

Primljen / Received: 9.1.2017.

Ispravljen / Corrected: 6.10.2018.

Prihvaćen / Accepted: 20.2.2019.

Dostupno online / Available online: 10.5.2019.

Primjena GIS tehnologije u sustavima održavanja kolnika

Autori:



Martina Zagvozda, mag.ing.aedif.

Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku
Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek
mzagvozda@gfos.hr



Prof.dr.sc. **Sanja Dimter**, dipl.ing.građ.

Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku
Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek
sdimter@gfos.hr



Mr.sc. **Vladimir Moser**, dipl.ing.geod.

Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku
Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek
vmoser@gfos.hr



Doc.dr.sc. **Ivana Barišić**, dipl.ing.građ.

Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku
Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek
ivana@gfos.hr

Stručni rad

Martina Zagvozda, Sanja Dimter, Vladimir Moser, Ivana Barišić

Primjena GIS tehnologije u sustavima održavanja kolnika

Geografski informacijski sustav (GIS) koristan je tehnologija za upravljanje prostornim bazama podataka koje su osnova sustava za upravljanje kolnicima. Pri kreiranju sustava za upravljanje kolnicima u GIS-u treba uzeti u obzir potrebe i dostupna sredstva pojedine uprave za ceste. U radu je prikazana uspostava jednostavnog sustava za upravljanje i vođenje baze podataka za potrebe malih gradskih uprava. Baza podataka stvorena je ručnim prikupljanjem podataka o stanju kolnika nekoliko nerazvrstanih cesta u gradu Osijeku. Na osnovi prikupljenih podataka sustav proračunava PSI indeks i uspoređuje stanje kolnika.

Ključne riječi:

sustavi održavanja kolnika, GIS, upravljanje cestovnom infrastrukturom, baze podataka, stanje kolnika

Professional paper

Martina Zagvozda, Sanja Dimter, Vladimir Moser, Ivana Barišić

Application of GIS technology in Pavement Management Systems

The Geographic Information System (GIS) is a useful technology for managing spatial databases, which are the basis of the Pavement Management System. When creating a pavement management system in GIS, the needs and available resources of individual road authorities should be considered. This paper describes establishment of a simple database management system for small city administrations. The database was created by manual collection of pavement condition data at several unclassified roads in the city of Osijek. Based on collected data, the system calculates the PSI index and compares pavement condition.

Key words:

pavement maintenance systems, GIS, road infrastructure management, databases, pavement condition

Fachbericht

Martina Zagvozda, Sanja Dimter, Vladimir Moser, Ivana Barišić

Anwendung der GIS-Technologie in Straßenunterhaltungssystemen

Das geografische Informationssystem (GIS) ist eine nützliche Technologie für die Verwaltung der räumlichen Datenbanken, welche die Grundlage des Systems des Fahrbahnmanagements bildet. Bei der Entwicklung des Fahrbahnmanagementsystems im GIS müssen auch die Anforderungen und die Verfügbarkeit der Mittel einzelner Straßenverwaltungsbehörden berücksichtigt werden. In der Abhandlung werden die Einrichtung eines einfachen Systems für das Management und die Leitung der Datenbanken für die Bedürfnisse kleinerer städtischer Behörden. Die Datenbank wurde durch manuelles Zusammentragen von Daten über den Zustand von Fahrbahnen einiger nicht kategorisierter Straßen in der Stadt Osijek erstellt. Aufgrund der zusammengetragenen Daten berechnet das System den PSI Index und vergleicht den Zustand der Fahrbahn.

Schlüsselwörter:

Straßenunterhaltungssysteme, GIS, Straßeninfrastrukturmanagement, Datenbank, Fahrbahnzustand

1. Uvod

Sustavno upravljanje kolnicima i njihovo održavanje postaje sve važnije kako kolnici stare. Stanje im se sve više pogoršava, a prometno se opterećenje i zahtjevi postavljeni na infrastrukturu povećavaju. Bitan element u sustavu upravljanja kolnikom i njegovog održavanja financijska su sredstva, odnosno načini kako limitirana sredstva optimalno raspodijeliti. Za učinkovito donošenje odluka o upravljanju cestama i njihovom održavanju važno je sustavno i kontinuirano prikupljanje različitih podataka o stanju ceste i posebno kolnika te kvalitetno upravljanje bazom prikupljenih podataka. Prostorna baza podataka temelj je cjelokupne baze podataka o javnim cestama, a zasniva se na GIS tehnologiji te se u njoj na georeferencirane vektorske prostorne podatke vežu alfanumerički podatci.

Geografski informacijski sustav (GIS) je informacijska tehnologija, alat za upravljanje bazama podataka koji omogućuje stvaranje, vizualizaciju, upite, analizu i interpretaciju georeferenciranih podataka. Jedinstven je u svojoj mogućnosti integracije prostornih podataka u obliku vektora (točke, linije, poligoni) i rastera s alfanumeričkim podatcima (atributima). Mogućnosti vizualizacije podataka, integrirane logičke, matematičke i statističke funkcije za prostorne analize te primjena topografije za donošenje odluka, bitna su prednost GIS-a u odnosu na druge alate za upravljanje bazama podataka ili pak alatima za stvaranje karata.

GIS je kao korisna tehnologija prepoznat u mnogim granama inženjerstva, a posebno u planiranju i održavanju infrastrukture. S obzirom na prostornu komponentu podataka o cestovnoj infrastrukturi, GIS se nameće kao idealno rješenje za vođenje baza podataka o cestama, kao podloga za donošenje odluka i upravljanje kolnicima.

U radu je prikazan pregled sustava za upravljanje kolnicima, njihove integracije s GIS-om te je prikazana mogućnost uspostave jednostavnog sustava upravljanja bazom podataka o cestama i njihovo vođenje za potrebe malih gradskih uprava s dodatkom procesa za izračun ocjene i usporedbu stanja kolnika.

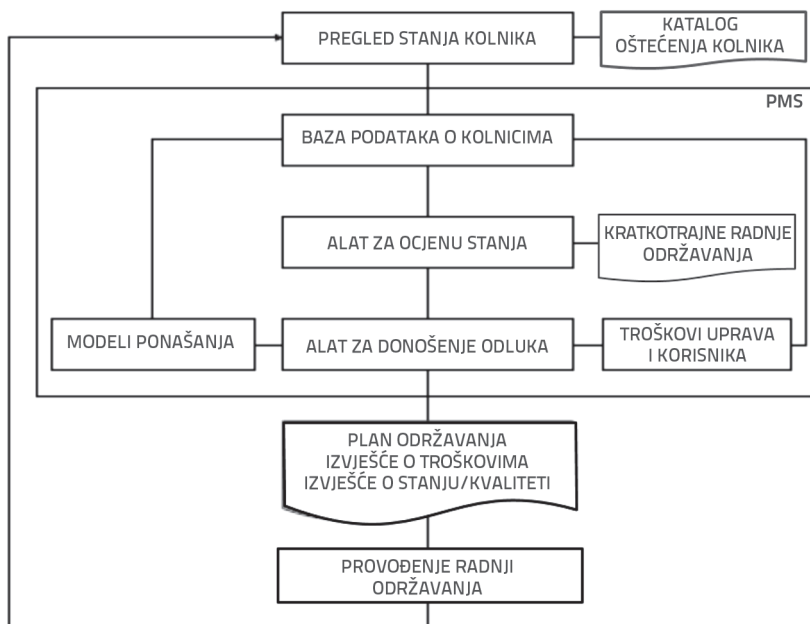
2. Upravljanje cestovnom infrastrukturom

Sustav gospodarenja kolnicima (eng. *Pavement Management Systems* - PMS) opisuje se kao set alata i metoda koje pomažu donositeljima odluka u pronalasku cijenom efektivne strategije za ocjenu i održavanje kolnika u voznom stanju [1]. To je sistematiziran proces planiranja, stvaranja programa, analize, izgradnje i istraživanja u cestovnoj infrastrukturi. Planiranje održavanja

uvelike je podložno financijskim i vremenskim ograničenjima, pa je svrha sustava olakšati upraviteljima infrastrukture donošenje odluka i prioriteta te optimizacija cjelokupnog procesa. Učinkovit sustav gospodarenja kolnicima je onaj kojim se svi kolnici održavaju na dovoljnoj razini uslužnosti da rezultiraju niskim troškovima korisnika, iziskuju mala sredstva te ne stvaraju negativne posljedice na prometnu sigurnost i okoliš [2].

Razvoj ovih sustava počeo je krajem 60-ih godina prošlog stoljeća kada se s projektiranja i građenja nove cestovne infrastrukture usmjerilo na održavanje i sanaciju izgrađene infrastrukture. Prvotno su to bili sustavi s jednostavnim mogućnostima obrade podataka, ocjene i rangiranja prometnica primjerice prema stanju kolnika ili prometa. Danas oni omogućuju predviđanje budućeg stanja kolnika, ekonomske analize preventivnih ili kasnijih radnji održavanja, stvaranje višegodišnjih planova održavanja, optimizaciju i stvaranje prioriteta bazirano na više komponentata [3].

Struktura sustava gospodarenja kolnicima prikazana je na slici 1. Sustav se sastoji od sljedećih komponenti: pregled stanja cestovnih kolnika, baze podataka o kolnicima, alata za ocjenu stanja stanja/kvalitete kolnika, analitičkih alata i modela za predikciju svojstava kolnika te troškova korisnika i održavatelja, alata za pomoć pri donošenju odluka te postupka implementacije [4, 5]. Sustavi gospodarenja kolnicima (PMS sustavi) u literaturi se navode i pod nazivom PMMS (eng. *Pavement Management Maintenance System*), odnosno sustavi specijalizirani samo za upravljanje održavanjem kolnika [6, 7]. Jedna od inačica tih sustava navedena u literaturi su i tzv. sustavi informacija o cestama (eng. *Road Information System* - RIS) [8]. To su jedinstvene baze podataka o cestama koje obično sadržavaju informacije o cestama u nadležnosti pojedine uprave, vremenu izgradnje, geometriji, objektima, odvodnji, signalizaciji.



Slika 1. Struktura sustava gospodarenja kolnicima [4]

Važan element pri razvoju sustava za upravljanje kolnicima jest proces prikupljanja podataka i oblikovanje baze, s obzirom na to da se na njima zasnivaju sve ostale djelatnosti sustava. Prije prikupljanja podataka potrebno je pažljivo odabrati količinu i tip podataka koji će se prikupljati, traženu kvalitetu i detaljnost podataka, kako bi bili dovoljni za donošenje odluka, a u skladu s dostupnom opremom i financijama [9].

Prikupljanje podataka o stanju kolnika moguće je izvesti ručno, vizualnim pregledom i/ili mjernom opremom, ili pak automatizirano, posebno opremljenim vozilima. Pri ručnom prikupljanju podataka obično se koriste tzv. katalozi oštećenja kolnika kako bi se oštećenja mogla pravilno klasificirati i kako bi postupak u svim okolnostima bio ujednačen. Automatizirano prikupljanje podatka izvodi se vozilom koje je opremljeno uređajima poput digitalnih kamera i fotoaparata, globalnih navigacijskih satelitskih sustava (GNSS), žiroskopa, laserskih profilografa i drugih laserskih senzora. U svrhu snimanja stanja kolnika sve se više istražuju i primjenjuju nove tehnologije poput bespilotnih letjelica ili LiDAR-a [10]. Podatci prikupljeni automatiziranim načinom se u potpunosti interpretiraju i analiziraju uz pomoć računalnih programa kako bi se dobila ocjena stanja, ili se obrađuju na poluautomatiziran način gdje obučene osobe pregledavaju nastale zapise kako bi se uočila oštećenja. Takvo prikupljanje podataka zahtijeva skupu opremu, no brže je i djelotvornije.

