

Metode i uređaji za mjerenje kvalitete asfaltbetonskih kolničkih zastora

Marić, Igor

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:119:266277>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-14**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

Igor Marić

**METODE I UREĐAJI ZA MJERENJE KVALITETE
ASFALTBETONSKIH KOLNIČKIH ZASTORA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.



Sveučilište u Zagrebu
FAKULTET PROMETNIH
ZNANOSTI Vukelićeva 4,
10000 Zagreb
DIPLOMSKI STUDIJ

Diplomski studij: Promet
Katedra: Zavod za prometnu signalizaciju
Predmet: Prometna signalizacija

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

Pristupnik: Igor Marić
Matični broj: 0135232587
Smjer: Cestovni promet

Zadatak: Usporedna analiza metoda i uređaja za mjerenje kvalitete asfaltbetonskih kolničkih zastora

Engleski naziv zadatka: Comparative analysis of methods and devices for measuring the quality of pavements

Opis zadatka:

Na sigurnost cestovnog prometa utječe niz, u određenoj mjeri, međusobno povezanih čimbenika koji se mogu svrstati u tri kategorije: cesta i njena okolina, čovjek i vozilo. Ljudski faktor se dugo vremena smatrao glavnim uzročnikom prometnih nesreća s obzirom da su ljudi po prirodi podložni pogreškama. Iako ljudi čine mnogo pogrešaka, te pogreške nisu uvijek pravi uzrok prometnih nesreća. Naime, niz elemenata ceste i njezine okoline kao i samo vozilo može izazvati ljudsku pogrešku te na taj način biti pravi uzrok nesreće.

Osnovna zadaća suvremenih kolničkih konstrukcija osim osiguranja dovoljne nosivosti za preuzimanje opterećenja od cestovnih vozila je i osiguranje udobne i sigurne vožnje. