekonomski važnih odluka. To uključuje i provođenje preventivnih mjera za smanjenje prometnih ozljeda na nacionalnoj i regionalnoj razini.

Za izradu cjelovitog GIS-a koji odgovara svim suvremenim geoinformacijskim potrebama, nužno je riješiti jedno od najzahtjevnijih i ključnih pitanja – pravilno projektiranje sustava kroz jasno definiran formalizirani opis predmetnog područja. Ovo uključuje formiranje konceptualnog modela za identifikaciju unutarnjih i vanjskih odnosa između objekata u sustavu, kao i za prikaz tipičnih informacijskih procesa unutar njega. Konceptualni model, kako su ga definirali Kresse i Danko²⁵, predstavlja tzv. apstraktni model.

²⁵ Kresse, W., & Danko, D.M. (2012). Springer Handbook of Geographic Information. *Springer Handbook of Geographic Information*.

statičke strukture sustava. UML model je općenit i koristi se za tipizaciju procesa kroz sučelja za interakciju klasa. Pristup konceptualizacije putem GIS-a također je primijenjen od strane Piccinini i sur.²⁷ u izradi konceptualnog modela sustava upravljanja, koji se koristi za definiranje relacijske baze podataka unutar GIS-a. Taj model služi za povezivanje tablica unutar baze podataka, a prvenstveno se koristi kao model baze podataka. Modeliranje u kontekstu prometnih nesreća, s naglaskom na rješavanje problema u stvarnom vremenu pomoću UML-a, također je predmet značajnog istraživanja.



Slika 23 Dijagram upotrebe slučaja prometne nesreće, 2. dio (nastavak slike 22).

Izvor: Autor

U razvoju sustava za izvješćivanje o prometnim nesrećama (Traffic Accident Reporting System), GIS se tretira kao zaseban element, stoga njegovo modeliranje nije obuhvaćeno istraživanjem. Umjesto toga, istraživanje se fokusira na utvrđivanje odnosa između sustava, uključujući

²⁷ Piccinini, Fabio, Roberto Pierdicca, and Eva Savina Malinverni. 2020. "A Relational Conceptual Model in GIS for the Management of Photovoltaic Systems" *Energies* 13, br. 11: 2860. Dostupno na: <https://doi.org/10.3390/en13112860> [25.8.2024]

osiguravajuće kuće, policijske službenike, GIS, gledatelje i vozila, te na uvođenje procesa prijave incidenata.

Standardizacija i unifikacija konceptualnog modela postavlja se kao ključno pitanje s obzirom na kasniju funkcionalnost sustava. To uključuje definiranje opće terminologije radi međunarodnog razumijevanja geoinformacija, specifikaciju i vizualno modeliranje za bolje razumijevanje modela, kao i automatizirani prijelaz na modele specifične za određene platforme. Nadalje, obuhvaća harmonizaciju heterogenih podataka i prijenos geoinformacijskih i geopodatkovnih usluga kako bi se postigla interoperabilnost.

6.1. Upotreba međunarodne normizacije u konceptualnom modeliranju

Suvremeni pristup izradi naprednih prostorno-vremenskih modela temelji se na nizu međunarodnih normi i tehničkih specifikacija, među kojima je ISO 19 100 za geografske informacije ključna. Ova obitelj normi, s naglaskom na Referentni model ISO 19 101, predstavlja metodologiju za prijelaz iz stvarnog svijeta u konceptualni model uvođenjem konceptualnog formalizma temeljenog na objektno orijentiranoj paradigmi. Ova metodologija uključuje formalni opis kroz konceptualnu shemu, prikazanu objektno orijentiranim UML-om, koji je ISO prilagodio u kontekstu geoinformacijskog modeliranja kako bi se osigurala interoperabilnost. Kada je konceptualna shema specifična za određenu aplikaciju, naziva se aplikacijska shema²⁸, a dio nje su instance klasa – objekti koji su u terminologiji poznati kao instance značajki.

Odabrani jezik za modeliranje UML omogućava prijelaz s konceptualne sheme na aplikacijsku shemu, što potom omogućuje automatizirano kodiranje u jeziku *eXtensible Markup Language/Geography Markup Language* (XML/GML). Ovaj proces omogućuje kreiranje aplikacijskog modela i podatkovnog modela za fizičku implementaciju geoinformacijskog sustava.

6.2. Izrada konceptualnog modela geoinformacijskog sustava prometnih nesreća

Ključni element u razvoju konceptualnog modela GIS-a za prometne nesreće je primjena pristupa opisanog u dokumentu *ISO/TC 211 Geographic Information – Model Driven Architecture (MDA)*, kao što je navedeno u članku Govorova²⁹ i praktično prikazano u radu Lipiyske i Angelove³⁰. Nakon početnog verbalnog opisa predmetnog područja, obuhvata i ciljeva

²⁸ Kunchev, I. i Angelova, M. (2023). Razvoj konceptualnog modela geoinformacijskog sustava prometnih nesreća. *Kartografija i geoinformacije*, 22 (39), 5-19. Dostupno na: <https://doi.org/10.32909/kg.22.39.1> [25.8.2024]

²⁹ Govorov M (2008) *Standards, specifications and metadata for Geographic information*. Vilnius, Litva.

³⁰ Lipiyska Y, Angelova M (2021) International Standardization in GIS – From the Abstract Model to the Application Level. *Geodesy, Cartography and Land Management*, 5-6, 18-22.

sustava, potrebno je definirati očekivane rezultate te metode i pristupe koji će se primijeniti. Zatim slijedi faza opće konceptualizacije, kao što je detaljno opisano u radu Angelove³¹.

Nakon toga, slijedi detaljna razrada zadataka i prijelaz s verbalnog oblika na fizičku shemu, koja se izrađuje pomoću specijaliziranog softvera. Za izradu konceptualnog modela GIS-a prometnih nesreća korišten je vodeći softver za vizualno modeliranje i projektiranje, *Enterprise Architect* verzija 16.0, koji omogućava primjenu aktualnih međunarodnih standarda i tehničkih specifikacija u predmetnom području.

U okviru ovog rada izrađena su dva UML dijagrama, *Use Case* i *Class*, čiji će ključni aspekti biti detaljno obrađeni.

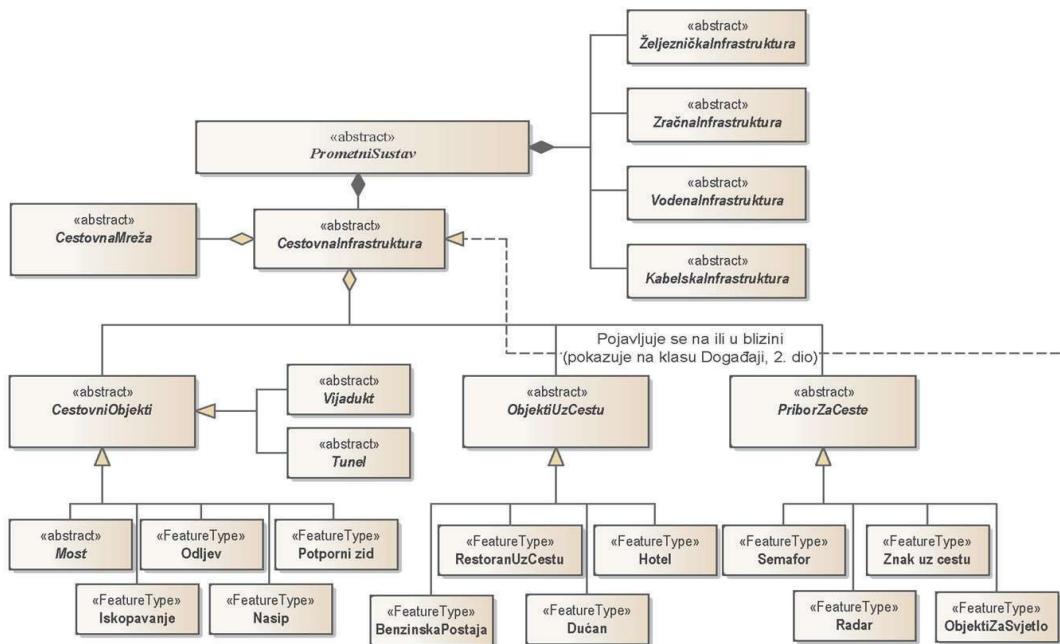
6.3. Dijagram slučaja korištenja

Strukturiranje i opis procesa unutar složenog GIS-a ključni su za njegovo upravljanje, rad i optimizaciju. Kako bi se to postiglo, normirani pristup konceptualnom modeliranju uključuje izradu dijagrama slučaja korištenja (*Use Case*). Ovaj dijagram služi za konceptualni prikaz procesa unutar sustava, uključujući sudionike (aktere), radnje koje izvode te elemente i odnose među njima. Općenito, dijagram slučajeva korištenja prema Seldiju i sur.³² odgovara na tri osnovna pitanja: što je opisano (sustav), tko sudjeluje ili upravlja njime (akteri) i što akteri rade (tzv. slučajevi korištenja).

Na kreiranom dijagramu slučaja korištenja (slike i), prostorne informacije dolaze iz različitih izvora informacija, koji mogu biti vanjski sustavi, uključujući one koji sudjeluju u regulaciji prometnog sustava ili korisnici sustava pod određenim uvjetima. Vanjski sustavi su predstavljeni generalizacijom odnosa, što znači da se akteri, izvori informacija, mogu nasljeđivati. Glavna ideja prikupljanja ulaznih informacija o prometnoj nesreći može se podijeliti na dva aspekta, ovisno o ciljevima: prikupljanje skupova podataka za određeno razdoblje radi statistike i analize te prikupljanje informacija o jednoj prometnoj nesreći koja se dogodila u približno stvarnom vremenu. U prvom slučaju, izvori informacija mogu biti službene agencije (npr. Agencija za cestovnu infrastrukturu, Državna agencija za sigurnost cestovnog prometa, Ministarstvo unutarnjih poslova u Bugarskoj). U drugom slučaju, s konceptualnog stajališta, izvori podataka mogu biti sami korisnici sustava (npr. svjedoci nesreće ili službenici za provođenje zakona), kao i službenici prometne policije putem videonadzora.

³¹ Angelova M. (2020). *Geoinformation System of Road Accidents*, Diplomski rad, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Sofia, Bulgaria.

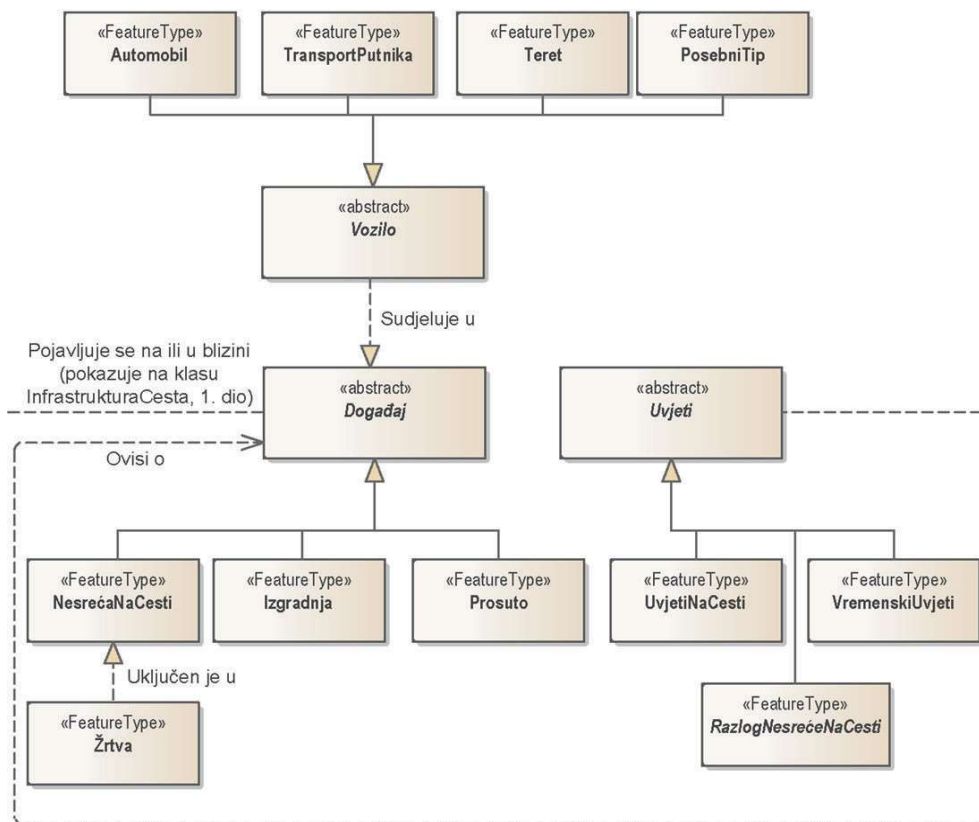
³² Seldi M, Scholz M, Huemer C, Kappel G (2015) *UML Classroom – An introduction to object-oriented modeling*. Springer International Publishing, Switzerland



Slika 3

Slika 24. Dijagram klasa elemenata cestovne nesreće, 1. dio.

Izvor: Autor



Slika 25. Dijagram klasa elemenata cestovne nesreće, 2. dio (nastavak slike 24).

Izvor: Autor

Važan aspekt u dizajnu GIS-a za prometne nesreće je administracija prava pristupa koja određuje tko može pristupiti skupovima prostornih podataka, proizvodima i uslugama u različitim oblicima (npr. pregled, uređivanje, ažuriranje). Ovaj dio procesa uvijek je povezan s prijavom korisnika u sustav i uključuje dvije vrste odnosa između slučajeva korištenja.

Prva vrsta odnosa je "uključiti", gdje osnovni slučaj uvijek zahtijeva ponašanje uključenog slučaja, dok uključeni slučaj može biti izveden samostalno i "prošireno", što znači da baza može koristiti funkcionalnost "proširenog" slučaja, ali to nije obavezno. Druga vrsta odnosa zahtijeva ispunjavanje dodatnog uvjeta, kao što je prikazano u konkretnom dijagramu koji definira da će sustav odbiti pristup ako korisnička licenca nije aktivna. Treba napomenuti da akteri ne predstavljaju specifične korisnike, već uloge koje korisnici preuzimaju, i ovlašteni su za izvođenje slučajeva korištenja povezanih s tim ulogama³³.

Ograničenje prava pristupa, izrada arhivskih kopija sustava i osiguranje ulazne kontrole povezani su s jednim ključnim elementom – GIS administratorom. Akteri mogu, ali ne moraju biti ljudi; mogu to biti poslužitelji ili drugi aplikacijski programi, ovisno o specifičnim slučajevima.

Kontrola ulaznih podataka je izuzetno važna za kvalitetu geopodataka, jer su podaci jedna od najskupljih i najvažnijih komponenti u svakom GIS-u. U ovom kontekstu, povezana je s bazom metapodataka prema međunarodnoj normizaciji, posebno ISO 19 115 – Metapodatci. Da bi se objektivno prikazala stvarnost i ispravno razumjeli podaci u kreiranim konceptualnim modelima i korištenim apstrakcijama, potrebno je izraditi dokumentaciju u obliku metapodataka koja će omogućiti ispravnu upotrebu resursa.

Također, s obzirom na olakšavanje dijeljenja i učinkovitu uporabu geopodataka, osim osnovnih elemenata metapodataka, važno je osigurati zajedničku osnovu za razumijevanje skupova geopodataka. Ovo se može postići primjenom norme za metapodatke i izradom skupova metapodataka u skladu s njom.³⁴ ISO 19 115 definira minimalnu količinu metapodataka za svaki ulazni skup podataka, uključujući obvezne i preporučene komponente. Dostupnost definiranog skupa metapodataka za svaki ulazni skup podataka je ključna za sve daljnje procese u sustavu. To uključuje unos podataka, osiguravanje ispravne klasifikacije i strukturiranja, te održavanje topološke povezanosti, što je ključno za sve usluge prostornih informacija. Također omogućava sveobuhvatnu obradu podataka u različitim oblicima i pravilan prijenos, u skladu s međunarodnim normama s ciljem postizanja interoperabilnosti.

Sustav je podijeljen na dvije glavne komponente – desktop i server. Specifičnost leži u tome što obje komponente nude sve opisane funkcionalnosti za rad s geopodacima, ali se razlikuju u pristupu klijentima (koji su podijeljeni na "debele" i "tanke" klijente) i u programskim komponentama uključenim u procese pristupa i prijenosa informacija. Na poslužiteljskom dijelu, finalni proizvod dolazi do korisnika putem web preglednika i uključuje komponente poput *GIS Server*, *GIS Web Server* i *GIS Web Services*. Odgovornost GIS poslužitelja u sustavu je

³³ Seldi M, Scholz M, Huemer C, Kappel G (2015) *UML Classroom – An introduction to object-oriented modeling*. Springer International Publishing, Switzerland

³⁴ Govorov M (2008) *Standards, specifications and metadata for Geographic information*. Vilnius, Litva.

omogućiti korisnicima daljinski pristup geopodacima ili prostornim bazama podataka, omogućujući istovremenu obradu podataka od strane neograničenog broja korisnika povezanih na poslužitelj.

Osnovna ideja te funkcionalnosti je automatsko ažuriranje podataka za sve korisnike prilikom promjene. GIS web poslužitelj odgovoran je za pružanje pristupa podacima putem GIS web usluga. Može se smatrati autonomnim GIS-om jer obavlja sve svoje funkcije samostalno. GIS web servisi, s druge strane, osiguravaju vezu između korisnika i poslužiteljskih aplikacija. To su web servisi za objavu prostornih podataka prema protokolima *Open GIS Consortiuma* (OGC) poput *Web Map Services* (WMS), *Web Map Tile Services* (WMTS), *Web Feature Services* (WFS) i *Web Coverage Services* (WCS). Integracija tih specifikacija ključna je jer pruža objedinjeni pristup, pretraživanje, obradu i razmjenu podataka, stvarajući mogućnosti za interakciju između različitih sustava. GIS *Web Services* koristi klijent-poslužitelj bazu, gdje klijentski dio obrađuje i interpretira HTTP zahtjeve, dok poslužiteljski dio obrađuje klijentske zahtjeve, analizira ih i izvršava dinamičke biblioteke³⁵.

Opća funkcionalnost GIS-a za prometne nesreće, kako je opisano u dijagramu slučaja korištenja, uključuje razvoj mrežnog digitalnog modela ceste. Ovaj model generira grafikon ceste čiji bridovi imaju sve dostupne karakteristike cestovnih objekata (npr. broj traka, različite klasifikacije, tip kolnika)³⁶. Druga ključna aktivnost je upotreba tih atributa za definiranje komponenti grafikona ceste, kao što je dopuštena brzina, koja se može koristiti u algoritimizaciji za jedan od glavnih zadataka s grafikonima – pronalaženje najkraće udaljenosti.

Tako definirani dijagram prikazuje veze između korisnika i sustava, izvora podataka i sustava, kao i interne veze, naglašavajući tipizirane informacijske procese i razlikujući sustav na desktop i server komponente.

6.4. Dijagram klasa

Primjenjivost odabranih objekata u UML jeziku za modeliranje omogućava potpunu i nedvosmislenu definiciju pravila za strukturirani opis sustava. UML je objektno-orijentirani jezik koji podržava objektno orijentirano programiranje i omogućuje stvaranje analogija iz stvarnog svijeta. Ključna prednost OOP-a, koju omogućava UML, je njegova sposobnost interakcije s korisnicima, elementima, drugim programima i podacima³⁷.

Stvorena konceptualna shema, prikazana dijagramom klasa, koristi OOP funkcionalnosti. Definirane su relacije tipa nasljeđivanja (jedna od ključnih karakteristika OOP-a koja smanjuje ponovljivost), agregacija i kompozicija između različitih klasa, kao i apstraktne klase čiji su

³⁵ Dimidenko A, Korolev A, Kirichenko A (2021). Application of technologies of KB "Panorama" to build a unified geoinformation space of the region. *Geoprofi*, 2

³⁶ Dimidenko A. (2020). Digital Road Model. Technologies of creation and application.

³⁷ Sanders B, Sanders W (2007). *ActionScript 3.0 Programming: Overview, Getting Started, and Examples of New Concepts*. Adobe Systems Incorporated, California

primjerci stvoreni samo iz njihovih podklasa koje nasljeđuju karakteristike svojih superklasa. Sve apstraktne klase su označene kurzivom.

Polazna točka za stvaranje konceptualne sheme GIS-a za prometne nesreće je ideja iz publikacije INSPIRE Thematic Working Group Transport Networks³⁸. Cilj je postići integrirani prometni pristup između različitih tipova mrežnih prometnih infrastruktura koristeći mehanizam ISO 19 100 u kombinaciji s jednom prezentacijom podataka i višekratnom upotrebom.

Model je podijeljen na dva podmodela koja su međusobno povezana: cestovna infrastruktura i prometne nesreće (Slika 24; Slika 25). Za klasifikaciju značajki cestovne infrastrukture koriste se normativni propisi Republike Bugarske koji se odnose na upravljanje, administraciju, izgradnju, popravak, održavanje i financiranje cesta, kao i sigurnost cestovne infrastrukture u zemlji – Zakon o cestama koji je na snazi od 11. kolovoza 2020. godine, zajedno s pratećim propisima i Pravilnikom o znakovima na topografskim kartama krupnog mjerila 1:5000 i 1:10 000. Pri klasifikaciji prometnih nesreća razredi su definirani detaljnim opisom uzroka i posljedica događaja.

Općenito, prometni sustav sastoji se od cestovne, željezničke, zračne, vodene i kabelaške infrastrukture. Cestovnu infrastrukturu čine cestovna mreža, cestovni objekti, cestovni pribor i objekti uz cestu. Cestovna mreža je predstavljena kao apstraktna superklasa svih vrsta cesta – autocesta, cesta nacionalne cestovne mreže i drugih, pri čemu svaka vrsta ceste predstavlja zasebnu klasu iz koje se stvaraju primjerci objekta za buduće različite vizualizacije. Sličan pristup koristi se i za cestovne objekte poput mostova, tunela i vijadukata – za različite ceste definirani su posebni razredi (npr. tunel autoceste, most na cesti iz mreže državnih cesta). Zbog ograničenja veličine slika, potpuni dijagrami sa svim komponentama nisu prikazani, već su opisani glavni dijelovi. Cestovni dodatci i objekti uz cestu također su definirani kao apstraktne klase, pri čemu će konačna zbirka primjeraka biti stvorena pomoću njihove generalizirane podklase – na primjer, određeni semafor, prometni znak ili benzinska postaja.