Pri oblikovanju modela prometne mreže, položaj svih prikupljenih podataka treba odrediti sustavima za referenciranje položaja. Dugi niz godina u prometnoj infrastrukturi primjenjivao se linearni referentni sustav (LRS) kod kojeg se položaj izmjenjenog podatka veže pomoću njegove udaljenosti od poznate lokacije početka linearnog elementa (npr. osi ceste). Automatizacija u prikupljanju podataka znači i prelazak na referentni sustav temeljen na geografskim koordinatama. Primjenom GNSS-a omogućeno je određivanje pozicije svakog prikupljenog podatka na temelju geografske dužine i širine s velikim stupnjem točnosti [11].

Podatci koji se prikupljaju za izradu baze podataka o kolnicima i ostatku cestovne infrastrukture uključuju: hijerarhiju svakog segmenta u mreži prometnica, poziciju svakog segmenta u hijerarhiji mreža prometnica, geometriju ceste, broj i širinu prometnih, rubnih trakova i bankine, kolničke konstrukcije, povijest održavanja kolnika, stanje kolnika, prosječne cijene radova održavanja i sanacije prometnica te ostale podatke (npr. prometnu signalizaciju, odvodnju).

Jedna od komponenti PMS sustava jesu alati za pomoć pri donošenju odluka (eng. *Decision Aid Tool*). Alat za pomoć pri odlučivanju može biti baziran na modelu za rangiranje prioriteta ili na modelu za optimizaciju sustava. Pri rangiranju prioriteta podatke o stanju kolnika treba kombinirati u jedinstven indeks koji predstavlja kvalitetu kolnika te se zatim izvodi razvrstavanje kolnika na osnovi nekog kriterija. Nakon što se dodijeli rang određenom odsječku prometnica, moguće je raspodijeliti sredstva namijenjena održavanju i sanaciji tih prometnica. Kriterij za rangiranje i kategorizaciju najčešće su parametri

poput kategorije i razreda ceste, njenog značenja u prometnoj mreži, količini prometa, indeksu kvalitete kolnika i sl. Ovakvi modeli, iako olakšavaju donošenje odluka, ne sadrže alate za odabir najboljih strategija održavanja i sanacije prometnica pri dugoročnom planiranju za koje je potrebno primijeniti složenije optimizacijske modele. Optimizacijskim modelima pokušava se zadovoljiti jedan ili više postavljenih ciljeva kako bi se stvorila što učinkovitija strategija održavanja i sanacije prometnica. Ciljevi se oblikuju kako bi se minimizirali troškovi (radovi održavanja i sanacije, troškovi korisnika), postigla najbolja kvaliteta kolnika u okviru raspoloživih sredstava po godinama i zadržala njegova kvaliteta do isteka planskog razdoblja. Kod takvih modela podatci o kolniku su početni ulazni parametri, a pomoću modela ponašanja kolnika predviđa se njegovo buduće stanje. Za varijable pri optimizaciji uzimaju se razne radnje održavanja i sanacije, a rubni uvjeti koje treba zadovoljiti pri optimizaciji su godišnja dostupna sredstva i minimalni uvjeti kvalitete kolnika [12].

3. Primjena GIS-a za sustav upravljanja kolnikom i njegovo održavanja

Geografski informacijski sustavi (GIS) zbog svoje mogućnosti prostornih analiza idealan su alat za poboljšanje sustava za održavanje kolnika jer su podatci sadržani u sustavima za održavanje geografske prirode [7, 11]. Integracija tih dvaju sustava u literaturi se može naći pod nazivom G-PMS ili pak GIS-T (T-transportation) kada su sadržani i podatci o prometu. Primjenom GIS-a u takvim sustavima omogućava se vrlo brzo dobivanje odgovora o povezanosti prostornih podataka, geoprostorne analize, analize na razini cijele mreže ili njenih segmenata te ažuriranje i izmjena mreže prometnica i sadržanih podataka. Vrlo jednostavno podatci se mogu grupirati bojama na osnovi tipa podataka, atributa ili njihovih vrijednosti, označiti odabirom atributa, zumirati na potreban nivo detaljnosti te pripremiti karte i prezentacije. Također, s obzirom na velike količine podataka koje prikupljaju različite agencije ili sudionici u radnjama održavanja infrastrukture, GIS predstavlja vrlo bitnu pomoć pri prikupljanju, integraciji i upravljanju bazom tih podataka [7, 11, 13-15], a izlazni podatci se formiraju na način koji je vrlo razumljiv dionicima upravljanja i javnosti [16].

3.1. Primjena G-PMS u svijetu

Ideja o poboljšanju sustava za održavanje kolnika primjenom geografskog informacijskog sustava primjenjuje se niz godina u različitim oblicima. U literaturi se navode primjeri koje provode sveučilišta u svrhu istraživanja na manjem broju cesta, ponekad kampusima tih sveučilišta [7, 17], ili u suradnji sa lokalnim upravama za ceste kako bi se stvorio sustav održavanja kolnika pojedinih gradova [15, 20]. U američkim državama Arizoni i Sjevernoj Karolini, sustave su napravile savezne vlasti u suradnji sa sveučilištima, a primijenjeni su na razini nekoliko okruga [13, 21].

