

Primljen / Received: 25.3.2016.

Ispravljen / Corrected: 23.6.2016.

Prihvaćen / Accepted: 20.8.2016.

Dostupno online / Available online: 10.2.2017.

Obnavljanje cestovnih kolnika s obzirom na sustav održavanja

Autor:



Prof. emeritus dr.sc. **László Gáspár**, dipl.ing. građ.
Institut prometnih znanosti (KTI),
Budimpešta
gaspar@kti.hu

Prethodno priopćenje

László Gáspár

Obnavljanje cestovnih kolnika s obzirom na sustav održavanja

Optimalizacija sustava gospodarenja kolnicima zahtijeva podatke o stvarnim vrijednostima parametara stanja kolnika, stvarnom poboljšanja stanja kolnika s obzirom na primjenu različitih strategija obnove te opsegu oštećenja kolnika prije i nakon obnove. Podaci o šest različitih parametara stanja kolnika (nosivost, ravnost, dubina kolotruga, makrotekstura, mikrotekstura, oštećenja površinskog sloja kolnika) upotrijebljeni su za poboljšanje odgovarajućih tehničkih specifikacija i daljnji razvoj sustava gospodarenja kolnicima na razini prometne mreže.

Ključne riječi:

obnavljanje kolnika, pokusne dionice, upravljanje kolnikom, parametri stanja kolnika, oštećenje kolnika

Preliminary note

László Gáspár

Management aspects of road pavement rehabilitation

The optimization of a pavement management system necessitates the knowledge on the actual values of pavement condition parameters, actual pavement condition improvement as related to the use of various rehabilitation strategies, and scope of pavement deterioration before and after rehabilitation. The data for six pavement condition parameters (bearing capacity, unevenness, rut depth, macro texture, micro texture, and pavement surface defects) are used to enable improvement of relevant technical specifications and further development of the network-level pavement management system.

Key words:

pavement rehabilitation, trial sections, pavement management, pavement condition parameters, pavement deterioration

Vorherige Mitteilung

László Gáspár

Erneuerung von Straßenfahrbahnen im Hinblick auf Instandhaltungssysteme

Für die Optimierung des Verwaltungssystems für Straßenfahrbahnen müssen Werte der Parameter des Fahrbahnzustandes, sowie Informationen zur Verbesserung des Fahrbahnzustandes im Hinblick auf die Anwendung verschiedener Strategien und zum Umfang der Beschädigungen vor und nach der Erneuerung vorhanden sein. Informationen zu sechs verschiedenen Parametern des Fahrbahnzustandes (Tragfähigkeit, Ebenheit, Spurrinnentiefe, Makrotextur, Mikrotextur, Beschädigung der Fahrbahnoberfläche) wurden verwendet, um entsprechende technische Spezifikationen zu verbessern und Verwaltungssysteme für Fahrbahnen auf Straßennetzniveau weiterzuentwickeln.

Schlüsselwörter:

Erneuerung von Straßenfahrbahnen, Testabschnitte, Fahrbahnverwaltung, Parameter des Fahrbahnzustandes, Fahrbahnbeschädigung

1. Uvod

Cestovne mreže u razvijenim zemljama, uz iznimku pojedinih gradskih obilaznica ili dionica autocesta/brzih cesta, uglavnom su izgrađene. Međutim, kontinuirano povećanje prometnog opterećenja i intenziteta, zajedno s pogoršanjem klimatskih uvjeta (klimatske promjene), donosi nove izazove te zahtijeva dodatne aktivnosti uprava odgovornih za održavanje cestovne infrastrukture, dok istodobno korisnici cestovne mreže očekuju veću trajnost i bolja svojstva kolnika [1].

Sinergijski utjecaj prometa i klimatskih uvjeta dodatno otežava rad uprava za održavanje cesta. Osim rutinskih aktivnosti, na efikasnost i ekonomsku isplativost održavanja cestovnih kolnika značajno utječu karakteristike projekta i postupaka koji se provode u okviru obnove kolnika. Učinkoviti sustav gospodarenja kolnicima, između ostalog, može se primjenjivati i za pravodobno poduzimanje odgovarajućih mjera održavanja s ciljem poboljšanja stanja kolnika na pojedinim dionicama cesta [2].

Praksa uprava za ceste temelji se na primjeni uobičajenih pravila strategije obnavljanja dijelova kolnika koja podrazumijevaju konzistentan pristup planiranju i odabir specifičnih aktivnosti održavanja [3]. Na taj se način osigurava najučinkovitija podjela troškova, te je svakoj dionici ceste dodijeljen određeni iznos ukupnih sredstava za obnovu prometnica. Ta pravila trebaju odražavati zakonima definirane standarde i razine intervencije. Planirano održavanje cesta se može razlikovati od stvarnih potreba za održavanjem koje ovise o stanju kolnika. U normalnim okolnostima, redovito održavanje se uglavnom provodi prema dogovorenom cikličkom rasporedu. Raspored redovitog održavanja često ovisi o kategoriji ceste, čime se u razmatranje uzima i "razina usluge". Odabir metode obnove kolnika koji se temelji na dogovorenom cikličkom rasporedu redovitog održavanja prije svega ovisi o inženjerskoj odluci, a ne o tehničkim karakteristikama metoda koje se primjenjuju [4].

Definiranje i primjena cikličkih metoda obnove kolnika relativno je jednostavna, ali ne uzima u obzir stvarno stanje kolnika. Metode obnove kolnika, odabir kojih ovisi o stanju kolnika, uključuju definiranje graničnih vrijednosti parametara stanja kolnika prekoračenjem kojih je nužno odabrati određeni postupak obnove. Glavni pokazatelji stanja kolnika su uzdužna i poprečna ravnost, površinske pukotine, nosivost kolnika te tekstura i hrapavost površine kolnika. Svaka metoda zahtijeva pregled kolnika (vizualni i/ili mjernim uređajima) kako bi se odredila razina i opseg njegovog oštećenja.

Učinkovitost različitih metoda obnove kolnika uglavnom ovisi o više parametara, uključujući početno stanje kolničke konstrukcije i posteljice, kvalitetu materijala koji se koristi za obnovu kolnika, tipu obnove (izbor optimalne metode obnove kolnika), kvalitetu gradnje, pravodobnost i profesionalni pristup u aktivnostima održavanja, prometno opterećenje, klimatske uvjete.

Od 1991. godine na 60 dionica duljine 500 m, koje se nalaze u sklopu Mađarske državne cestovne mreže, provodi se godišnji monitoring stanja kolnika. Budući da je većina tih cesta obnavljana barem jednom u proteklih 25 godina, na temelju

dostupnih podataka se može odrediti stvarno stanje održavanja cesta u Mađarskoj, a te informacije se mogu primijeniti za poboljšanje sustava upravljanja cestama.

2. Mađarski sustav održavanja kolnika

Tijekom proteklih nekoliko desetljeća u Mađarskoj je razvijeno nekoliko sustava za održavanje kolnika [5].

2.1. MPMS Sustav održavanja kolnika na razini prometne mreže

Djelatnici Instituta za prometne znanosti (KTI) i Tehničkog sveučilišta u Budimpešti osmislili su prvi mađarski sustav održavanja kolnika na razini prometne mreže [6, 7]. Metodologija primjenjuje Markovljeve matrice prijelaznih vjerojatnosti, budući da takvom sustavu ne trebaju kao preduvjet podaci iz duljega razdoblja. Varijable u matrici su: vrsta kolnika, prometno opterećenje i vrsta obnove kolnika. Vrste kolnika su asfaltbeton i asfaltni makadam. Prometno opterećenje: maksimalno 3000 PAJ/dan, 3001 do 8000 PAJ/dan, minimalno 8000 PAJ/dan (PAJ = mjerna jedinica za putničke automobile). Vrste obnove kolnika se odnose na: redovito održavanje kolnika, izvedbu površinske obrade, i postavljanje novog sloja asfalta. Umjesto široko rasprostranjene varijante "ne radi ništa", redovito održavanje je korišteno kao najblaža varijanta obnove kolnika. Uzimajući u obzir sve varijable, teoretski se može dobiti $2 \times 3 \times 3 = 18$ matrica. Međutim, dvije od njih (površinska obrada za kolnike s više od 8000 automobila dnevno, za obje vrste kolnika) isključene su iz tehničkih razloga. Stoga je u razmatranje uzeto 16 matrica.

Redovi i stupci Markovljeve matrice prijelaznih vjerojatnosti su oblikovani prema parametrima stanja kolnika. Parametri stanja kolnika su sljedeći: 5 razina nosivosti, 3 razine ravnosti kolnika, 5 razina oštećenja kolnika. Dakle teoretski gledano, dostupno je $5 \times 5 \times 3 = 75$ mogućih varijanti stanja kolnika. Varijante koje se rijetko pojavljuju (maksimalno 10 km u ukupnoj državnoj cestovnoj mreži) nisu uzete u obzir odvojeno, nego su ujedinjene sa sličnim varijantama stanja kolnika koje se češće pojavljuju. Ukupno je u ispitivanom modelu razmotrena 41 varijanta stanja kolnika. Svaki element matrice temelji se na dostupnim podacima, stvarnim ili interpoliranim. Odvojeni red-vektor ispod matrice prikazuje jediničnu cijenu po četvornom metru za vrstu obnove kolnika koja je primijenjena.

Svaka matrica je veličine 41×41 . Horizontalna os prikazuje varijante stanja u prvoj godini, a vertikalna os predstavlja očekivanu distribuciju varijante stanja kolnika u drugoj godini. Zbroj vrijednosti u svakom stupcu je 1,0 [8]. Takav model sustava gospodarenja kolnikom može se upotrijebiti za rješavanje bilo kojeg od sljedeća tri zadatka:

- određivanje nužnih sredstava potrebnih za održavanje stanja kolnika na zadanoj optimalnoj razini uporabljivosti
- regionalna i funkcionalna distribucija troškova prema ograničenjima i zadanoj optimalnoj razini uporabljivosti
- procjena gubitaka nastalih uslijed optimizacije distribucije troškova.

2.2. Drugi modeli sustava za održavanje kolnika

Sustav za održavanje kolnika na razini projekta također je razvijen za gradsku prometnu mrežu [9, 10]. Osim toga, u Mađarskoj je razvijen i specijalni sustav za održavanje kolnika na autocestama (engl. *Motorway Pavement Management System APMS*) [11].

Zbog mana MPMS modela, HUPMS model [11] je razvijen primjenom optimizacije postupka MPMS i strukturnog modela HIPS [12] uzimajući u obzir:

- nekoliko (maksimalno 10) vremenskih perioda
- 2 tipa kolnika, asfaltbeton i asfaltni makadam
- 3 kategorije prometnog opterećenja
- 4 parametra stanja kolnika (ravnost, nosivost, dubina kolotruga, površinska oštećenja)
- kombinirane tražene funkcije
- maksimalno 8 vrsta obnove kolnika.

U dugoročnom modelu traži se optimalno rješenje (Markovljeve matrice stabilno stanje) distribucije stanja kolnika u prometnoj mreži, koje se može dobiti uz optimalno održavanje kolnika. Tražena funkcija je minimalni zbroj troškova uprava za ceste i korisnika (primjerice ukupni društveni optimum). Markovljeve matrice prijelazne vjerojatnosti su korištene za modeliranje oštećenja kolnika. Matematički model sadrži: razine stanja kolnika prema stabilnom stanju Markovljeve matrice, distribuciju oštećenja kolnika u početnoj godini i u godinama koje slijede, omjere različitih stanja oštećenja kolnika, troškove itd. Za višekriterijski model, jedan od ciljeva može biti postizanje stabilnog modela aproksimacijom rezultata u periodu od nekoliko godina.

3. Faktori koji utječu na oštećenje kolnika

Procjena svojstava kolnika uključuje ispitivanje uporabljivosti i nosivosti pojedinih dionica cesta [13]. Trajnost (poželjno svojstvo) kao jedno od glavnih svojstava koje se očekuje od novoizgrađenog ili obnovljenog cestovnog kolnika ovisi o mnogo parametara. U nastavku su ukratko prikazani parametri koji najviše utječu na trajnost ceste (otpornost na oštećenja).

Najvažnije svojstvo cestovnog kolnika jest to da ima odgovarajuću otpornost na sinergijsko djelovanje lokalnih (klimatskih i hidroloških) uvjeta te prometnog opterećenja kako tijekom uporabe kolnika ne bi došlo do razvoja prekomjernih oštećenja. Višeslojna struktura kolnika ima funkciju da raspodijeli opterećenja koja se javljaju ispod guma vozila, na način da vrijednosti naprezanja na donjem rubu vezanih sojeva ina razini posteljice budu dovoljno male kako ne bi došlo do razvoja oštećenja [14].

Budući da su kolnici izloženi klimatskim i hidrološkim uvjetima, prilikom projektiranja kolničke konstrukcije u obzir treba uzeti utjecaj vode, koja se pojavljuje u obliku kiše/snijega i/ili iz tla. Stoga je vrlo važno prilikom projektiranja (trajnih) kolnika osigurati odgovarajuće dreniranje površinskih i podzemnih voda

[15]. Pri projektiranju treba odrediti odgovarajuću debljinu svih slojeva kolničke konstrukcije, kako bi se tražena svojstva kolnika osigurala na najisplativiji način.

Osim pravilnog projektiranja kolnika, treba voditi računa i o kvalitetnoj izgradnji. Da bi se to ostvarilo, materijal mora biti ugrađen i zbijen na adekvatan način kako bi se postigla tražena svojstva, kao što su gustoća i/ili nosivost. Prilikom odabira materijala te projektiranja mješavina i kolničke konstrukcije, važno je uzeti u obzir izvedivost. Prilikom izgradnje kolnika mora se provoditi kontrola kvalitete radova kako bi se osigurala stroga primjena propisa i ujednačena razina kvalitete izgradnje tijekom trajanja projekta.

Već od prvoga dana nakon izgradnje, kvaliteta kolnika se počinje smanjivati. Ako je kolnik projektiran i izgrađen prema propisima, neće doći do potpunog propadanja kolničke konstrukcije uslijed oštećenja tijekom projektnog perioda. Međutim, ako se ne provodi redovito održavanje, kolnik na kraju svog uporabnog razdoblja može biti potpuno uništen. Najbolji pristup je taj da se redovito izvodi održavanje kolnika (primjerice površinska obrada kolnika svakih 4 do 5 godina spriječila bi otvrdnjavanje asfalta koje rezultira pojavom pukotina). Ti postupci neće produljiti uporabno razdoblje, ali mogu spriječiti ubrzano propadanje kolnika. U većini slučajeva, kad je jednom izgrađen, kolnik se može obnoviti do kraja uporabnog razdoblja gotovo bezbroj puta, ponovnom upotrebom isključivo postojećih materijala ili njihovom kombinacijom s novim materijalima. Obnavljanje kolnika je skup proces. Inventar postojećeg stanja kolnika se mora održavati i koristiti za učinkovito određivanje vremena i redoslijeda obnove različitih dionica kolnika. To je važno zbog činjenice da je teško financirati obnovu svih dionica kolnika, a i zbog činjenice da se oštećenja ne događaju na svim dionicama u isto vrijeme [16], stoga je u određenom vremenu stanje kolnika različito na različitim dionicama.

Osim toga, za predviđanja svojstava kolnika upotrebljava se sofisticirana metodologija [17] koja može imati značajnu ulogu u ekonomičnom projektiranju trajnih kolnika autoceste (ili za njegovu obnovu).

4. 25-godišnje promatranje dionica ceste

4.1. Podaci o svojstvima kolnika

Tipična istraživanja koja se provode s ciljem prikupljanja informacija za potrebe projektiranja obnove kolnika su sljedeća [18]:

- računalni modeli ponašanja
- laboratorijska ispitivanja
- ubrzani test opterećenja
- monitoring probnih (eksperimentalnih) dionica.

Računalni modeli ponašanja

Računalni modeli (npr. metoda konačnih elemenata) široko se primjenjuje za predviđanje ponašanja različitih tipova kolničkih konstrukcija. Očekivana oštećenja odabranih eventualno

kritičnih - parametara stanja kolnika (naprezanja, deformacije itd.) kao posljedica kumulativnog, sinergijskog utjecaja okolnih uvjeta i prometnog opterećenja mogu se odrediti u relativno kratkom roku kao izlazni podaci modela. Pravi izazov za inženjere je realističan izbor ulaznih parametara modela, odnosno mehanička svojstva (primjerice E-modul) materijala kolničke konstrukcije. Tijekom proračuna u obzir nije moguće uzeti sve karakteristične modele oštećenja kolnika. Takav pristup ne oduzima mnogo vremena, ali je točnost rezultata ograničena zbog generaliziranja i pojednostavljenja ulaznih parametara.

Laboratorijska ispitivanja

Druga metodologija za određivanje svojstava materijala kolničkih konstrukcija je izrada pokusnih uzoraka i provedba laboratorijskih ispitivanja. Čak i ako se planirani sastav materijala koristi za laboratorijska ispitivanja, važno je odabrati metode ispitivanja koje u većoj ili manjoj mjeri mogu simulirati model oštećenja konstrukcije koja se ispituje. Glavna ograničenja te relativno brze metodologije su: klimatska opterećenja se ne mogu uzeti u obzir uopće ili barem ne u realističnom smislu; relativno mali laboratorijski uzorci imaju različita svojstva od izgrađenog elementa ceste.

Ubrzani test opterećenja

U mnogim se državama provode ispitivanja testovima ubranog opterećenja (eng. *accelerated loading testing* - ALT) na objektima (kružne staze, linearne staze s mogućnošću premještanja opterećenja itd.) koji su postavljeni na otvorenom ali i u zatvorenom prostoru. U nekim slučajevima, umjetna, (gotovo) kontinuirana opterećenja se postižu upotrebom višeosovinskih teških kamiona, međutim, više je raširen pristup da se u tu svrhu koriste opterećeni kotači ili osovine. Nekoliko tehnoloških varijanti - uključujući referentnu može se opteretiti simultano omogućavajući direktnu usporedbu njihovih utjecaja. Druga pozitivna stvar je da nije potrebno predviđanje svojstava, odnosno predviđanje očekivanih oštećenja kolnika, jer zapravo promjene u odnosu na početno stanje kolnika daju informacije o kritičnom modelu (modelima). Iako se desetogodišnje prometno opterećenje može simulirati u ALT-u tijekom jednog ili dva mjeseca, ponavljajuće opterećenje utjecaja okoline na dionici ceste s "normalnim" prometom ne može se simulirati primjenom testova ubranog opterećenja. (ALT u zatvorenom prostoru ima mogućnost promijeniti temperaturu zraka, relativnu vlažnost, količinu vlage posteljice, ali ne omogućava realističnu simulaciju.) Izgradnja i održavanje objekata za ubrano opterećenje je poprilično skupo.

Monitoring pokusnih (eksperimentalnih) dionica

Očito je da izgradnja i monitoring pokusnih (eksperimentalnih) dionica ceste može pružiti najpouzdanije predviđanje svojstava kolnika, ali samo ako su ispunjeni sljedeći preduvjeti:

- pažljivi odabir lokacije i dovoljna duljina dionice (dionica) koja se ispituje
- odabir prikladne referentne dionice
- detaljno i u skladu s propisima projektirani kolnik
- iskusan izvođač radova

- učinkovito upravljanje kvalitetom uključujući kontinuiranu i neovisnu kontrolu
- pažljivo planiranje monitoringa ispitivanih i referentnih dionica ceste uključujući odabir ključnih parametara ponašanja, prikladnih tehnika ispitivanja (uređaje), obilježavanje mjernih mjesta (u slučaju primjene tehnika mjerenja koje nisu kontinuirane)
- izbor učestalosti mjerenja (uobičajeno svake godine)
- sofisticirana obrada podataka o stanju kolnika.

Čak i ako su ispunjeni svi prethodno navedeni preduvjeti, te se stoga može očekivati pouzdano predviđanje ponašanja, dugotrajnost takve metode se ne može zanemariti.

4.2. Karakteristike ispitivanih dionica cesta u Mađarskoj

U Mađarskoj se od 1991. sustavno provodi monitoring na 60 dionica ceste u državnoj cestovnoj mreži [19]. Prilikom odabira pokusnih dionica za dugogodišnji monitoring primijenjena je posebna metodologija [20]. Glavni cilj procjene stanja kolnika je razvoj modela oštećenja kolnika koji su karakteristični za cijelu državnu cestovnu mrežu. Iz tog razloga su tipične karakteristike mađarskih cesta obuhvaćene na osnovi pokusnih dionica.