Prometne nesreće su definirane kao podklasa s relacijom generalizacije tipa superklase *Događaj*. Popravci i izlivanje također se klasificiraju kao događaji koji se javljaju na cestovnoj infrastrukturi ili u njezinoj blizini.

Definirane su klase vozila i unesrećenih koje su povezane s klasom *Nesreća*. Također je kreirana posebna klasa *Uvjeti*, čiji su sljedbenici *Stanje na cesti* i *Meteorološki uvjeti*. Ove nastavne klase *Uvjeti* predstavljaju razloge za nesreću.

Zaključci se mogu podijeliti na dva glavna aspekta. Prvi aspekt naglašava potrebu za normiranim i unificiranim modeliranjem pomoću alata za vizualno modeliranje i dizajn, poput UML-a. Ovaj pristup omogućava ispravan formalizirani opis predmetnog područja, tipiziranih procesa u

³⁸ INSPIRE Thematic Working Group Transport Networks. (2014) D2.8.1.7 *Data Specification on Transport Networks – Technical Guidelines*.

sustavu i značajki iz stvarnog svijeta s relacijama među njima. Izrada konceptualnog modela je ključna za pravilnu primjenu, algoritimizaciju i optimizaciju bilo kojeg GIS-a.

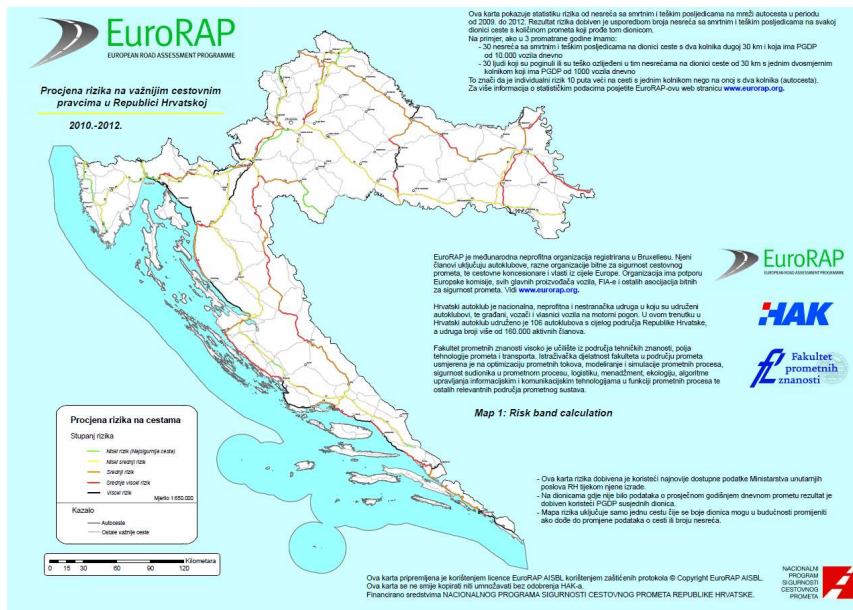
Drugi aspekt ističe važnost integracije međunarodnih normi u procese, geopodatke, proizvode i usluge već u početnoj fazi stvaranja GIS-a. Konceptualni model, temeljen na temeljitoj višestupanjskoj analizi objekata i njihovih odnosa unutar prometnog sustava te proučavanju različite terminologije i postojećih struktura, izrađen je u skladu s međunarodnim normama. Ova kvaliteta omogućava njegovu buduću automatiziranu primjenu za izradu primijenjenog modela i modela podataka za fizičku realizaciju GIS-a prometnih nesreća. Time se osigurava zajednička terminologija za univerzalno razumijevanje geoinformacija i postizanje interoperabilnosti. Na temelju ovih osnovnih načela mogu se razviti alati za prostornu analizu prometnih nesreća, koji će pomoći u smanjenju ozljeda u cestovnom prometu i osigurati ključne funkcionalnosti za bugarski prometni sustav.

6.5. Ocjena stanja sigurnosti cestovne infrastrukture RAP metodologijom

Projekt EuroRAP predstavlja ključan alat za unapređenje cestovne infrastrukture i smanjenje broja nesreća na hrvatskim cestama. EuroRAP (*European Road Assessment Programme*) je međunarodna neprofitna organizacija sa sjedištem u Bruxellesu, koju su osnovali automobilističke udruge i cestovne vlasti s ciljem zajedničkog poboljšanja sigurnosti prometa na europskim cestama. Trenutno okuplja oko pedeset članova iz 30 zemalja.

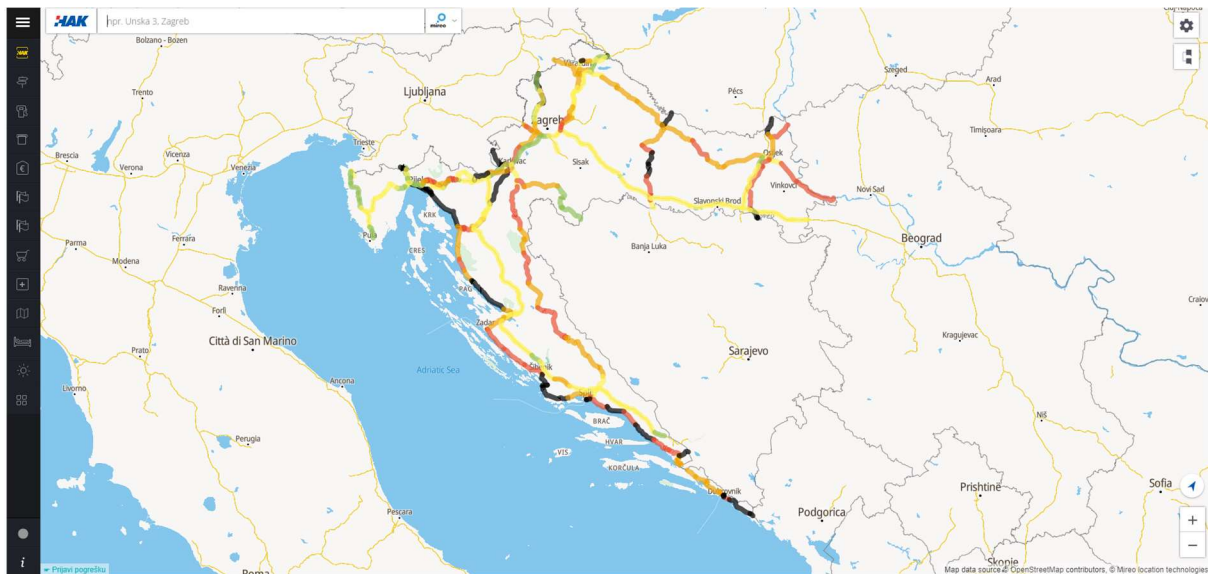
Hrvatski autoklub (HAK) pridružio se EuroRAP-u 2005. godine. Njihova uloga uključuje prikupljanje podataka o prometnim nesrećama i cestama, na temelju kojih se izrađuju potrebni proračuni. Ovi proračuni koriste se za izradu potrebnih mapa. Osim toga, HAK je zadužen za podizanje svijesti među javnim vlastima, državnim organima i stručnjacima o potrebi za proaktivnim pristupom u poboljšanju sigurnosti cestovnog prometa i infrastrukture kroz primjenu EuroRAP metodologije. Također, HAK koordinira aktivnosti svih sudionika u projektu.

Od 2007. godine, HAK posjeduje EuroRAP licencu za rad na poboljšanju cestovne infrastrukture u skladu s navedenim protokolima. U tu svrhu, 2009. godine osnovano je međuresorno Povjerenstvo za nadzor provedbe EuroRAP projekta, koje sada uključuje članove iz relevantnih institucija za sigurnost prometa u Hrvatskoj. Povjerenstvom, pod vodstvom HAK-a, upravljaju predstavnici Ministarstva unutarnjih poslova, Ministarstva mora, prometa i infrastrukture, Hrvatskih cesta, Hrvatskih autocesta, Autoceste Rijeka-Zagreb, Fakulteta prometnih znanosti i Instituta prometa i veza. Projekt se financira iz sredstava Nacionalnog programa sigurnosti cestovnog prometa.



Slika 26 - HAK EuroRAP

Izvor: Hrvatski Autoklub (HAK), Dostupno na: [<https://www.hak.hr/EuroRapKarta>] (1.9.2024.)



Slika 27 - HAK interaktivna geoinformacijska karta sa trenutnim stanjem najvažnijih prometnih pravaca

Izvor: Hrvatski Autoklub (HAK), Dostupno na: [<https://www.hak.hr/EuroRapKarta>] (1.9.2024.)

Značaj i utjecaj cestovne infrastrukture na sigurnost prometa višeznačno je definiran Direktivom 2008/96/EC Europskog parlamenta i Vijeća o sigurnosti cestovne infrastrukture. Ova Direktiva ističe da je zajedno s vozačima i vozilima, cestovna infrastruktura ključna za postizanje 50-postotnog smanjenja broja smrtnih slučajeva u prometnim nesrećama, što je osnovni cilj Europskog akcijskog programa za sigurnost cestovnog prometa. Također se naglašava da u području sigurnosti cestovne infrastrukture postoji prostor za poboljšanja, te je od esencijalne važnosti uspostaviti odgovarajuće postupke za ocjenu sigurnosti cesta i informiranje vozača o

dionicama s većim brojem nesreća. To uključuje rangiranje i ocjenu dionica cesta prema intenzitetu prometa i broju nesreća.

Metodologija i postupak ocjene sigurnosti cestovne infrastrukture razvijeni u okviru EuroRAP-a gotovo u potpunosti ispunjavaju zahtjeve Direktive i koriste se u većini zemalja Europske unije, kao i u nekim susjednim državama (Srbija, Bosna i Hercegovina, Crna Gora i Makedonija) koje su investirale značajna financijska sredstva za snimanje svojih cesta ili izradu mapa rizika. Ova metodologija također je prihvaćena globalno kroz programe kao što su AusRAP u Australiji, UsRAP u SAD-u, KiwiRAP na Novom Zelandu i iRAP koji obuhvaća brojne zemlje širom svijeta.

EuroRAP protokoli pružaju kvalitetan okvir za ocjenu sigurnosti cestovne infrastrukture, identifikaciju prijedloga za poboljšanje i evaluaciju postojećih sigurnosnih standarda.