Za oblikovanje takvih sustava u literaturi se navode brojni GIS računalni programi: ArcView [7, 20, 22-24], ArcInfo [19], MapInfo [13, 15], ArcGIS [4, 25], Geomedia Pro [6] te ESRI MapObjects [14, 26]. Analize izvršene u GIS-u razlikuju se po kompleksnosti od upita, preko ocjene stanja kolnika do proračuna totalnih godišnjih troškova održavanja i višegodišnjih planiranja održavanja. Tako u radu [22] kriterij za odabir cesta za održavanje jesu uvjeti prosječnog godišnjeg dnevnog prometa od 5 000 do 10 000 vozila, neravnost od 4m/km te ukupna površina pod pukotinama veća ili jednaka 10 %. U sustavu baziranom na GIS-u navedeni kriteriji se vrlo lako primijene stvaranjem upita (eng. query) ako su određenoj cesti definirani atributi koji sadrže podatke o prometu, neravnosti i pukotinama. U radu [27] karta prioriteta održavanja kolnika rezultat je u GIS-u dodijeljenih atributa izmjerenih vrijednosti neravnosti kolnika IRI. U drugim se pak radovima u GIS uvode indeksi za ocjenu stanja kolnika: PSR (Pavement Serviceability Rating) [23, 28], PASER (Pavement Surface Evaluation and Rating) [18], CRS (Condition Rating Survey) [20], PCI (Pavement Condition Indeks) [6, 21, 29], PACES (Pavement Condition Evaluation System) [14] te PSI (Pavement Serviceability Indeks) [19, 30]. Uz GIS alate navode se još i njihove kombinacije s posebnim softverima za oblikovanje baza podataka, modeliranje upravljanja kolnicima ili donošenje odluka poput MicroPavera [17, 31], HDM-4 [22], GENENTIPAV-D [19], Visual Basic [26] te drugih otvorenih, osobno ili na sveučilištima razvijenih alata [12, 13, 32]. Najobuhvatniji takav G-PMS sustav prikazan je u radu [19] za grad Lisabon i sastoji se od baze podataka o kolniku, alata za ocjenu kvalitete kolnika i alata za pomoć pri donošenju odluka koji u obzir uzima cijenu održavanja i dostupna sredstva, ali i troškove korisnika cesta.

3.2. Primjena GIS-a u Hrvatskoj

GIS tehnologije u Hrvatskoj našle su visok stupanj primjene u izradi prostornih planova, registara imovine, e-katastara i geoportala. Pregled literature pokazuje i različite načine primjene u drvnoj industriji [33, 34], te provedbu istraživanja mogućnosti i prednosti primjene u građevinarstvu - hidrotehnici [35, 36] i prometnicama [37-39].

U radu [37] prikazan je sustav održavanja kolnika u nadležnosti Hrvatskih cesta baziranog na GIS-u. Sustav se temelji na ocjeni stanja kolnika pomoću zabilježenih svojstava i prometa, a u budućnosti bi trebao poslužiti kao osnova za odabir optimalne strategije održavanja. Zbog nesistematiziranih i nepotpunih podataka o prometnoj infrastrukturi, u gradu Osijeku je proveden pilot-projekt [38] izrade baze podataka prometne infrastrukture u softveru ArcView, ograničen na uži centar grada. U radu [39] autori su GIS primijenili za oblikovanje katastra zidova i propusta na dvije županijske ceste.

Nužnost vođenja jedinstvenih baza podataka o cestama u Hrvatskoj je propisana Zakonom o cestama [40]. Dužne su ih voditi uprave za ceste, a način vođenja reguliran je Pravilnikom o sadržaju, ustroju i načinu vođenja baze podataka o javnim cestama i objektima na njima [41]. Baza podataka o cestama

definira se kao "skup međusobno povezanih podataka, koji interakcijom omogućavaju pregled stanja javnih cesta i objekata na njima, sastavnih elemenata i prometa koji se po njima odvija, a koji se na odgovarajući način i pod određenim uvjetima koriste za potrebe upravljanja, građenja, održavanja, zaštite javnih cesta i prometa na njima" [41].

Jedinstvene baze podataka se sastoje od dva dijela: prostorne baze podataka i alfanumeričke baze podataka. Prostorna baza podataka sadrži georeferencirane vektorske prostorne podatke o osima cesta na koje se vežu alfanumerički podatci (oznake cesta, geometrija ceste, informacije o tipu i stanju kolnika, objektima na cestama, prometu i dr.). Tako definirane jedinstvene baze podataka potpuno su u skladu s podacima koji se definiraju u GIS-u; prostorni podatci ekvivalent su georeferenciranim vektorima, a alfanumerički podatci su na vektore vezani atributi. I dok inicijative i istraživanja postoje, primjena GIS-a za upravljanje kolnicima hrvatskih gradova još uvijek nije dovoljno učestala. Ispitivanje [42] provedeno na lokalnim samoupravama gradova u istočnoj Hrvatskoj pokazalo je da od 14 ispitanih uprava tek jedna gradska uprava primjenjuje GIS za vođenje baza podataka o kolnicima. Kao glavni razlog ovakvog stanja navedena su ograničenja i nedostatna sredstva koja ponekad nisu dovoljna niti za sanaciju postojećih oštećenja kolnika, što znači da nema dovoljno sredstava niti za poboljšanje i modernizaciju sustava upravljanja nerazvrstanim cestama.

4. Primjer primjene GIS-a u upravljanju kolnicima gradskih cesta

Uspostava sustava baziranog na GIS-u za vođenje baze podataka o kolnicima ne iziskuje nužno kupovinu skupih komercijalnih računalnih programa. Odabirom besplatnih programa nedostatak sredstava više nije ograničavajući faktor. Ovdje će se stoga prikazati vođenje jedinstvene baze podataka u besplatnom GIS računalnom programu za nekoliko odabranih ulica na području gradske četvrti Donji Grad u Osijeku. Iako u ovim besplatnim računalnim programima ne postoje posebne naredbe prilagođene upravljanju kolnicima, uz pomoć ugrađenih naredbi i funkcija vrlo lako se uspostavlja jedinstvena baza podataka kako je definirana Pravilnikom [41]. Osim baze podataka u ovom primjeru je modeliran i proračun ocjene stanja kolnika na osnovi snimljenih oštećenja, što može koristiti za lakše donošenje odluka o prioritetima održavanja. U besplatnom računalnom programu otvorenog koda QGIS pokazana je mogućnost relativno brze uspostave digitalne GIS baze podataka o kolnicima, a za čije oblikovanje i rad dovoljno je poznavati osnovni program, bez povezivanja s vanjskim alatima (SQL i sl.).