Odabrani tipovi kolničkih konstrukcija su: polukrute konstrukcije (cementom stabilizirani nosivi sloj/donji ustroj); savitljive konstrukcije (bitumenom stabilizirani nosivi sloj/donji ustroj); ultrasavitljive konstrukcije, asfaltni makadam (nevezeni nosivi sloj/donji ustroj) konstrukcije. Kategorije prometa su: 3000 PAJ/dan, 3000- 8000 PAJ/dan, minimalno 8001 PAJ/dan. Razine nosivosti posteljice su: maks. 4 % CBR, 5-7 % CBR, min. 8 % CBR. Stvarni broj mogućih varijanti (vrsta kolnika promet- posteljica) u cijeloj mreži je uzet u obzir nakon što je određen broj različitih "kategorija cesta". Neke od vrlo rijetkih kategorija su spojene sa sličnim kategorijama koje se češće ponavljaju. Iz baze podataka su uzete informacije o cestama kako bi se odabrale pokusne dionice. Dodatni podaci su prikupljeni iz područnih uprava cesta, a dodatno svaku pokusnu dionicu su obišli istraživači kako bi zabilježili lokalne uvjete. Odabrano je 14 dijelova ceste za ispitivanje. U jednoj se kategoriji obično nalazi 3 do 6 reprezentativnih dionica, a ukupni broj ispitivanih dionica je 60. Godišnja procjena stanja kolnika je provedena na desnom prometnom traku na 500 m dugim dionicama.

4.3. Metodologija prikupljanja podataka

Sljedeći parametri stanja kolnika su ocijenjeni na godišnjoj razini i analizirani na ispitivanim dionicama ceste.

- ravnost (IRI- internacionalni indeks neravnosti primjenom lasera RST)
- dubina kolotruga (primjenom lasera RST),
- makrotekstura (primjena lasera RST, opisana bezdimenzijskim faktorom)
- mikrotekstura (primjena lasera RST, opisana bezdimenzijskim faktorom)

- nosivost (primjenom KUAB uređaja s padajućim teretom, eng. *falling weight deflectometer*),
- površinska oštećenja (vizualni pregled uz pomoć ROAD MASTER uređaja).

Mjerenja su provedena na istim mjestima ili na istoj liniji (na vanjskom kolotragu) svake godine, u isto vrijeme u godini (travanj, svibanj). IRI vrijednosti su automatski izračunane u računalnom programu *Road Survey Tester*.

5. Procjena utjecaja održavanja ceste na osnovi monitoringa pokusnih dionica

5.1. Prikupljanje podataka

Monitoring dionica cesta u Mađarskoj se provodi od 1991. Tijekom tog 25-godišnjeg perioda brojne su dionice cesta oštećene do te mjere da je bila nužna intervencija poput izvedbe površinske obrade, zamjene habajućeg sloja ili ojačanje kolnika. Odlučeno je da se i nakon obnove provodi redovita ocjena stanja kolnika jer dodatna mjerenja mogu pružiti i druge korisne informacije. Vrijednosti parametara stanja kolnika u godinama prije i nakon obnove se mogu iskoristiti za određivanje poboljšanja postojećeg stanja kolnika pomoću različitih tehnika održavanja. Nadalje, kontinuirani monitoring dionica ceste može pružiti informacije o oštećenjima kolnika nakon obnove, te se može provesti usporedba trendova razvoja oštećenja tijekom prethodnog i "novog" uporabnog razdoblja [23].

Između 1991. i 2015. obnovljeno je 55 dionica ceste (92 % od ukupno 60 pokusnih dionica) je obnovljeno. Sveukupno je dovršeno 37 projekata ojačanja kolnika, 9 tankoslojnih asfaltnih prevlaka i 20 dvostrukih površinskih obrada bitumenskom emulzijom. Tijekom monitoringa na 11 dionica ceste izvedene su dvije obnove kolnika. U grupi "ojačanje kolnika" uzeta je u obzir izrada asfaltnih slojeva čija je debljina veća od 40 mm. Analizirani su utjecaji ojačanja kolnika na površinska oštećenja, ravnost, dubinu kolotruga, makroteksturu i mikroteksturu [24].

Podaci o stanju kolnika na ispitivanim dionicama ceste su korišteni za identifikaciju stanja kolnika u Mađarskoj prije obnove kolnika, utjecaj obnove na poboljšanje svojstava kolnika i usporedbu trendova oštećenja kolnika prije i nakon obnove.

Glavni cilj praćenja 60 ispitivanih dionica ceste je razvoj modela ponašanja, primjerice prosječne krivulje oštećenja. Modeli ponašanja koji prikazuju kategorije cestovnih dionica mogu se dobiti postavljanjem regresijskih krivulja na točke koje predstavljaju vrijednosti parametara stanja kolnika kao funkcije vremena. (Slične krivulje su određene kao funkcije prometnog opterećenja, izraženog u PAJ/dan.)

Modeli ponašanja za svaku kategoriju ceste i svaki parametra stanja kolnika su određeni za svaku godinu tijekom perioda monitoringa, te su na taj način korišteni i najnoviji podaci o stanju kolnika. *Box i Whiskerplot* su korišteni kako bi se uklonili *outlieri* iz baze [22].

5.2. Stanje kolnika prije obnove

Sustavi gospodarenja kolnicima uobičajeno koriste informacije o graničnim vrijednostima parametara stanja kolnika prekoračenjem kojih obnavljanje kolnika nije isplativo [25]. Vrsta obnove ovisi o kategoriji ceste (primjerice 2,5 m/km je vrijednost IRI faktora na autocestama).

Budući da su aktualne informacije o stanju kolnika ključan ulazni parametar unutar sustava gospodarenja kolnicima, njihova validacija je iznimno važna. Dugotrajno promatranje ispitivanih dionica je odlična prilika za takve validacije. Treba uzeti u obzir još činjenicu da brzina pogoršanja različitih parametara stanja kolnika obično nije ista.

Kada "najbrži" od njih, kritični parametar, dosegne graničnu vrijednost - i stoga je nužna obnova kolnika - ostali parametri stanja kolnika još uvijek mogu imati relativno prihvatljive vrijednosti, koje ne zahtijevaju nužnu obnovu kolnika. (Međutim, uobičajene tehnike obnavljanja kolnika poboljšavaju stvarne vrijednosti svih parametara, uključujući i one koji imaju prihvatljive vrijednosti [4]).

Analiza podataka ispitivanih dionica ceste također omogućuje prikupljanje podataka o kritičnim vrijednostima parametara stanja kolnika različitih vrsta ceste, a ti se podaci mogu uzeti u obzir u daljnjem razvoju nacionalnih propisa za kolničke konstrukcije. Vrijednosti kritičnih parametara prije obnavljanja kolnika koje su zabilježene tijekom dugogodišnjeg promatranja ispitivanih dionica ceste također su važne informacije. Starost habajućeg sloja promatranih dionica prije ojačanja bila je između 4 i 31 godinu.