Što se tiče primjene EuroRAP-a u Hrvatskoj, Povjerenstvo je, na temelju podataka o broju nesreća, ozbiljnosti stradavanja, stanju prometne infrastrukture i intenzitetu prometa, odabralo državnu cestu D2 (od GP-a sa Slovenijom u Dubravi Križovljanskoj do GP-a sa Srbijom u Iloku, dužine 335 km) kao jednu od najkritičnijih za pilot projekt. Pilot projekt i snimanje ključnih dionica provedeni su 2009. godine, dok su prethodna istraživanja za mapiranje rizika obuhvatila razdoblje od 2005. do 2007. godine. Prvi EuroRAP protokol obuhvatio je izradu karte rizika, pri čemu je prva karta rizika za autoceste i državne ceste u cijeloj zemlji izrađena na temelju statističkih podataka o intenzitetu prometa i nesrećama za razdoblje od 2007. do 2009. godine. Najnovija karta rizika napravljena je za podatke dobivene u razdoblju od 2010. do 2012. godine.

Na temelju stvarnih podataka o prometnim nesrećama i prometnom volumenu, EuroRAP karte rizika koriste jasne boje za prikaz opasnosti na prometnicama, pokazujući razinu rizika od pogibanja i ozljeđivanja na određenim cestama. Ove karte odražavaju rizik koji proizlazi iz interakcije između ljudi, vozila i cesta, a različite vrste karata pripremaju se u skladu s ciljanim korisnicima.

Što pokazuje nova karta rizika u odnosu na prethodnu? Ukupno je smanjen postotak najopasnijih crnih dionica, što sugerira da su poduzeti koraci za poboljšanje cestovne infrastrukture. Istovremeno, zbog strožeg sustava ocjenjivanja, smanjen je i postotak cesta s niskim rizikom. Prema statističkim podacima, situacija je posebno kritična na Jadranskoj magistrali (D8), gdje su brojne dionice označene crnom bojom, uključujući dijelove od Rijeke do Senja, od Karlobaga do Starigrada, od Šibenika do Trogira, i od Splita do Ploča. Dionica od Dubrovnika do granice s Crnom Gorom također se pokazuje kao izuzetno opasna. Ostale crne dionice uključuju cestu D23 od Duge Rese do Josipdola, D6 do slovenske granice, dio D5 od Daruvara do Pakraca, te od Virovitice do mađarske granice. Crne su i dionice na D1 u Zagorju, te cesta D7 od Belog Manastira do mađarske granice i dio ceste do Metkovića. Iako autoceste nemaju crne dionice, preporučuje se oprez i na tim cestama.

Na državnim cestama vidljiv je pozitivan trend povećanja sigurnosti, što proizlazi iz infrastrukturnih poboljšanja, smanjenja broja teških nesreća uz rast prometa, obnove voznog parka i provedbe preventivno-represivnih mjera.

Važno je da vozači budu posebno oprezni ne samo na dionicama s najlošijim ocjenama (crna boja), nego i na onima koje nemaju maksimalne ocjene. Na dionicama označenim crnom bojom potrebno je smanjiti brzinu i biti svjestan nesavršenosti cestovne infrastrukture.

EuroRAP projekt ističe nužnost daljnje analize i poboljšanja. Nakon izrade karte rizika, sljedeći korak trebao bi biti detaljna kontrola i snimanje stanja cestovnih obilježja s posebnim vozilom, što bi omogućilo precizne preporuke za poboljšanje, poput onih za Jadransku magistralu. EuroRAP također promiče pristup podijeljene odgovornosti između cesta, vozila i vozača, što omogućava da se ne samo vozači, već i stručnjaci fokusiraju na smanjenje posljedica nesreća. Ovo je inovativan pristup koji priznaje pravo vozača na pogrešku, uz obavezu struke da minimizira posljedice tih pogrešaka.

Podaci o stradanjima na autocestama u Hrvatskoj pokazuju da, iako se autoceste smatraju najsigurnijima, broj teških nesreća i smrtnost i dalje prelazi europski prosjek. Praćenje povijesnih podataka pomaže u identificiranju učinkovitih mjera za smanjenje najtežih stradanja i može služiti kao mjera učinkovitosti sigurnosnih programa.

Investicijski planovi usmjereni su na implementaciju mjera koje daju najbolje rezultate s najmanjim troškovima na opasnim dionicama. EuroRAP preporučuje više od 70 mjera, od jednostavnih kao što je poboljšanje horizontalne signalizacije, do kompleksnijih poput rekonstrukcije raskrižja ili gradnje drugog kolnika na najopasnijim dionicama.

6.6. Utjecaj geoinformacijskog sustava u funkciji sigurnosti cestovnog prometa

Cestovna infrastruktura svake države predstavlja ključan element za njezin gospodarski razvoj i rast. Osim što treba osigurati protočnost, neophodno je postići i visoku razinu sigurnosti na cestama kako bi prijevoz ljudi i dobara bio učinkovit i siguran.

Prometne nesreće na cestama postale su globalna epidemija, a prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije, one su osmi najčešći uzrok smrti u svijetu. Promet najviše odnosi živote djece u dobi od 5 do 14 godina, kao i mladih u dobi od 15 do 29 godina. Statistike pokazuju da svake godine u prometnim nesrećama strada oko 1,35 milijuna ljudi. Predviđa se da će se do 2030. godine broj smrtnih slučajeva u prometu globalno povećati na 2,4 milijuna godišnje. U Europskoj uniji, od 2001. do 2010. godine, broj smrtnih slučajeva u prometu smanjio se za 43%, dok je od 2010. do 2018. godine pao za dodatnih 21%. Unatoč tome, 2018. godine na cestama Europske unije poginulo je 25.150 osoba, dok je 135.000 teško ozlijeđeno. Europska komisija smatra da je to neprihvatljiv i nepotreban gubitak, kako u ljudskim životima, tako i u ekonomskom smislu, s procijenjenim godišnjim troškom prometnih nesreća od oko 280 milijardi eura, što je oko 2% BDP-a.

Uz čovjeka i vozilo, sve se više pozornosti posvećuje cestovnoj infrastrukturi kao jednom od ključnih čimbenika sigurnosti u prometu. Poboljšanjem cestovne infrastrukture može se djelovati i preventivno i reaktivno, što znači da sigurno projektirane, izgrađene i održavane ceste mogu smanjiti vjerojatnost nastanka prometnih nesreća te ublažiti njihove posljedice ako se

dogode (koncept opraštajućih cesta). Procjenjuje se da cestovna infrastruktura i okolica ceste doprinose u više od 30% prometnih nesreća.

Važnost cestovne infrastrukture za sigurnost prometa prepoznata je na globalnoj razini, u Europskoj uniji i Republici Hrvatskoj. U razdoblju od 2021. do 2030. godine, jedan od glavnih ciljeva povećanja sigurnosti cestovnog prometa fokusira se upravo na unapređenje cestovne infrastrukture. Generalna skupština Ujedinjenih naroda proglasila je razdoblje od 2021. do 2030. godine kao Drugo desetljeće sigurnosti cestovnog prometa, s ciljem smanjenja smrtnih slučajeva i ozljeda na cestama za 50%. Također, u lipnju 2019. godine, Europska komisija objavila je dokument "Okvir politike Europske unije za sigurnost na cestama 2021.-2030.", koji pruža smjernice za izradu nacionalnih planova sigurnosti na cestama. Europska unija usvojila je dugoročni cilj nulte stope smrtnosti do 2050. godine te smanjenje smrtnosti za 50% do 2030. godine. Unutar ovog okvira, unapređenje sigurnosti cestovne infrastrukture je jedan od osam ključnih pokazatelja uspješnosti.

Republika Hrvatska slijedi ovu praksu te je kroz *Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa za razdoblje od 2021. do 2030. godine* uskladila svoje ciljeve s europskim. Prema tom planu, udio teških prometnih nesreća u kojima je infrastruktura jedan od faktora iznosi oko 1%, dok se procjenjuje da je infrastruktura bila jedan od potencijalnih uzroka u čak 35% teških nesreća, što je iznad europskog prosjeka. Cilj Nacionalnog plana je da do 2030. godine sve nove ceste zadovoljavaju predviđene sigurnosne standarde za sve sudionike u prometu ili imaju ocjenu od tri ili više zvjezdica. Također, ceste na kojima se odvija 75% prometa trebaju biti ocijenjene s minimalno tri zvjezdice za sve skupine korisnika, ovisno o kategoriji ceste i planiranom prometnom opterećenju.

Međunarodni program za ocjenjivanje sigurnosti cesta (iRAP) je globalna neprofitna organizacija koja surađuje s vladama, cestovnim upravama, automobilskim klubovima, razvojnim bankama, kao i s nevladinim i istraživačkim organizacijama kako bi procijenila sigurnost cesta koristeći *iRAP Star Rating* metodologiju.

Ova metodologija uključuje analizu sigurnosti ključnih elemenata cestovne mreže, a prikupljeni podaci koriste se za ocjenu trenutnog rizika s kojim se sudionici prometa susreću prilikom korištenja infrastrukture. Na temelju tih podataka, procjenjuje se kako smanjiti broj prometnih nesreća na određenim dijelovima ceste, uzimajući u obzir dostupna sredstva, ekonomsku isplativost i slične faktore. U procjenama se koriste najnoviji alati i aplikacije razvijeni od strane iRAP-a i Fakulteta prometnih znanosti. Rezultat procjene sigurnosti cesta prema ovoj metodologiji prikazuje se ocjenama u rasponu od jedne do pet zvjezdica, pri čemu jedna zvjezdica predstavlja najnižu, a pet zvjezdica najvišu razinu sigurnosti.

Nakon procjene, prema dobivenim ocjenama definiraju se mjere za poboljšanje sigurnosti s ciljem smanjenja vjerojatnosti nesreća i njihovih posljedica. Metodologija ocjenjivanja zvjezdicama temelji se na vrstama nesreća koje najčešće rezultiraju teškim ili smrtnim ishodima, pa se najviše pažnje posvećuje sljedećim elementima cestovne infrastrukture:

- Kod analize razdjelnog pojasa ili središnje linije, ključna pažnja posvećuje se načinu razdvajanja suprotnih smjerova prometa. U kontekstu sigurnosti, najvažnija uloga ovih elemenata je u sprječavanju frontalnih sudara ili smanjenju njihovih posljedica.
- Kod analize raskrižja, ključna pažnja usmjerena je na tip raskrižja i njegovu prilagođenost prometnim uvjetima i okolini ceste. U kontekstu sigurnosti, najvažniju ulogu igraju bočni udari te mjere za njihovo sprječavanje ili smanjenje njihovih posljedica.
- Kod analize stanja okoline ceste, posebna pažnja posvećuje se opasnim objektima uz cestu i njihovim karakteristikama, odnosno bočnim opasnostima. U kontekstu prometnih nesreća, ključnu ulogu imaju izlijetanja vozila s ceste te mjere za sprječavanje tih nesreća ili ublažavanje njihovih posljedica.

Frontalni sudari su među najopasnijim vrstama nesreća i čine značajan udio u ukupnom broju teških prometnih nesreća (primjerice, u Francuskoj su drugi najčešći uzrok smrtnog ishoda). Kombinacija mase i brzine dvaju vozila često dovodi do smrtonosnih posljedica za vozače i putnike. Čak i kod novijih vozila, šanse za preživljavanje frontalnog sudara pri brzinama iznad 70 km/h su izrazito niske. Kod starijih vozila ili onih različite mase, smrtni ishod može nastupiti i pri nižim brzinama od 70 km/h. Frontalni sudari obično nastaju kada vozilo napusti svoju traku i uđe u putanju vozila iz suprotnog smjera. Mjere za sprječavanje frontalnih sudara ili smanjenje njihovih posljedica uključuju:

- Intervencije na razdjelnim linijama (šrafirane razdjelne crte, vibrirajuća horizontalna signalizacija, LED svjetlosne oznake, žičane zaštitne ograde, stupići, klemmfix),
- Intervencije u razdjelnom pojasu (vibrirajuća horizontalna signalizacija, LED svjetlosne oznake, zaštitne ograde, klemmfix), ali i druge mjere.

Mjere uz rub kolnika, poput vibrirajuće horizontalne signalizacije, LED svjetlosnih oznaka, zaštitnih ograda te sanacije visinskih razlika između bankine i kolnika, također su učinkovite u sprječavanju frontalnih sudara. Ovi zahvati pomažu u slučajevima kada vozač prekomjerno korigira smjer vozila, što može dovesti do gubitka kontrole i prelaska u suprotnu traku. Takve situacije su češće ako postoji visinska razlika između ruba kolnika i bankine, što otežava vozaču kontrolu nad vozilom prilikom ispravljanja putanje.

Faktori koji doprinose frontalnim sudarima uključuju neprilagođenu brzinu, nedostatak širokih središnjih crta ili fizičkog odvajanja suprotnih prometnih tokova, nedostatak sigurnih zona za pretjecanje, nedovoljnu razinu trenja kolnika, nepostojanje učvršćenih bankina, neadekvatnu horizontalnu signalizaciju i druge slične čimbenike.

Sudari na raskrižjima, osobito u urbanim područjima, spadaju među najčešće vrste prometnih nesreća, dok u ruralnim sredinama, gdje su brzine veće, posljedice tih sudara često mogu biti smrtno. Kod većine modernih automobila, rizik od teških ozljeda ili smrti značajno raste već pri brzinama od 50 km/h naviše. Sudari na raskrižjima mogu uključivati različite vrste nesreća, poput frontalnih sudara, bočnih sudara gdje oba vozila voze ravno, bočnih sudara gdje jedno ili više vozila skreću, naleta na drugo vozilo ili sudara s pješakom ili biciklistom.

Faktori koji dodatno pridonose nastanku prometnih nesreća u zonama raskrižja uključuju neprilagođene brzine uvjetima na cesti, nedostatak nogostupa, pješačkih prijelaza ili biciklističke infrastrukture, nedovoljnu preglednost za nadolazeća vozila, loše stanje kolnika i druge čimbenike.

Ovisno o specifičnostima situacije i izvedbi raskrižja, postoji mnogo varijantnih rješenja koja mogu smanjiti broj prometnih nesreća i ublažiti ozbiljnost njihovih posljedica. Neke od mogućih mjera uključuju poboljšanje horizontalne i vertikalne signalizacije, postavljanje delineatora, implementaciju semaforizacije, dodavanje trakova za lijevo skretanje, pa čak i rekonstrukciju ili promjenu tipa raskrižja.

Izlijetanje vozila s kolnika česta je pojava, posebno na dionicama s visokim brzinama vožnje. Uz samu brzinu, značajnu ulogu u posljedicama izlijetanja igra okolina ceste, poput udarca u objekte uz cestu ili slijetanja niz liticu. Okolina cestovne infrastrukture može značajno utjecati na ishod nesreće, ovisno o konfiguraciji terena i objektima uz cestu. Na primjer, frontalni udar u stup rasvjete ili u veću vertikalnu prometnu signalizaciju često rezultira smrtnim ishodom ili teškim posljedicama. Istraživanja pokazuju da se stopa preživljavanja značajno smanjuje pri brzinama većim od 70 km/h. Osim udara u objekte uz cestu, teške posljedice mogu prouzročiti i prevrtanja vozila, s težinom ozljeda koja raste uz visinu pada vozila ili prisutnost vodenih površina. Prevrtanje vozila javnog prijevoza može imati posebno ozbiljne posljedice zbog sklonosti tih vozila prevrtanju i njihove lomljivije konstrukcije, kao i činjenice da putnici često ne koriste sigurnosne pojaseve.

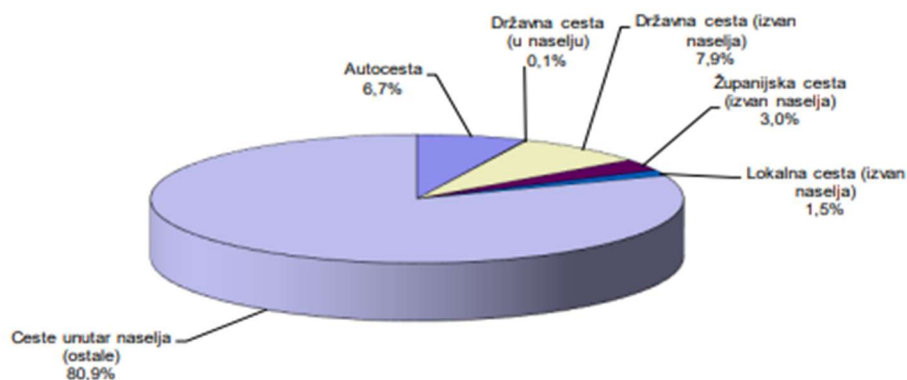
Izlijetanje vozila može također uzrokovati sekundarne nesreće, kao što je izlijetanje na susjedni kolnik, željezničku prugu ili u skupinu ljudi uz cestu. Inženjerska rješenja za smanjenje rizika uključuju:

- Zadržavanje vozila na kolniku: Poboljšanje kvalitete kolnika i napredno obavještanje o nadolazećim zavojima.
- Obavještanje vozača o napuštanju kolnika: Korištenje rubnih vibrirajućih traka.
- Poboljšanje uvjeta za povratak vozila na voznu traku. Ugradnja odgovarajućih bankina.
- Ublažavanje posljedica izlijetanja vozila. Postavljanje zona izlijetanja ili zaštitnih odbojnih ograda.

Zaštitne odbojne ograde su ključne za sigurnost, posebno na dijelovima ceste gdje postoji opasnost od nekontroliranog skretanja vozila. Trebaju biti postavljene tako da učinkovito sprječavaju izlijetanje vozila s ceste, prihvaćajući energiju udara i postepeno zaustavljajući vozilo. Tako se smanjuje materijalna šteta na vozilima i rizik od ozljeda sudionika u prometu. Pri sanaciji opasnih mjesta uz cestu, važno je razmotriti je li ekonomski isplativije ukloniti ili izmjestiti opasnost ili je zaštititi odbojnom ogradom. Također, treba osigurati da postavljanje odbojne ograde rezultira manjom štetom za vozilo i putnike nego što bi to bio udarac u samu opasnost koju ograda štiti.

6.7. Sigurnost županijskog cestovnog prometa u brojkama u Republici Hrvatskoj

Analizom teških prometnih nesreća u Republici Hrvatskoj, prema podacima iz 2023. godine, može se utvrditi da otprilike 7,9% svih teških nesreća (koje uključuju smrtno stradale i teško ozlijeđene) nastaje na državnim cestama. To znači da se približno svaka 12. teška prometna nesreća događa upravo na tim cestama. Nakon njih slijede autoceste sa 6,7% prometnih nesreća. Najviše prometnih nesreća događa se na ostalim cestama unutar naselja (više od 80%).

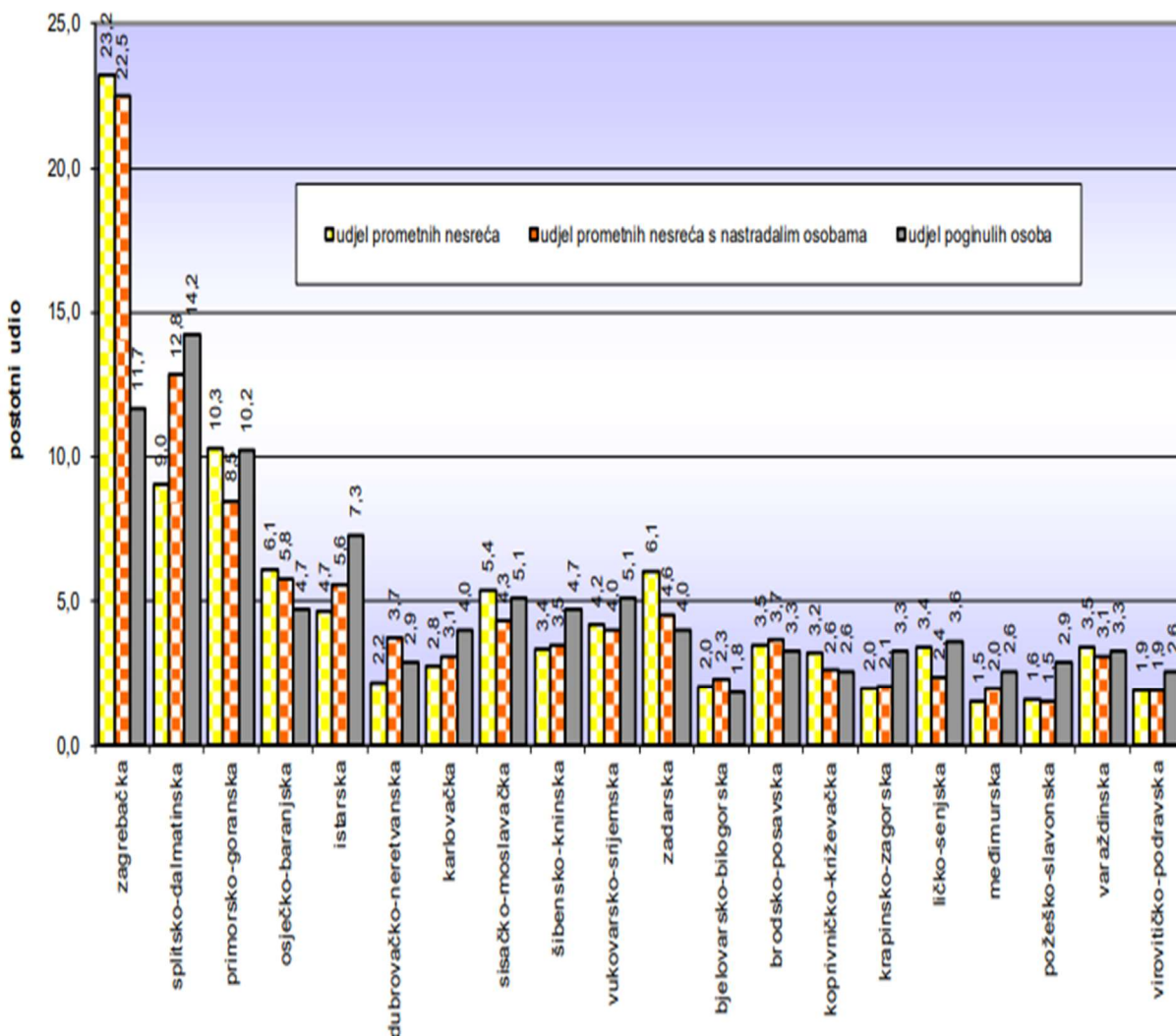


Slika 28. Udio teških prometnih nesreća prema kategoriji prometnice (teške prometne nesreće u 2023.)

Izvor: MUP.hr, bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2023. (1.9.2024.)

Ako se analiziraju podaci na razini policijskih uprava, tj. županijskih uprava za ceste, tijekom razdoblja 2023. godine, Zagrebačka županija prednjači po broju teških prometnih nesreća s udjelom od oko 22,5%. Slijede Splitsko-dalmatinska županija s približno 12,8% i Primorsko-goranska županija s otprilike 8,9% udjela.

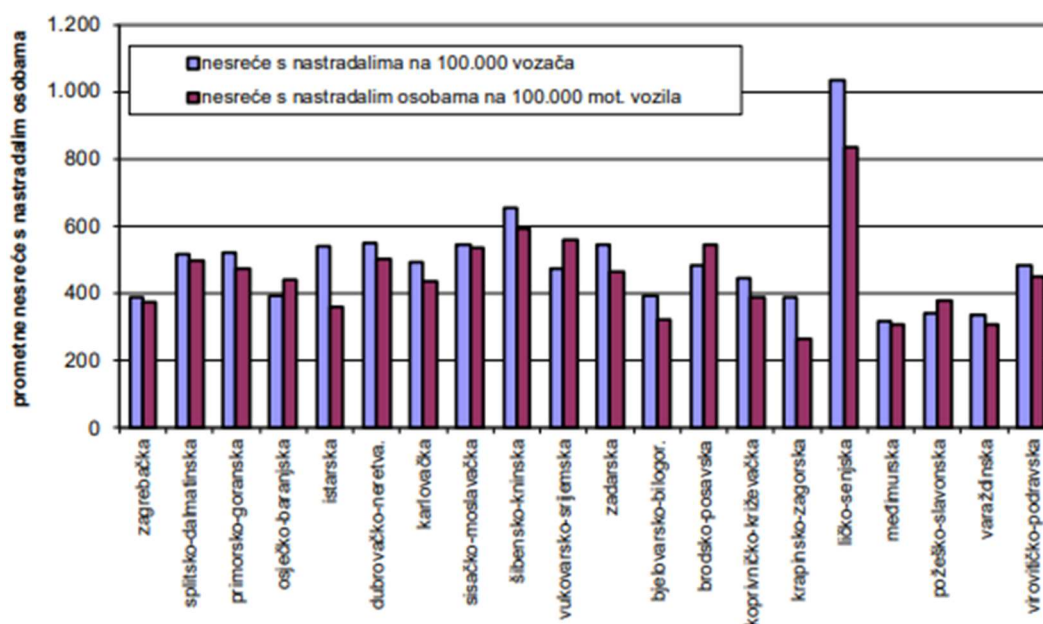
Tablica 1. Rangiranje policijskih uprava prema broju teških prometnih nesreća na županijskim cestama po stanovniku



Izvor: MUP.hr, bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2023. (1.9.2024.)

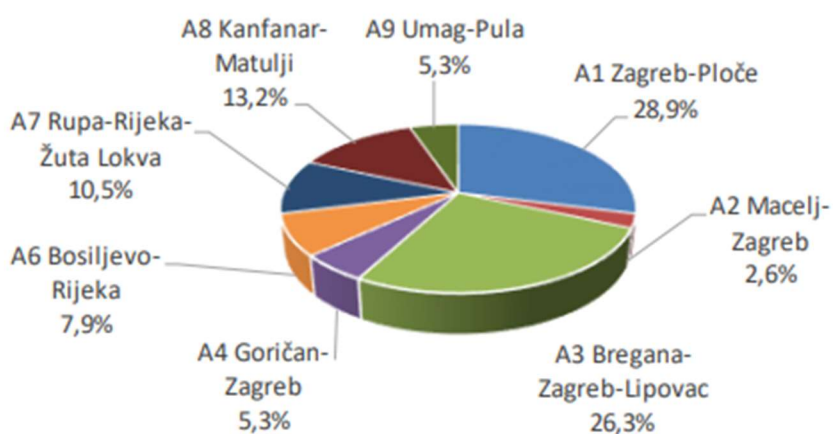
Kada se u obzir uzme i intenzitet prometa, odnosno populacija, procjena vjerojatnosti nastanka teških prometnih nesreća na županijskim cestama mijenja se. U tom kontekstu, Ličko-senjska županija ima najveću vjerojatnost za teške prometne nesreće, slijede Šibensko-kninska županija, Dubrovačko-neretvanska i Sisačko-moslavačka županija.

Tablica 2. Rangiranje policijskih uprava prema broju teških prometnih nesreća na županijskim cestama po stanovniku



Izvor: MUP.hr, bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2023. (1.9.2024.)

Analizom autocesta i brzih cesta koje su bile predmet ocjene stanja sigurnosti utvrđeno je da je dionica A3 Bregana-Zagreb-Lipovac zabilježila najviše prometnih nesreća sa smrtno stradalima u 2023. godini.



Slika 29. Poginule osobe na autocestama i brzim cestama u 2023.

Izvor: MUP.hr, bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2023. (1.9.2024.)

6.8. Financijski troškovi prometnih nesreća

Prometne nesreće generiraju značajne društvene troškove koji trebaju biti analizirani kako bi se odredili investicijski prioriteti za unaprjeđenje i održavanje cestovne infrastrukture. Na temelju ekonomske analize društvenog troška prometnih nesreća na županijskim cestama u Republici Hrvatskoj, koja je usklađena s zaključcima projekta MARS (Modernizacija i restrukturiranje cestovnog sektora, MMPI), utvrđeno je sljedeće:

- U razdoblju od 2010. do 2019. godine, ukupni društveni trošak od teških prometnih nesreća na županijskim cestama u Hrvatskoj iznosio je oko 2.200.328.062 € (16.578.371.786 kn).
- Prosječni godišnji društveni trošak 2023. godine iznosio je milijardu eura što iznosi 2.3% BDP-a Republike Hrvatske.

Kada se analizira društveni trošak po stanovniku, najviši trošak pripada Brodsko-posavskoj županiji, a slijede Istarska, Osječko-baranjska i Požeško-slavonska županija.

Za potrebe izračuna pretpostavljeno je da svaka prometna nesreća sa smrtno stradalima uključuje samo jednog smrtnog stradalog, a nesreća s teško ozlijeđenima samo jednog teško ozlijeđenog sudionika. Stoga se može očekivati da je stvarni društveni trošak možda do 10% veći od prikazanog.

Tablica 4 pruža uvid u društveni trošak prema prometnicama koje su predmet ocjene stanja sigurnosti ovog projekta. Analizom društvenog troška može se utvrditi prioritarnost sanacije određenih dionica, uzimajući u obzir:

- Društveni trošak: Ukupni trošak koji generiraju prometne nesreće na određenim prometnicama, koji može uključivati troškove liječenja, materijalnu štetu, gubitak produktivnosti i druge socijalne troškove.
- Investicijski trošak: Trošak koji je potreban za implementaciju sanacijskih mjera i poboljšanja infrastrukture na tim prometnicama.

Pri određivanju prioriteta sanacije, važno je razmotriti omjer između društvenog troška i investicijskog troška kako bi se identificirale najefikasnije i najisplativije mjere za poboljšanje sigurnosti cestovne mreže.

Tablica 3. Društveni trošak teških prometnih nesreća na županijskim cestama prema policijskoj upravi

Policijska uprava	Ukupni društveni trošak [€] 2010.-2019.	Društveni trošak [€] po stanovniku	Prosječan godišnji društveni trošak [€]
PU BRODSKO-POSAVSKA	280.405.917	2.153	28.040.592
PU ISTARSKA	228.902.789	1.172	22.890.279
PU OSJEČKO-BARANJSKA	299.004.269	1.159	29.900.427
PU POŽEŠKO-SLAVONSKA	69.386.158	1.083	6.938.616
PU VUKOVARSKO-SRIJEMSKA	125.181.213	875	12.518.121
PU ZADARSKA	133.765.068	837	13.376.507
PU MEĐIMURSKA	85.838.546	816	8.583.855
PU KRAPINSKO-ZAGORSKA	94.422.401	782	9.442.240
PU ŠIBENSKO-KNINSKA	75.108.728	779	7.510.873
PU SPLITSKO-DALMATINSKA	311.164.729	735	31.116.473
PU KARLOVAČKA	81.546.619	727	8.154.662
PU DUBROVAČKO-NERETVANSKA	72.247.443	625	7.224.744
PU PRIMORSKO-GORANSKA	125.181.213	472	12.518.121
PU LIČKO-SENJSKA	19.313.673	452	1.931.367
PU SISAČKO-MOSLAVAČKA	56.510.376	405	5.651.038
PU VIROVITIČKO-PODRAVSKA	19.313.673	274	1.931.367
PU KOPRIVNIČKO-KRIŽEVAČKA	21.459.636	212	2.145.964
PU VARAŽDINSKA	32.189.455	202	3.218.945
PU BJELOVARSKO-BILOGORSKA	11.445.139	112	1.144.514
PU ZAGREBAČKA	57.941.019	54	5.794.102
Ukupno [€]	2.200.328.062		220.032.806
Ukupno [kn]	16.578.371.786		1.657.837.179

Izvor: Hrvatski Autoklub, „izrada digitalnog video snimka najopasnijih segmenata dionica županijskih cesta s analizom sigurnosti i plana investiranja prema star rating metodologiji eurorap, Dostupno na: [https://static.1987.hr/media/sigurnost-u-prometu/medjunarodni-projekti/eurorap/900-282%20HAK_ZUC_v0.11.pdf] Pristupljeno: (1.9.2024.)