4.1. O primijenjenom računalnom programu QGIS

Quantum GIS (QGIS) [43] softver je otvorenog koda, nastao 2002. godine s ciljem zaobilaska komercijalnih softvera i povećanja dostupnosti GIS-a svim osobnim računalima. QGIS sadrži korisničko sučelje lako za korištenje, podržava brojne rasterske

i vektorske podatkovne oblike te ga je moguće nadograditi raznim dodatnim priključcima ili prilagoditi njegov kod vlastitim potrebama. Iako nije specijaliziran za primjenu GIS-a u upravljanju prometnom infrastrukturom, kao besplatan i široko dostupan softver nameće se kao jedno od mogućih rješenja za vođenje baza podataka i upravljanje kolnicima nerazvrstanih cesta za manje gradske uprave. Uspostavljanje takvog sustava moglo bi potpuno zadovoljiti potrebe manjih gradskih uprava s obzirom na limitirana sredstva kojima raspolažu, strukturu prometa i zahtjevima postavljenim za infrastrukturu kojom upravljaju.

4.2. Tehnologija oblikovanja sustava

Za potrebe izrade sustava u QGIS-u odabrano je pet nerazvrstanih cesta na području osječke gradske četvrti Donji Grad. To su manje pristupne ulice u nadležnosti grada Osijeka, na kojima su prisutni različiti tipovi oštećenja kolnika.

Snimanje postojećeg stanja kolnika izvedeno je GNSS-om kojim su zabilježene lokacije rubnih točaka pojedinog oštećenja, mjernim priborom koji je služio određivanju stupnja oštećenosti, fotografiranjem, vođenjem skice oštećenja i popunjavanjem Obrasca za vizualni pregled uz primjenu Kataloga oštećenja asfaltnih kolnika [44].

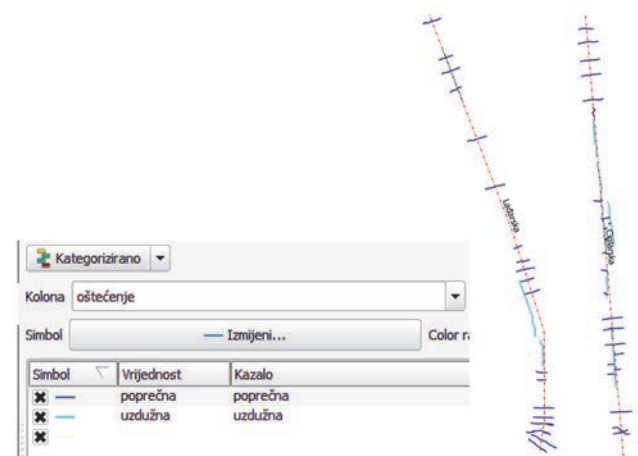
Slika 2. Obrazac za upis vrijednosti atributa osi ceste

Digitalizacija podataka provedena je najprije ucrtavanjem osi pojedinih cesta (linijski elementi) na osnovu GNSS podataka o početnoj i krajnjoj točki segmenta. Uz osi ceste vezani su alfanumerički podatci (atributi) koji čine bazu podataka o kolnicima (slika 2.): identifikacijski broj (id), naziv ulice, naziv segmenta, širina kolnika, tip zastora, kategorija ceste, broj prometnih trakova, podatci o prometu i parkiralištima; dok je duljina segmenta dobivena upitom o duljini ucrtanog vektora osi ceste.

Tablica 1. Atributi definirani uz oštećenja

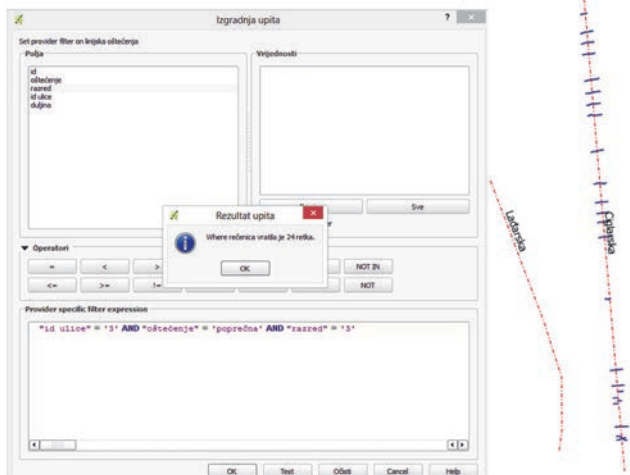
Skupine oštećenja	Linijiska oštećenja	Površinska oštećenja
Atributi	- id oštećenja (redni broj) - tip oštećenja - razred oštećenja - duljina oštećenja - id ulice na kojoj se nalazi - preračunata zahvaćena površina	- id oštećenja (redni broj) - tip oštećenja - razred oštećenja - površina oštećenja - id ulice na kojoj se nalazi - vertikalno udubljenje

Zatim su, uvođenjem AutoCAD crteža (dwg dokument) koji je sadržavao geografske koordinate oštećenja iz GNSS-a, digitalizirana prikupljena oštećenja u obliku vektora koja su podijeljena u dvije osnovne skupine: linijska i površinska. Linijska oštećenja uključuju uzdužne i poprečne pukotine, a površinska obuhvaćaju mrežaste pukotine, udarne rupe, skidanje površinskog sloja, uleknuća, zakrpe i popravke. Atributi definirani za pojedine skupine oštećenja prikazani su u tablici 1. QGIS omogućuje oblikovanje prilagođenih padajućih izbornika (npr. padajući izbornik s nazivima tipova oštećenja ili izbornik s razinama oštećenja) za bržu i lakšu digitalizaciju podataka.



Slika 3. Kategoriziran prikaz linijskih oštećenja prema njihovom tipu

Ovako definirani sustav s pripadajućim atributima podloga je za oblikovanje raznih upita, analiza i statistika, vrlo se lako kategoriziraju ceste ili oštećenja po njihovim svojstvima (slika 3.), izdvaja pojedini tip i razina oštećenja te računaju količine oštećenja određenog tipa, određene razine i u pojedinoj ulici. Kao primjer, slika 4. prikazuje oblikovanje upita kojim se izoliraju samo poprečne pukotine, razreda 3, koje se nalaze na segmentu 3, a ostala se oštećenja na ovom ili sva oštećenja na drugim segmentima ne prikazuju. Na sličan način se može oblikovati upit o ukupnom broju ili količini (duljina, površina) oštećenja za određeni dio ili sažeto za cijelu mrežu ucrtanih cesta.