Obnova kolnika na većini ispitivanih cesta bila je potrebna u rasponu od 11 do 15 godina: na 6 dionica obnova je bila potrebna nakon 6 do 10 godina, na 4 dionice nakon 16 do 20 godina, a na pet dionica je obnova bila nužna nakon 20 do 24 godine. (Iznimno rijetko je obnova bila potrebna na kolnicima starosti habajućeg sloja do 6 godina, ili tek nakon više od 24 godine.) Uzdužna ravnost, odnosno vrijednosti IRI faktora ispitivanih dionica ceste kojima je obnova bila nužna bili su između 1,1 do 2,6 m/km. (Jedina iznimka je bio kolnik od asfaltnog makadama čija je IRI vrijednost iznosila 7,1 m/km.)

Na cestama s tankim slojem asfalta vrijednosti IRI faktora su bile slične vrijednostima na obnovljenom kolniku.

Dubina kolotruga na ispitivanim dionicama prije obnove kolnika je iznosila između 1,5 i 14,8 mm. U slučajevima gdje dubina kolotruga iznosi 1,5 do 5,0 mm, obnova tog dijela kolnika bila je nužna budući da je neki drugi parametar stanja kolnika imao kritičnu vrijednost.

Podaci o stanju kolnika na promatranim dionicama potvrdili su pretpostavku prema kojoj tanki sloj asfalta ne može biti učinkovita mjera obnove ako je dubina kolotruga na starom kolniku veća od 10 mm.

Početna uzdužna ravnost (IRI) promatranih dionica prije površinske obrade kolnika je iznosila između 1,8 do 3,6 m/km na glavnim cestama, te 4,0 do 6,0 m/km na sporednim cestama.

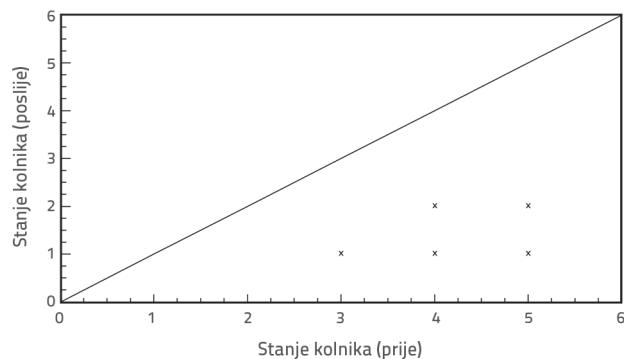
Početna prosječna dubina kolotruga je iznosila između 2,0 do 4,5 mm na glavnim cestama te između 2,0 do 9,0 mm na sporednim cestama. Poprilično veliki raspon makroteksture starog asfalta je iznosio između 0,2 i 0,65. Mikrotekstura je bila homogena, a raspon vrijednosti je iznosio od 0,13 do 0,38.

5.3 Realni utjecaj poboljšanja stanja kolnika nakon obnove

Slika 1. prikazuje utjecaj ojačanja kolnika- novi sloj debljine 4 do 6 cm bez recikliranja vizualno stanje kolnika (karakterizacija površinskih oštećenja). Može se vidjeti kako loše stanje kolnika (ocjena 3-5) prelazi u odlično (ocjena 1) ili vrlo dobro (ocjena 2). Pet bodova na slici 1. zapravo predstavlja informaciju o 16 dionica ceste, budući da se varijanta 4→1 ponavlja sedam puta, varijanta 5→1 tri puta, dok se varijante 4→2, 3→1 i 5→2 ponavljaju dva puta.

Dakle, rezultati su blizu očekivanih: 75 % varijanti s ocjenom 1, a 25 % njih s ocjenom 2. (Stanje kolnika koje nije savršeno, godinu

dana nakon izgradnje, odraz je problema kvalitete izvođenja radova.) U tablici 1. prikazano je smanjenje dubine kolotruga na ispitivanim dionicama nakon površinske obrade kolnika. Može se vidjeti da relativno debeli novi sloj asfalta može smanjiti dubinu kolotruga na 1 do 3 mm, više ili manje neovisno o prethodnoj dubini kolotruga.



Slika 1. Utjecaj obnove kolnika na površinska oštećenja (vidljivo stanje kolnika)

Tablica 1. Smanjenje dubine kolotruga nakon postavljanja novih slojeva asfalta

Ispitivana dionica ceste	Godina obnove kolnika	Prethodna dubina kolotruga [mm]	Nova dubina kolotruga [mm]	Smanjenje dubine kolotruga [mm]
Cesta63, 28+000-28+500	2000.	10,0	2,0	8,0
Cesta 63, 28+000-28+500	2010.	8,2	4,2	4,0
Cesta 33, 71+000-71+500	1999.	12,6	1,5	11,1
Cesta 47, 90+000-90+500	1996.	6,1	3,0	3,1
Cesta 61, 40+000-40+500	1997.	5,0	2,2	2,8
Cesta 3401, 15+000-15+500	1995.	1,5	1,0	0,5
Cesta 53107, 2+000-2+500	2001.	7,5	3,5	4,0
Cesta 6, 234+000-234+500	1992.	2,4	1,5	0,9
Cesta 33, 20+000-20+500	1997.	6,8	3,1	3,7
Cesta 3, 104+100-104+600	1995.	4,8	2,1	2,7
Cesta 4, 172+000-172+500	1997.	14,8	2,0	12,8
Cesta 11, 53+000-53+500	2000.	6,6	2,0	2,6
Cesta 30, 50+000-50+500	1994.	5,3	1,9	3,4
Cesta 50, 50+000-50+500	1998.	6,6	2,0	4,6
Cesta 75, 49+700-60+200	2002.	6,6	5,1	1,5
Cesta 4, 59+000-59+500	2004.	8,3	1,9	6,4
Cesta 44, 105+000-105+500	2004.	7,0	2,0	5,0
Cesta 89, 8+900-9+400	2004.	5,9	1,9	4,0
Cesta 4407, 2+000-2+500	2004.	8,0	2,0	6,0
Cesta 8, 117+000-117+500	2005.	13,7	1,7	12,0
Cesta 1113, 15+000-15+500	2005.	4,3	2,0	2,3
Cesta 5606, 0+000-0+500	2009.	8,0	1,0	7,0
Srednja vrijednost		7,0	2,2	4,8

Tablica 2. Smanjenje dubine kolotruga nakon postavljanja novih tankih slojeva asfalta

Ispitivana dionica	Godina obnove	Prethodna dubina kolotruga [mm]	Nova dubina kolotruga [mm]	Smanjenje dubine kolotruga [mm]
Cesta 4, 59+000-59+500	1996.	13,2	7,5	5,7
Cesta 8, 117+000-117+500	1999.	9,8	6,5	3,3
Srednja vrijednost		11,5	7,0	4,5

Tablica 3. Poboljšanje makroteksture ispitivanih dionica nakon površinske obrade kolnika

Ispitivana dionica	Godina obnove	Prethodna makrostruktura	Nova makrotekstura	Poboljšanje mikroteksture
Cesta 32, 7+000-7+500	1994.	0,21	0,99	0,78
Cesta 5606, 0+000-0+500	2000.	0,18	0,34	0,16
Cesta 5702, 18+000-18+500	2000.	0,43	0,51	0,08
Cesta 1113, 15+000-15+500	2000.	0,10	0,27	0,09
Cesta 3102, 3+000-3+500	1995.	0,21	0,31	0,10
Cesta 31106, 0+000-0+500	1995.	0,53	0,96	0,43
Cesta 87, 45+400-45+900	1993.	0,22	0,46	0,24
Cesta 87, 55+400-55+900	1999.	0,46	0,42	-0,04
Cesta 48, 25+000-25+500	1993.	0,34	0,37	0,03
Cesta 89, 11+800-12+300	1994.	0,34	0,47	0,13
Cesta 88, 5+000-5+500	1993.	0,20	0,47	0,27
Srednja vrijednost		0,29	0,42	0,21

Tablica 4. Poboljšanje mikroteksture ispitivanih dionica nakon površinske obrade kolnika

Ispitivana dionica ceste	Godina obnove	Prethodna mikrotekstura	Nova mikrotekstura	Poboljšanje mikroteksture
Cesta 32, 7+000-7+500	1994.	0,14	0,55	0,41
Cesta 5606, 0+000-0+500	2000.	0,17	0,25	0,08
Cesta 5702, 18+000-18+500	2000.	0,18	0,26	0,08
Cesta 1113, 15+000-15+500	2000.	0,14	0,21	0,07
Cesta 3102, 3+000-3+500	1995.	0,12	0,19	0,07
Cesta 31106, 0+000-0+500	1995.	0,23	0,45	0,22
Cesta 87, 45+400-45+900	1993.	0,16	0,26	0,10
Cesta 87, 55+400-55+900	1999.	0,25	0,38	0,13
Cesta 48, 25+000-25+500	1993.	0,20	0,19	-0,01
Cesta 89, 11+800-12+300	1994.	0,22	0,27	0,05
Cesta 88, 5+000-5+500	1993.	0,14	0,24	0,10
Srednja vrijednost		0,18	0,30	0,12

S druge strane, ako se na dionici postavi samo tanki sloj asfalta (tablica 2.), uslijed obnove kolnika na kojima su zabilježene velike dubine kolotruga (9,8 do 13,2 mm) može se smanjiti njihova dubina na samo 6,5 do 7,5 mm. Tablice 3. i 4. prikazuju utjecaj površinske obrade kolnika na mikroteksturu i makroteksturu ispitivanih dionica ceste. Zaključci su sljedeći:

- površinska obrada više utječe na poboljšanje makroteksture negoli mikroteksture (u slučaju pokusnih dionica, bezdimenzijski parametri mikrostrukture i makroteksture su izmjereni uz pomoć RST lasera)

- povećanje hrapavosti makroteksture iznosi od 0,1 do 0,2., međutim u dva slučaja s ekstremnim vrijednostima zabilježeno je poboljšanje hrapavosti makroteksture od 0,43 i 0,78
- u jednom slučaju, vrijednost makroteksture je smanjena (za 0,04) nakon površinske obrade, međutim prije obnove ta vrijednost je bila relativno viska (0,46)
- vrijednost poboljšanja hrapavosti mikroteksture bila je između 0,5 i 0,13, međutim, za bilježeno je također i poboljšanje od 0,22 i 0,41 (najveće povećanje mikrohrapavosti zabilježeno je na ispitivanoj dionici s najvećim poboljšanjem makrohrapavosti)

- površinska obrada je rezultirala manjim smanjenjem mikrohrapavosti (za 0,01), i to na prije spomenutim dionicama na kojima je zabilježeno i smanjenje hrapavosti makroteksture.

6. Trendovi oštećenja kolnika prije i nakon obnove

Oštećenja kolnika nakon obnove, primjerice ojačanje kolnika bez uklanjanja postojećeg asfaltnog sloja ovise o različitim faktorima, između ostalog i o debljini i kvaliteti novih asfaltnih slojeva, kvaliteti starog asfalta te prometnom opterećenju. Stvarna oštećenja kolnika (i novo uporabno razdoblje) ovise o kombinaciji utjecaja svih parametara stanja kolnika.

Oštećenja dviju vrsta ispitivanih dionica analiza slučaja - uspoređena su prije i nakon obnove kolnika (ojačanje kolnika ili površinska obrada). Slika 2. prikazuje krivulju oštećenja ispitivanih dionica na autocesti s asfaltbetonskim slojem s vrijednostima parametara stanja prije i nakon obnove kolnika 2002. godine. (U ovom slučaju asfaltbetonski sloj od 5 cm je primijenjen kao tehnika ojačavanja nakon pojave površinskih oštećenja - uglavnom pukotina i rupa zbog kojih je obnova bila nužna.) Nakon usporedbe dijelova krivulje oštećenja kolnika uslijed različitih parametara stanja prije i nakon obnove kolnika, doneseni su sljedeći zaključci:

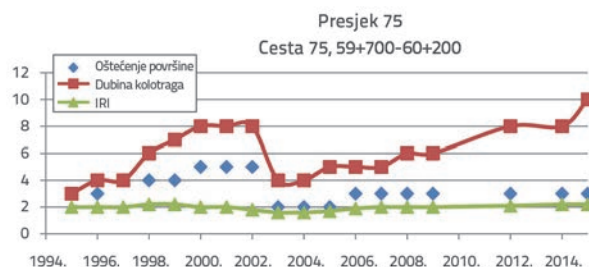
- oštećenja površine su okarakterizirana u programu *RoadMaster*, vizualni pregledom u pet razina, gdje je ustanovljeno da je najlošiji kolnik (5 bodova) trebao obnovu nakon što je bio u upotrebi 11 godina (dionica je izgrađena 1989. godine), dok je pojava oštećenja nakon obnove bila relativno sporija (3 boda) nakon 12 godina, odnosno 2014. godine
- prosječna dubina kolotruga ispitivane dionice 2 godine prije ojačanja kolnika nakon uporabnog razdoblja od 11 do 13 godina - iznosila je oko 8 mm, a ista je vrijednost dobivena 10 godina nakon ojačanja, što upućuje na sličan trend nastajanja kolotruga
- vrijednosti IRI faktora uglavnom ne ovise o obnavljanju kolnika, budući da je ta vrijednost uvijek približno 2 m/km što dokazuje da je ravnost kolnika vrlo rijetko kritični parametar na mađarskim glavnim cestama s relativno debelim asfaltnim slojem.

Slika 3. prikazuje krivulju oštećenja ispitivane dionice na mađarskoj autocesti pokazujući stanje kolnika prije i nakon obnove 2000. godine (Asfaltbetonski sloj debljine 6 cm je postavljen bez obnavljanja starog sloja nakon što su površinska oštećenja i vrijednosti dubine kolotruga prešle granične vrijednosti za postupak obnove). Nakon usporedbe krivulja oštećenja za različite parametre stanja prije i nakon obnove kolnika, doneseni su sljedeći zaključci:

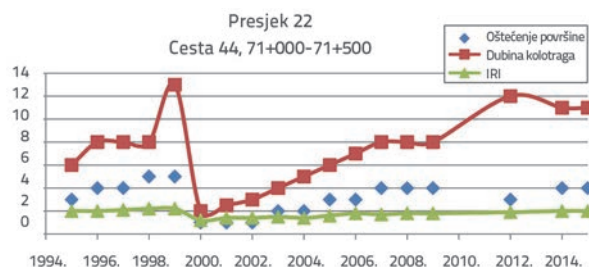
- površinska oštećenja imaju najlošije rezultate (5 bodova) u prethodnom uporabnom razdoblju koje je trajalo 17 godina (ispitivane dionice su izgrađene 1981.), dok su oštećenja u

novom uporabnom razdoblju pokazala slične rezultate (4 boda) nakon 14 godina upotrebe kolnika (2014.)

- prosječna dubina kolotruga dionice godinu dana prije ojačanja (uprabno razdoblje od 18 godina) iznosila je 13 mm, a slične vrijednosti su dobivene nakon 12 godina u "novom" uporabnom razdoblju pokazujući na ubranu pojavu kolotruga nakon obnove kolnika
- vrijednosti IRI faktora se nisu mijenjale nakon obnove kolnika, njihova vrijednost je iznosila približno 2 m/km.



Slika 2. Krivulja oštećenja ispitivane dionice ceste prije i nakon obnavljanja kolnika 2002.



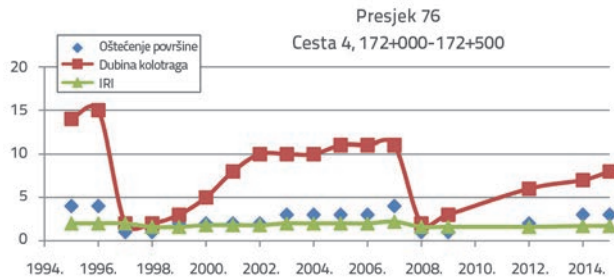
Slika 3. Krivulja oštećenja ispitivane dionice ceste prije i nakon obnavljanja kolnika 2000.

Slika 4. prikazuje krivulje oštećenja na ispitivanim dionicama a asfaltnim slojem ceste i teškim prometnim opterećenjem, a pokazuje stanje prije i nakon obnove kolnika koja je izvedena 1996. i 2007. Asfaltbetonski sloj debljine 6 cm je postavljen na kolnik kao tehnika ojačanja kolnika nakon pojave površinskih oštećenja - uglavnom pukotina i rupa, a vrijednosti dubine kolotruga su dosegnule kritičnu razinu). Doneseni su sljedeći zaključci:

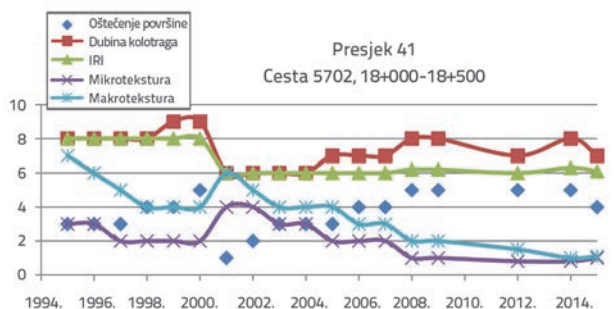
- površinska oštećenja su ocijenjena s 5 bodova (najlošija ocjena) u prethodnom uporabnom razdoblju koje je trajalo 8 godina (ispitivana dionica ceste je izgrađena 1985.), dok je pojava oštećenja nakon 11 godina, tj. 2007. godine u novom uporabnom razdoblju nakon obnove kolnika bila sporija, a ocijenjena je s 4 boda. Nakon idućih 7 godina, postignuta ocjena je bila 3 boda (2015.)
- prosječna dubina kolotruga na dionici ceste godinu dana prije ojačanja nakon 11 godina uporabnog razdoblja - iznosila je 15 mm, nakon prve obnove kolnika ta je vrijednost iznosila 11 mm nakon 11 godina pokazujući sporiji trend pojave oštećenja, a u "novom" uporabnom razdoblju, ta je vrijednost

iznosila 9 mm nakon 7 godina upućujući na slični trend razvoja kolotraga

- vrijednosti IRI faktora nisu pod utjecajem obnove kolnika, ta je vrijednost tijekom cijelog perioda nešto malo manja od 2 m/km.



Slika 4. Krivulja oštećenja ispitivane dionice ceste prije i nakon obnove kolnika 1996. i 2007.



Slika 5. Krivulja oštećenja ispitivane dionice ceste prije i nakon površinske obrade kolnika 2000. godine

Slika 5. prikazuje površinska oštećenja kolnika, dubinu kolotraga, IRI, mikrohrapavost i makrohrapavost, krivulje oštećenja ispitivane dionice na sporednoj cesti s asfaltnim makadamom prije i nakon površinske obrade 2000. (Dvostruka površinska obrada bitumenskom emulzijom napravljena je 1992. zbog iznimno loše makroteksture i velikog broja uzdužnih i poprečnih pukotina). Doneseni su sljedeći zaključci:

- Tijekom uporabnog razdoblja kolnika prije obnove najbolji rezultat je ostvaren 2000., nakon što je kolnik korišten 8 godina, dok je u "novom" uporabnom razdoblju, isti rezultat ostvaren nakon 7 godina, što ukazuje na sličnu brzinu nastanka površinskih oštećenja.
- Dubina kolotraga 8-9 mm izmjerena je nakon 8 do 9 godina korištenja kolnika. Ista dubina kolotraga zabilježena je na obnovljenom kolniku nakon 7 do 8 godina (nakon površinske obrade kolnika, smanjenje dubine kolotraga je samo 3 mm).

- Drugo uporabno razdoblje je okarakterizirano prilično visokim vrijednostima IRI faktora (8 m/km), a površinska obrada kolnika može smanjiti tu vrijednost za 2 m/km. Malo je iznenađujući podatak da je izmjerena gotovo nepromijenjena vrijednost od 6 m/km prvih 13 godina uporabnog razdoblja nakon obnove, stoga je vidljivo značajno poboljšanje u drugom uporabnom razdoblju (jedan od razloga može biti efikasna i trajna hidroizolacija postignuta dvostrukom površinskom obradom kolnika).
- Parametar mikroteksture je imao relativno lošu ocjenu (0,2) nakon prvih 6 do 8 godina korištenja kolnika. Međutim na kraju prvog uporabnog razdoblja, izvedbom površinske obrade, ta je vrijednost poboljšana do 0,4, a nakon 4 do 5 godina korištenja kolnika opet se smanjila na 0,2. Nakon 7 do 8 godina, mikrotekstura je imala vrijednost 0,1, pokazujući da površinska obrada nije ispunila jedan od glavnih zahtjeva, tj. trajno poboljšanje mikrostrukture površine kolnika.
- Makrotekstura je ocijenjena s 0,4 na kolniku starome 6-8 godina. Na kraju prvog uporabnog razdoblja kolnika, vrijednost na obnovljenom kolniku bila je 0,6, ali se zbog oštećenja nakon 2-3 godine ponovno smanjila na 0,4. Još lošiji rezultat je zabilježen nakon 7-8 godina, kada je ta vrijednost bila 0,2, dok je najlošiji rezultat od 0,1 zabilježen 12 do 13 godina nakon površinske obnove.