Tablica 4. Društveni trošak teških prometnih nesreća na analiziranim prometnicama

ID	Broj teških prometnih nesreća 210.-2019.	Cesta	Društveni trošak [€]	Prosječan godišnji društveni trošak [€]
1807	110	Ž4202	78.685.334	7.868.533
1838	52	Ž4205	37.196.703	3.719.670
1887	52	Ž4257	37.196.703	3.719.670
998	46	Ž4158	32.904.776	3.290.478
1666	44	Ž4105	31.474.134	3.147.413
1883	34	Ž4244	24.320.921	2.432.092
1625	20	Ž4101	14.306.424	1.430.642
80	16	L20039	11.445.139	1.144.514
833	16	Ž3094	11.445.139	1.144.514
229	12	Ž2114	8.583.855	858.385
1706	12	Ž4115	8.583.855	858.385
1737	12	Ž4146	8.583.855	858.385
1851	9	Ž4212	6.437.891	643.789
92	8	Ž2005	5.722.570	572.257
1886	8	Ž4253	5.722.570	572.257
997	4	Ž3084	2.861.285	286.128

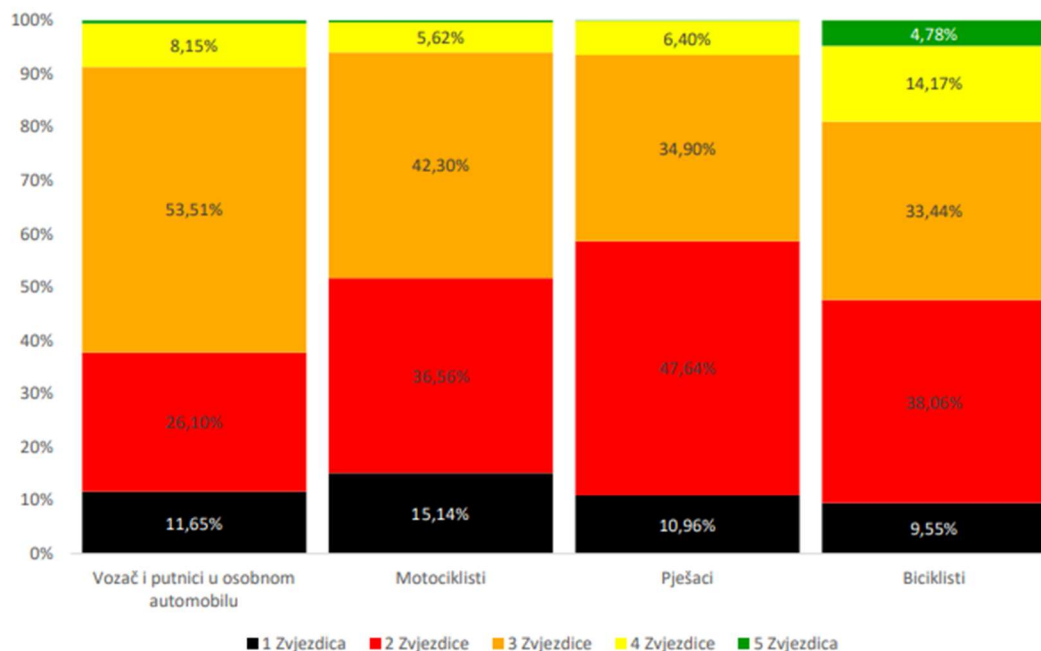
Izvor: Hrvatski Autoklub, „izrada digitalnog video snimka najopasnijih segmenata dionica županijskih cesta s analizom sigurnosti i plana investiranja prema star rating metodologiji eurorap, Dostupno na: [https://static.1987.hr/media/sigurnost-u-prometu/medjunarodni-projekti/eurorap/900-282%20HAK_ZUC_v0.11.pdf] Pristupljeno: (1.9.2024.)

6.9. Procjena trenutnog stanja cestovne infrastrukture u Republici Hrvatskoj

Primjenom metodologije *iRAP Star Rating*, utvrđene su vrijednosti rizika za analizirane dionice unutar cijele mreže. Ove vrijednosti temelje se na kodiranim podacima o prometnoj infrastrukturi i dodatnim atributima koji se dodaju nakon faze kodiranja videozapisa (poznate kao "*Post-coding attributes*"). Prema *iRAP* metodologiji, procjena vrijednosti indikatora rizika za promatrane cestovne segmente temelji se na individualnim relativnim rizicima za četiri glavne skupine cestovnih korisnika:

- vozači i putnici u osobnim automobilima,
- pješaci,
- motociklisti, i
- biciklisti.

Prethodno prikazane tablice prikazuju kumulativne rezultate iRAP ocjene zvjezdica za sve analizirane dionice cesta, dok slika u nastavku prikazuje kartu rizika za kategoriju "vozači i putnici u osobnim automobilima" za sve analizirane dionice. Rezultati za različite kategorije cestovnih korisnika prema dionicama bit će detaljno prikazani u sljedećim podpoglavljima.



Slika 30 - Kumulativni rezultati iRAP ocjene zvjezdica za sve analizirane dionice cesta

Izvor: Hrvatski autoklub, „Analiza cestovne sigurnosti eurorap/irap srs i srd metodologijama s ciljem povećanja sigurnosti na dionicama autoceste a8 od tunela učka do čvora matulji“, Dostupno na https://static.1987.hr/media/sigurnost-u-prometu/medjunarodni_projekti/eurorap/izvjesce_eurorap_2020.pdf Pristupljeno:1.9.2024.

Tablica 5 - Kumulativni rezultati iRAP ocjene zvjezdica za sve analizirane dionice cesta

Broj zvjezdica	Vozač i putnici u osobnom automobilu		Motociklisti		Pješaci		Biciklisti	
	Duljina [km]	Postotak	Duljina [km]	Postotak	Duljina [km]	Postotak	Duljina [km]	Postotak
5 Zvezdica	1.9	0.59%	1.2	0.37%	0.3	0.09%	15.3	4.78%
4 Zvezdice	26.1	8.15%	18	5.62%	20.5	6.40%	45.4	14.17%
3 Zvezdice	171.4	53.51%	135.5	42.30%	111.8	34.90%	107.1	33.44%
2 Zvezdice	83.6	26.10%	117.1	36.56%	152.6	47.64%	121.9	38.06%
1 Zvezdica	37.3	11.65%	48.5	15.14%	35.1	10.96%	30.6	9.55%
Ne može se primijeniti	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Ukupno	320.3	100.00%	320.3	100.00%	320.3	100.00%	320.3	100.00%

Izvor: Hrvatski Autoklub, „Analiza cestovne sigurnosti eurorap/irap srs i srd metodologijama s ciljem povećanja sigurnosti na dionicama autoceste a8 od tunela učka do čvora matulji“, Dostupno na https://static.1987.hr/media/sigurnost-u-prometu/medjunarodni_projekti/eurorap/izvjesce_eurorap_2020.pdf Pristupljeno:1.9.2024.

Nakon što je provedena ocjena stanja sigurnosti cestovne infrastrukture korištenjem iRAP Star Rating metodologije i izrađene karte rizika, pristupilo se izradi investicijskog plana za poboljšanje sigurnosti cestovne infrastrukture, poznatog kao Star Rating and Safer Road Investment Plans (SRIP).

Ovaj investicijski plan temelji se isključivo na rezultatima ocjene stanja sigurnosti prema iRAP metodologiji, uzimajući u obzir prometne nesreće i intenzitet prometa. Za izradu plana SRIP-a, iRAP je kreirao bazu s 194 predefinirane generalne mjere za poboljšanje sigurnosti cestovne infrastrukture. Mjere se dodjeljuju prema utvrđenim nedostacima u cestovnoj infrastrukturi, prema iRAP modelu i polaznim pretpostavkama. Na primjer, ako je ocjenom sigurnosti identificiran duboki odvodni kanal uz cestu, iRAP model može preporučiti najprikladniju mjeru, poput zatrpavanja kanala ili postavljanja zaštitne odbojne ograde, na temelju analize troškova i koristi (CBA).

Važno je napomenuti da je SRIP plan informativne prirode i namijenjen za široku primjenu kako bi se brzo identificirale potencijalno opasne dionice. Budući da kreiranje optimalnih prometnih rješenja može biti složeno, nakon SRIP planiranja, prometni inženjeri trebaju razviti konkretne mjere sanacije. Za ovu svrhu iRAP je razvio metodologiju pod nazivom Korisnički Definirani Investicijski Plan (User Defined Investment Plans, UDIP). U okviru UDIP-a, prometni inženjer će detaljno analizirati svaku dionicu i prilagoditi mjere predložene SRIP-om, uzimajući u obzir specifičnu situaciju na terenu i zahtjeve naručitelja i drugih dionika.

Osim informativne procjene potencijala smanjenja društvenog troška prometnih nesreća, SRIP plan pruža i informacije o troškovima sanacije te izračun financijskih i ekonomskih pokazatelja prema analizi troškova i koristi (CBA). Prema izrađenom investicijskom planu (SRIP), moguće je pretpostaviti da će se poboljšanjem sigurnosti cestovne infrastrukture u analiziranim dionicama potencijalno spriječiti 275 smrtnih slučajeva i teških ozljeda tijekom 20 godina. Na temelju rezultata projekta MARS provedenog od strane Ministarstva mora, prometa i infrastrukture, gdje su jedinični troškovi prometne nesreće usklađeni s ekonomskim uvjetima Republike Hrvatske, može se zaključiti da ulaganje u poboljšanje cestovne sigurnosti na analiziranim dionicama može značajno smanjiti društvene gubitke.

7. ZAKLJUČAK

Korištenjem GIS programskih alata i njihovim kontinuiranim razvojem, kvaliteta života mnogih se znatno povećala. Bez obzira na složenost podataka koje sustav koristi, na kartama svih formata moguće je vrlo jednostavno prikazati veliku količinu informacija. Obrada podataka i njihova analiza omogućuju simulacije unutar naprednih GIS alata, pružajući vrlo točan i detaljan prikaz stvarnih rezultata uz pomoć specifičnih modela. Na svakodnevnoj razini korisnici mogu uštedjeti mnogo vremena jer ne troše vrijeme na pronalazak najbolje rute, manja je vjerojatnost da će pogriješiti u pronalasku odredišta i korištenje ovakvih alata daje korisnicima određeno samopouzdanje i sigurnost s obzirom da geoinformacijski sustavi pružaju pouzdanu podršku.

Geoinformacijski sustavi nisu samo podrška pojedincima već optimiziraju i veće sustave te dugi niz godina upravljaju prometom i rješavaju kompleksne prometne zadatke i probleme. GIS je svestran alat s primjenom u različitim sektorima poput urbanog planiranja, vojske, medicine i okoliša. Iako simulacije još uvijek nisu savršene, GIS omogućuje vjerodostojno prikazivanje stvarnih situacija te je temelj za donošenje odluka u upravljanju poduzećima i organizacijama. Usavršava se iz godine u godinu te se kontantno radi na njegovoj preciznosti i točnosti s obzirom na veliki interes i široku primjenu ovih alata.

Karte predstavljaju glavni izvor podataka za GIS, a razvoj digitalnih tehnologija, poput GPS-a i otvorenih GIS softverskih rješenja, ubrzao je napredak računalne kartografije. GIS analize rezultiraju predvidljivim kartama koje vizualiziraju podatke potrebne za donošenje odluka, pri čemu GIS objedinjuje tehnologiju s prostornim podacima kako bi se olakšalo upravljanje projektima.

Učinkovito upravljanje GIS projektima ključ je za njihovu isplativost. Odabir adekvatne strukture podataka, hardvera, softvera i vremena za učenje novog softvera presudni su faktori. Vlada je kroz povijest (a i danas) imala važnu ulogu u financiranju GIS projekata, ali i njihovoj kontroli.

Iz isključivo prometne perspektive, GIS sustavi koriste se u praćenju stanja na cestama, analizi prometnih nesreća, optimizaciji sigurnosnih mjera te određivanju optimalnih lokacija za hitne centre, policijske stanice i bolnice. U Hrvatskoj, njih koriste i kontroliraju Nacionalne Agencije i Državne tvrtke (npr. Nacionalna Agencija za prijevoz, Hrvatske ceste). Sve više dionika u organizacijama sudjeluje u korištenju tih sustava i njihovom praćenju. Korištenjem satelitskih snimaka i kolizijskih dijagrama moguće je vizualizirati prometne nesreće i analizirati prometne probleme na specifičnim lokacijama.

U konačnici, GIS je postao ključni alat u modernom upravljanju prometom, urbanim planiranjem i analizom prostornih podataka, s naglaskom na optimizaciju troškova, poboljšanje javne infrastrukture i sigurnosti u prometu.