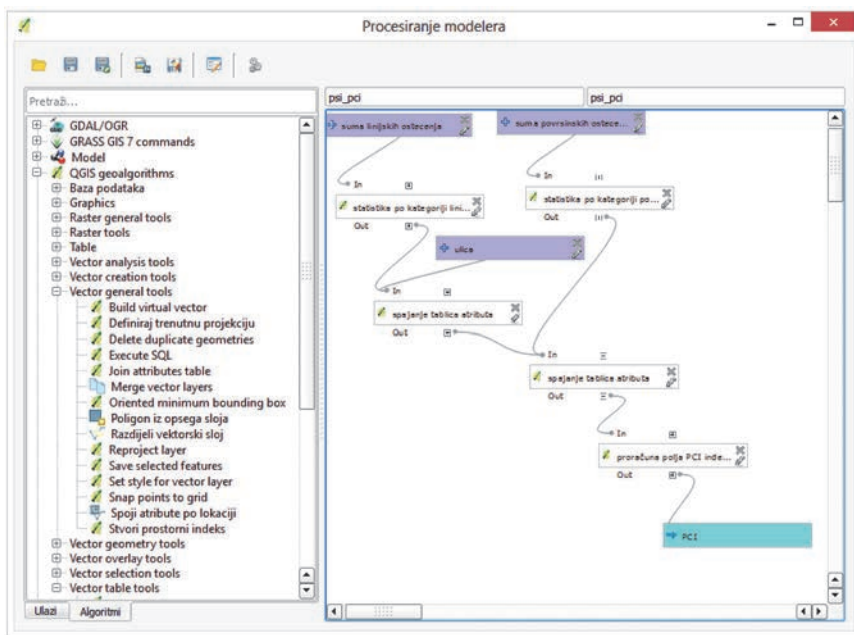


Slika 4. Oblikovanje upita za odabir poprečnih pukotina, razreda 3 koje se nalaze na segmentu 3

Nadogradnja ove jedinstvene baze podataka je model procesa za proračun PSI indeksa kolnika. QGIS omogućava oblikovanje algoritma, pokretanjem kojega se izvršava modelirani proces. U ovom slučaju to je niz naredbi kojima se izračunavaju ukupne količine pojedine vrste oštećenja kategorizirane po ulici kojoj pripadaju te se potom za pojedinu ulicu izračunava indeks stanja kolnika PSI (slika 5).

PSI indeks stanja kolnika odabran je za ovaj primjer jer se izražava kao matematička funkcija digitaliziranih oštećenja kolnika:

$$PSI = 5 \cdot e^{\frac{-0,0002598 \cdot IRI}{4}} - \frac{0,002139}{4} \cdot R^2 - 7 \cdot 0,03 \cdot (C + S + P)^{0,5} \quad (1)$$



Slika 5. Oblikovanje procesa za proračun PSI indeksa kolnika

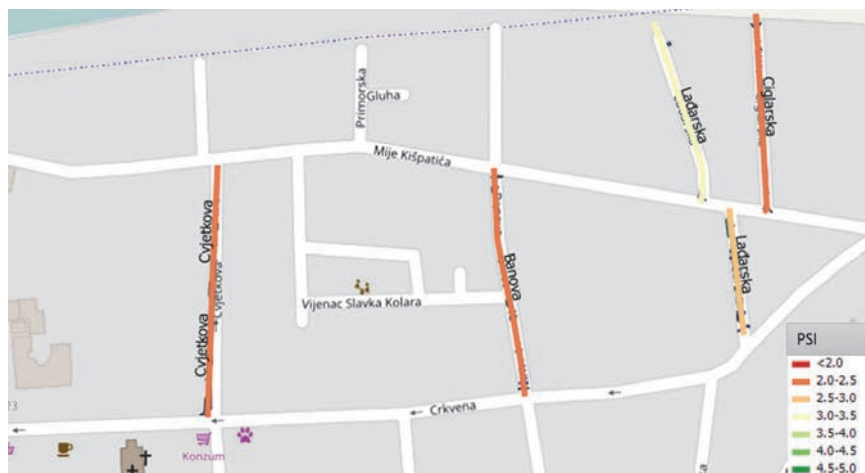
U tom izrazu su: IRI uzdužna neravnost u mm/km, R srednja dubina kolotruga u mm, C ukupna površina zahvaćena uzdužnim pukotinama u m²/100m², S ukupna površina zahvaćena površinskim oštećenjima u m²/100m² te P površina zakrpa u m²/100m². Izraz za proračun PSI indeksa preuzet je iz prethodno spomenutog rada [19] u kojemu su težinski koeficijenti pojedinih oštećenja izmijenjeni kako bi se prilagodili potrebama cestovne mreže urbane sredine.

Tablica 2. Uzdužna neravnost [19]

Razina oštećenja	Opis razine oštećenja	Iznos uzdužne neravnosti [mm/km]
S1	Korisnik u osobnom vozilu ne osjeća vibracije	2000
S2	Korisnik u osobnom vozilu osjeća povremeno manje vibracije	3500
S3	Korisnik u osobnom vozilu osjeća manje vibracije na gotovo cijelom segmentu ili povremeno jake vibracije	5500

Pokazalo se da je u urbanim sredinama potrebno smanjiti utjecaj uzdužne ravnosti i kolotruga na krajnju vrijednost jer su zbog manjih brzina i kraćih relacija u urbanim sredinama vozači voljni podnijeti manje udobnu vožnju. Uzdužna neravnost nije mjerena zbog nedostatka opreme, već su vrijednosti određene prema tablici 2. preuzetoj iz [19]. Zbog vrste ulica i strukture prometa, kolotruga u većoj mjeri nema, te nisu zabilježeni ni digitalizirani. No, oni su sastavni dio baze podataka te se naknadno mogu izmjeriti i pridružiti već izmjerenim oštećenjima, ako za to postoji potreba radi ocjene stanja ostatka prometne mreže.

Izlazni podatak nakon pokretanja modeliranog procesa je novi sloj koji sadrži PSI indekse snimljenih kolnika. Osi cesta kategorizirane su na osnovi vrijednosti PSI i prikazane su različitim bojama (slika 6.). Iz priloženog se može vidjeti da su tri ceste u vrlo lošem stanju s indeksom između 2 i 2.5, a tek jedna prometnica ima indeks veći od 3. Ovi rezultati u skladu su sa zatečenim stanjem kolnika. Kolnici Cvjetkove, Banove i Ciglarske ulice imaju znatne količine svih vrsta pukotina, udarnih rupa i drugih oštećenja, te bi u skorije vrijeme trebalo provesti rekonstrukciju kolnika ili opsežnije radnje održavanja. Sjeverni dio Lađarske ulice sadrži tek pukotine nižeg razreda (PSI indeks 3-3,5), a južni dio sadrži i udarne rupe koje su posljedica ratnih događanja (PSI indeks 2,5-3,0).



Slika 6. Prikaz ulica kategoriziranih prema izračunanom PSI indeksu



Slika 7. Fotografije postojećeg stanja kolnika: a) Cvjetkova ulica, b) Lađarska ulica

5. Zaključak

GIS alati imaju velik potencijal u upravljanju prometnom infrastrukturom. Iako računalni programi specijalizirani isključivo za upravljanje cestovnom infrastrukturom postoje,

ograničavajući faktor često je njihova cijena ili obuhvat i funkcije koje nisu nužno jednake potrebama određene uprave za ceste. Za uspostavu sustava, odnosno vođenje baze podataka za upravljanje cestovnom infrastrukturom, primjenjive su različite GIS tehnologije. Primjenom GIS-a moguće je sustav potpuno prilagoditi načinu na koji funkcionira određena uprava za ceste.

U gospodarenju nerazvrstanim cestama u Hrvatskoj primjena je novih tehnologija otežana zbog nedostatnog budžeta lokalnih samouprava. Rješenje je moguće naći u primjeni besplatnog računalnog programa poput QGIS-a, a čija se primjena, iako na malom uzorku cesta, pokazala vrlo uspješna u ovom primjeru. Postojeći ili novoprikupljeni podatci se lako i brzo digitaliziraju rezultirajući s jedinstvenom bazom podataka, a daljnje koristi dobivaju se modeliranjem procesa poput prikazanog za ocjenu stanja kolnika. Aktivnosti prikupljanja podataka o kolnicima svakako treba poticati i proširiti na veći broj kolnika, kako bi se prikladnost ove metodologije za vođenje baze podataka potvrdila usporedbom stvarnog stanja kolnika i ocjena stanja izraženog PSI indeksom na većem broju uzoraka. Tromost lokalnih samouprava za uvođenjem novih tehnologija posljedica je nedovoljnih novčanih sredstava, a ponekad nepravilnog trošenja resursa [42]. Rješenje stoga treba tražiti kroz ovakve besplatne alate koji bi dali znatan doprinos u stvaranju sveobuhvatne slike o stanju kolnika, lakšem definiranju prioriteta održavanja, boljoj alokaciji raspoloživih sredstava i njihovom sistematiziranom korištenju.

LITERATURA

- [1] AASHTO: Guidelines on Pavement Management, Washington D.C., 1985.
- [2] Fwa, T., Chan, W., Hoque, K.: Multiobjective Optimization for Pavement Maintenance Programming, Journal of Transportation Engineering 126 (2000) 5, pp. 367-374.
- [3] Kulkarni, R.B., Miller, R.W.: Pavement Management Systems: Past, Present, and Future, Transportation Research Record, 1853 (2002), pp. 65-71.
- [4] Ferreira A., Duarte, A.: A GIS-Based Integrated Infrastructure Management System, From Pharaohs to Geoinformatics, Cairo, 2005.
- [5] Keller, M.: Gospodarenje cestovnim kolnicima, Gospodarenje prometnom infrastrukturom, Dani prometnica 2009 (ur. Lakušić, S.), Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, pp. 45-94, 2009.
- [6] Jendia, S., Al Hallaq, M.: Development of a Pavement Maintenance Management System (PMMS) for Gaza City, Journal of Islamic University of Gaza, 13 (2005) 1, pp. 119-138.
- [7] Ibraheem, A.T.: Applying Geographic Information System (GIS) for Maintenance Strategy Selection, Engineering, 4 (2012) 1, pp. 44-54.
- [8] Mohammed, H., Elhadi, A.: Gis, a Tool for Pavement Management, magistarski rad, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2009.

- [9] Rukavina, T., Ožbolt, M.: Sustav gospodarenja kolnicima - prikupljanje podataka, Gospodarenje prometnom infrastrukturom, Dani prometnica 2009 (ur. Lakušić, S.), Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, pp. 95-176.
- [10] Moser, V., Barišić, I., Rajle, D., Dimter, S.: Comparison of different survey methods data accuracy for road design and construction, 4th International Conference on Road and Rail Infrastructure - CETRA 2016, Šibenik, pp. 847-852, 2016.
- [11] NCHRP, Synthesis 335: Pavement Management Applications Using Geographic Information Systems, Transportation Research Board, Washington, 2004.
- [12] Ferreira, A., Meneses, S.: Multi-objective decision-aid tool for pavement management, Proceedings of Institution of Civile Engineers, 166 (2013) 2, pp. 79-94.
- [13] Medina, A., Flintsch, G. W., Zaniewski, J. P.: Geographic Information Systems-Based Pavement Management System: A Case Study, Transportation Research Record, 1652 (1999), pp. 151-157.
- [14] Tsai, Y., Lai, J.: Framework and strategy for implementing an information technology-based pavement management system, Transportation Research Record, 1816 (2002), pp. 56-64.
- [15] Lee, H. N., Jitprasithsiri, S., Lee, H., Sorcic, R.G.: Development of Geographic Information System - Based Pavement Management System for Salt Lake City, Transportation Research Record, 1524 (1996), pp. 16-24.
- [16] Broten, M.: Local Agency Pavement Management Application Guide, The Northwest Technology Transfer Center, Olympia, 1996.
- [17] Al-hallaq, M.A.F.: Development of Pavement Maintenance Management System for Gaza City, magistarski rad, The Islamic University of Gaza, 2004.
- [18] Kmetz, R.J.: GIS Based Pavement Maintenance: A Systematic Approach, magistarski rad, Purdue University, 2011.
- [19] Silvestre, S., Bicho, M., Picado-Santos, L., Carvalheira, C., Ferreira, A., Quadrado, I., Santos, B., Antunes, A.: Pavement management system for Lisbon, Municipal Engineer, 157 (2004) ME3, pp. 157-165.
- [20] Kiema, J.B.K., Mwangi, J.M.: A Prototype Gis-Based Road Pavement Information and Management System, Journal of Civil Engineering Research and Practice, 6 (2009) 1
- [21] Zhou, G., Wang, L., Wang, D., Reichle, S.: Integration of GIS and data mining technology to enhance the pavement management decision making, Journal of Transportation Engineering, 136 (2010) 4, pp. 332-341.
- [22] Parida, M., Aggarwal, S., Jain, S.S.: Enhancing pavement management systems using GIS, Transport, 158 (2005) TR2, pp. 107-113.
- [23] Obaidat, M.T., Al-kheder, S.: Integration of geographic information systems and computer vision systems for pavement distress classification, Construction and Building Materials, 20 (2006) 9, pp. 657-672.
- [24] Yunus, M.Z.B.M., Hassan, H.B.: Managing Road Maintenance Using Geographic Information System Application, Journal of Geographic Information Systems, 2 (2010) 4, pp. 215-219.
- [25] Shrestha, P.P., Pradhananga, N.: GIS-based road maintenance management, Computing in Civil Engineering, Austin, pp. 472-484, 2009.
- [26] Morova, N., Terzi, S., Gökova, S., Karaşahin, M., Kelimeler, A.: Pavement Management Systems Application with Geographic Information System Method, Journal of Natural and Applied Sciences, 20 (2016) 1, pp. 103-110
- [27] Pantha, B.R., Yatabe, R., Bhandary, N.P.: GIS-based highway maintenance prioritization model: an integrated approach for highway maintenance in Nepal mountains, Journal of Transport Geography, 18 (2010) 3, pp. 426-433
- [28] Ibraheem, A.T., Falih, D. A. A.R.: Applying Geographic Information System (GIS) for Maintenance Strategy Selection, Engineering, 4 (2012) 1, pp. 44-54
- [29] Wolters, A., Zimmerman, K., Schattler, K., Rietgraf, A.: Implementing Pavement Management Systems for Local Agencies, Illinois Center for Transportation, 2011.
- [30] Pierce, L.M., McGovern, G., Zimmerman, K.A.: Practical Guide for Quality Management of Pavement Condition Data Collection, U.S. Department of Transportation, Washington, 2013.
- [31] Ahmed, B.Q.: Developing of Pavement Management System (PMS) for EMU Campus Pavement in GIS Environment, magistarski rad, Eastern Mediterranean University, 2013.
- [34] Leomar, J., Junior, F., Pfaffenbichler, P. C.: Dynamic Modeling Of An Urban Pavement Management System Directly Connected To A GIS, International Journal of Pavements, 11 (2012) 1, pp. 1-13.
- [33] Antonić, O., Bukovec, D., Križan, J., Marki, A., Hatić, D.: Spatial Distribution Of Major Forest Types In Croatia As A Function Of Macroclimate, Natura Croatica, 9 (2000) 1, pp. 1-13.
- [34] Nevečerel, H., Pentek, T., Pičman, D., Stankić, I.: Traffic load of forest roads as a criterion for their categorization - GIS analysis, Croatian Journal of Forrest Engineering, 28 (2007) 1, pp. 27-38.
- [35] Šperac, M., Moser, V., Stvorić, T.: Održavanje kanalizacijskog sustava uz primjenu GIS-a, e-GFOS, (2012) 5, pp. 86-94.
- [36] Dadić, T., Jurišić, M., Tadić, L.: Application of GIS in the wastewater management, Tehnički Vjesnik, 21 (2014) 5, pp. 1159-1163.
- [37] Hitrec, V., Žagar, M.: Gis Technology Implementation In Pavement Management, Geographical Information Systems in research & practice, Zagreb, pp. 285-291, 2004.
- [38] Dimter, S., Šimenić, D.: Establishment of GIS-CAD system of city roads in Osijek, GIS Croatia 2000, International Conference and Exhibition (ur. Kereković, D.), Zagreb, pp. 167-172, 2000.
- [39] Ljutić, K., Babić, S., Jagodnik, V.: Primjena GIS-a u izradi katastra zidova i propusta na županijskim cestama, Zbornik radova Građevinskog fakulteta u Rijeci, pp. 273-294.. 2011.
- [40] Zakon o cestama, NN 84/11, 18/13, 22/13, 54/13, 148/13, 92/14
- [41] Pravilnik o sadržaju, ustroju i načinu vođenja baze podataka o javnim cestama i objektima na njima, NN 56/15
- [42] Zagvozda, M., Dimter, S., Ruška, F., Barišić, I.: Gospodarenje kolnicima nerazvrstanih cesta istočne Hrvatske, EU i hrvatsko graditeljstvo (ur. Lakušić, S.), Zagreb, pp. 487-497, 2016.
- [43] QGIS- A Free and Open Source Geographic Information System, <http://www.qgis.org/en/site/>
- [44] Dragčević, V., Korlaet, Ž., Rukavina, T.: Katalog oštećenja asfaltnih kolnika, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2004.