7. Zaključak

Na temelju rezultata ispitivanja dionica ceste (slike 3. do 6.) donose se sljedeći zaključci:

- tipični parametri stanja kolnika na mađarskim cestama, pogoršanjem kojih je nužna obnova kolnika, površinska su oštećenja i/ili dubina kolotraga;
- realna vrijednost kritičnog parametra stanja kolnika u trenutku obnove je obično ispod propisane granične vrijednosti koja zahtijeva obnovu kolnika zbog uobičajenog nedostatka financijskih sredstava za održavanje prometnica;
- stvarno poboljšanje stanja različitih parametara zapravo se odnosi na poprilično široki raspon, a ovisi o kvaliteti stare konstrukcije kolnika, značajkama projekta i konstrukcije; stanje obnovljenog kolnika nikad ne može biti isto kao na izvornom, novoizgrađenom kolniku;
- trendovi oštećenja prije i nakon obnavljanja kolnika su uglavnom slični, međutim, lokalno prometno opterećenje, projektiranje, izgradnja, održavanje i / ili klimatski uvjeti mogu utjecati na razlike među njima, ili ubrzati pojavu oštećenja na novom kolniku, što se zaista rijetko događa.

LITERATURA

- [1] Karoliny, M., Gáspár, L.: Investigation and design of durable pavement structure rehabilitation. Journal of Pavement Engineering & Asphalt Technology, 16 (2015) 1, pp. 30-45
- [2] Bakó, A., Gáspár, L.: PMS models in Hungary. CD-ROM Proceedings of 1st European Pavement Management Systems Conference, Budapest, pp. 10, 2000.

- [3] Robinson, R., Danielson, U., Snaith, M.: Road Maintenance Management. Concepts and Systems. MacMillan Press Ltd., pp. 291, 1998, <https://doi.org/10.1007/978-1-349-14676-5>
- [4] Gáspár, L.: Highway performance modelling. Proceedings of International Conference on Developments in Road Engineering. National Institute of Technology, Rourkela, India, pp. 24-36, 2010.
- [5] Bakó, A., Csicsely-Tarpay, M., Gáspár, L., Szakos, P.: The Development and Application of a Combined Highway-motorway Pavement Management System in Hungary. 4th International Conference on Managing Pavements. Durban, South Africa Proceedings, 3 (1998), pp. 1091-1105.
- [6] Gáspár, L.Jr.: Ein netzbezogenes Managementsystem für die Strassenerhaltung in Ungarn. *Strasse + Autobahn*, 8 (1992), pp. 490-495.
- [7] Gáspár, L.Jr., Bakó, A.: Le système hongrois de gestion de l'entretien. *Revue Générale des Routes et des Aéroports*, 710 (1993), pp. 34-36.
- [8] Gáspár, L.Jr.: Compilation of First Hungarian Network-Level Pavement Management System. Transportation Research Record 1455 Pavement Management Systems. National Academy Press. Washington, pp. 22-30, 1994.
- [9] Csicsely-Tarpay, M., Bakó, A., Gáspár, L., Marton, L.: Hungarian Pavement Management System for the Road Network of a City. Second International Conference on Road and Airfield Pavement Technology, Singapore, 2 (1995), pp. 692-700.
- [10] Talvitie, A., Olsonen, R.: Selecting Asphalt Concrete Condition States for Finland's Highways. Proceedings of the 67th Annual Meeting of the TRB, Washington, pp. 38, 1988.
- [11] Bakó, A., Klafszki, E., Szántai, T., Gáspár L.: Optimization Techniques for Planning Highway Pavement Improvements, *Annals of Operations Research*, 58 (1995), pp. 55-66, <https://doi.org/10.1007/BF02032310>
- [12] Männistö, V., Tapio, R.: Infrastructure Management System. In: Transportation Research Record 1445, Transportation Research Board, pp. 132-138, 1994.
- [13] Haas, R., Hudson, W.R., Zaniewski, J.: Modern Pavement Management. Krieger Publishing Company, Malabar (USA), pp. 583, 1994.
- [14] Gáspár, L., Karoliny, M.: Investigation and design of durable pavement structure rehabilitation. LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, pp. 101, 2015.
- [15] Mallick, R.B., El-Korchi, T.: Pavement Engineering. Principles and Practice. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, pp. 511, 2009.
- [16] Gáspár, L., Veeraragavan, A., Bakó, A.: Comparison of Road Pavement Performance Modelling of India and Hungary. *Acta Technica Jaurensis*, 2 (2009) 1, pp. 35-55, 2009.
- [17] Gáspár, L.: Lifetime engineering for roads. (Keynote lecture), 2nd International Conference on Road and Rail Infrastructure - CETRA 2012 (ed. Lakusic, S.), Dubrovnik, Croatia, pp. 25-34, 2012.
- [18] Gáspár, L., Bencze, Zs.: Experimental sections in the Hungarian road management, 3rd International Conference on Road and Rail Infrastructure - CETRA 2014 (ed. Lakusic, S.), Split, Croatia, pp. 183-188, 2014.
- [19] Gáspár, L.: Highway Performance Modelling in Hungary. *The International Journal of Pavement Engineering & Asphalt Technology*, 1 (2000) 1, pp. 44-56
- [20] Boromisza, T., Nemesdy, E.: Measurement guide for trial sections. Research team report of Hungarian Scientific Association for Transport, 1990. (In Hungarian)
- [21] Paterson, W.D.: Prediction of Road Deterioration and Maintenance Effects: Theory and Quantification. Volume II, World Bank, Washington, 1986.
- [22] stattrek.com/statistics/charts/boxplot.aspx?Tutorial=AP
- [23] Gáspár, L.: Actual condition improving effect of major pavement maintenance treatments. 2nd European Pavement and Asset Management Conference, Berlin, CD-ROM Proceedings, pp. 12, 2004.
- [24] Gáspár, L.: Actual efficiency of road pavement rehabilitation, 4th International Conference on Road and Rail Infrastructure - CETRA 2016 (ed. Lakusic, S.), Sibenik, Croatia, pp. 181-186, 2016.
- [25] Gáspár, L.: Road management. Academy Press, Budapest, pp. 324, 2003. (In Hungarian)
- [26] Gáspár, L.: Hungarian pavement performance models. 9th International Conference on Asphalt Pavements, Copenhagen, pp. 8, 2002.