Za optimalnu funkcionalnost GIS-a, sustav mora pružiti široku paletu opcija za upravljanje i analizu podataka. Potencijalna ograničenja uključuju dostupnost podataka i mogućnosti pojedinih softverskih rješenja, što znači da će metode analize varirati ovisno o korištenom GIS

sustavu. Korištenje GIS alata i prostornih podataka trebalo bi rezultirati većom efikasnošću projekata, poboljšanim upravljanjem informacijama i preciznijim analizama.

Da bi se u potpunosti iskoristile prednosti ovakvog sustava, nužno je automatizirati proces kreiranja GIS-a pomoću kartiranja početnog stanja prometnica i provjeriti točnost podataka uspoređujući ih s trenutnim stanjem na terenu. Još jedan bitan segment u kojem GIS ima značajnu ulogu je zaštita okoliša, s obzirom na to da planiranje i upravljanje prijevozom zahtijeva pažljivo razmatranje utjecaja prometa na prirodu. GIS pomaže logističkim tvrtkama da bolje razumiju ove posljedice i odaberu najprikladnija rješenja s minimalnim negativnim utjecajem na okoliš, a pritom ostvaruju jednaku dobit.

Jednostavnim programskim rješenjima kao što je Web GIS koji bi bio dostupan vozačima moguće je povećati svjest vozačima na crne točke na prometnicama unutar Republike Hrvatske. Takvim preventivnim djelovanjem mogla bi se poboljšati sigurnost cestvnog prometa na najkritičnijim djelovima. Takvo programsko rješenje koje bi bilo dostupno na službenim stranicama Republike Hrvatske moglo bi se integrirati u standardne, najkorištenije navigacijske karte.

Riješenje bi svoj vrhunac dostizalo u turističkoj sezoni kad je na većini dionica prema primorju znatno veći porast prometnih nesreća sa stradalima. Automatske SMS poruke koje bi dolazile vozačima prilikom prelaska granice, dodatno bi potaknule turiste korištenju takve vrste pomoći.

LITERATURA

1. Dimidenko A. (2020). Digital Road Model. Technologies of creation and application, dostupno na: [<https://www.openvia.io/5-technologies-that-we-will-be-using-on-the-roads-in-the-coming-years/>] Pristupljeno 1.9.2024.
2. esri.com, „Beginnings of Geodesign: A Personal Historical Perspective“, Dostupno na: [https://www.esri.com/about/newsroom/arcnews/beginnings-of-geodesign-a-personal-historical-perspective/?srstid=AfmBOoqZxzsQxD9u1h3ohqhOAMT52AiTN6Atl16trioS6FCxgp1enNk_] Pristupljeno: 15.08.2024
3. European Commission, INSPIRE Thematic Working Group Transport Networks. (2014) D2.8.I.7 Data Specification on Transport Networks – Technical Guidelines. Dostupno na: [https://knowledge-base.inspire.ec.europa.eu/publications/inspire-data-specification-transport-networks-technical-guidelines_en] Pristupljeno 2.9.2024.
4. Fundamentals of Geographic Information Systems (4th ed.). John Wiley & Sons, inc., str 3.
5. Govorov M (2008) Standards, specifications and metadata for Geographic information. Vilnius, Litva, Dostupno na: [https://www.geoportal.lt/download/gii_mokymai/GII_03_mokomoji_medziaga/En/Paskaitu_konspektai/GII-03_training_material.pdf] Pristupljeno: 28.8.2024.
6. Hrvatski Autoklub (HAK), Dostupno na: [<https://www.hak.hr/EuroRapKarta>] (1.9.2024.)
7. Hrvatski Autoklub, „Analiza cestovne sigurnosti eurorap/irap srs i srd metodologijama s ciljem povećanja sigurnosti na dionicama autoceste a8 od tunela učka do čvora matulji“, Dostupno na [https://static.1987.hr/media/sigurnost-u-prometu/medjunarodni_projekti/eurorap/izvjesce_eurorap_2020.pdf] Pristupljeno:1.9.2024.
8. Kunchev, I. i Angelova, M. (2023). Razvoj konceptualnog modela geoinformacijskog sustava prometnih nesreća. Kartografija i geoinformacije, 22 (39), 5-19.Dostupno na: [<https://doi.org/10.32909/kg.22.39.1>] Pristupljeno: 25.8.2024.
9. L. Keyworth, „5 production processes in map making that are no longer in use“. April, 2019 pristupljeno: 17.08.2024
10. Lipiyska Y, Angelova M (2021) International Standardization in GIS – From the Abstract Model to the Application Level. Geodesy, Cartography and Land Management, 5-6, 18-22, Dostupno na: [<https://hrcak.srce.hr/en/300935>], Pristupljeno: 29.8.2024.
11. M. Villot, „Rapport sur la marche et les effets du choléra-morbus dans Paris et les communes rurales du département de la Seine - année 1832“, 1832“, Dostupno na: [<https://www.digitale-sammlungen.de/en/details/bsb10367256>], pristupljeno: 19.08.2024.

12. Medium.com, „GIS, REMOTE SENSING and GPS — What is the difference?“, Dostupno na: [<https://medium.com/@srinivastanniru/gis-remote-sensing-and-gps-what-is-the-difference-29d7ee71ccf6>] Pristupljeno: 29.8.2024.
13. MUP.hr, bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2023. Dostupno na: [https://mup.gov.hr/UserDocImages/statistika/2024/6/Bilten_o_sigurnosti_cestovnog_prometa_2023.pdf], pristupljeno 1.9.2024.
14. P. Feletar (2015), „Hrvatske povijesne ceste; Karolina, Jozefina i Lujzijana“ Dostupno na: [http://bib.irb.hr/datoteka/928880.Feletar_-_Stare_cestes_kb.pdf], Pristupljeno: 21.9.2024.
15. Research Gate, Dostupno na: [<https://www.researchgate.net/>], pristupljeno: 20.8.2024.
16. Sanders B, Sanders W (2007). „ActionScript 3.0 Programming: Overview, Getting Started, and Examples of New Concepts. Adobe Systems Incorporated, California“, Dostupno na: [<https://home.csulb.edu/~arezaei/ETEC570/Action%20script%203.pdf>], Pristupljeno: 1.9.2024.

POPIS KRATICA I AKRONIMA

ArcGIS – A suite of GIS software products by Esri

CAD – Computer-Aided Design

CGIS – Canada Geographic Information System

COTS – Commercial Off-The-Shelf

DIME – Dual Independent Map Encoding

DEM – Digital Elevation Model

EUSPA – European Union Agency for the Space Programme

EuroRAP – European Road Assessment Programme

FCC – Federal Communications Commission

GCS – Geographic Coordinate System

GIS – Geographic Information System

GRASS GIS – Geographic Resources Analysis Support System

GRID – Georeferenced Information Display

HTTP – Hypertext Transfer Protocol

IGEB – Interagency GPS Executive Board

LED – Light Emitting Diode

MCS – Master Control Station

MEOSAR – Medium Earth Orbit Search and Rescue

MOSS GIS – Map Overlay and Statistical System

NGA – National Geospatial-Intelligence Agency

OCS – Operational Control Segment

OCX – Next Generation Operational Control System (OCS for GPS)

ODYSSEY – A GIS software package developed in the 1970s

PDA – Personal Digital Assistant

PCS – Projected Coordinate System

QGIS – Quantum Geographic Information System

SAR – Search and Rescue

SOA – Service-Oriented Architecture

SQL – Structured Query Language

SSTL – Surrey Satellite Technology Limited

TEB – Targeted Environmental Benefits

UAV – Unmanned Aerial Vehicle

UML – Unified Modeling Language

US – User Segment

WCS – Web Coverage Service

WFS – Web Feature Service

WMTS – Web Map Tile Service

POPIS SLIKA

Slika 1. Geografski informacijski sustav GpsWin 2.4.....	2
Slika 2. Simbolički prikaz sastava i načina prikupljanja i obrade informacija u geografskom informacijskom sustavu	3
Slika 3 <i>Izvešću o tijeku i učincima kolere u Parizu i departmanu Sene</i>	4
Slika 4. Karta sa kućanstvima u kojima su bili preminuli/oboljeli od kolere, prema podacima koje je vodio John Snow	5
Slika 5. Izrada slojeva karata na plastičnim folijama.....	6
Slika 6. Karta šumarske upotrebljivosti u Britanskoj Kolumbiji, autor Roger Tomlison	7
Slika 7. Esri ARC/INFO software verzija 8	8
Slika 8. Esri ARC/INFO software verzija 8	9
Slika 9. MapGuide software sa prikazom zona i prometnica.....	10
Slika 10. Usporedba gustoće naseljenosti i prometnog opterećenja u ArcGIS softveru	11
Slika 11. Synagraphic Mapping Package (SYMAP)	12
Slika 12. Upotreba midas sustava za prikupljanje podataka u realnom vremenu uz pomoć bespilotnih letjelica.....	13
Slika 13. Korištenje X, Y i Z koordinata u ArcGIS desktop programu za simboličnu prezentaciju visinske razlike	16
Slika 14. Helikite postavljen na poziciju.....	18
Slika 15. Simbolični prikaz satelita koji se koriste za analizu različitih aspekata zemljine površine.	19
Slika 16. Primjer procesa digitalizacije (interpretacije), Sučelje Contour storyteller softvera.	20
Slika 17. Klasična Robinsonova projekcija	21
Slika 18. GCS North American 1984'	22
Slika 19. Geoinformacijski sustav koji istovremeno pokriva bušotine, vodene tokove, klimu, vrstu terena i vegetaciju	27
Slika 20. Modeliranje puta najmanjeg troška	30
Slika 21. GRASS GIS	31
Slika 22. Slučaj prometne nesreće	56
Slika 23 Dijagram upotrebe slučaja prometne nesreće, 2. dio (nastavak slike 22).	57
Slika 24. Dijagram klasa elemenata cestovne nesreće, 1. dio.....	60
Slika 25. Dijagram klasa elemenata cestovne nesreće, 2. dio (nastavak slike 24).....	60
Slika 26 - HAK EuroRAP	65
Slika 27 - HAK interaktivna geoinformacijska karta sa trenutnim stanjem najvažnijih prometnih pravaca	65
Slika 28. Udio teških prometnih nesreća prema kategoriji prometnice (teške prometne nesreće u 2023.).....	71
Slika 29. Poginule osobe na autocestama i brzim cestama u 2023.	73
Slika 30 - Kumulativni rezultati iRAP ocjene zvjezdicama za sve analizirane dionice cesta ...	77

POPIS TABLICA

Tablica 1. Rangiranje policijskih uprava prema broju teških prometnih nesreća na županijskim cestama po stanovniku	72
Tablica 2. Rangiranje policijskih uprava prema broju teških prometnih nesreća na županijskim cestama po stanovniku	73
Tablica 3 . Društveni trošak teških prometnih nesreća na županijskim cestama prema policijskoj upravi	75
Tablica 4. Društveni trošak teških prometnih nesreća na analiziranim prometnicama.....	76
Tablica 5 - Kumulativni rezultati iRAP ocjene zvjezdicama za sve analizirane dionice cesta ..	77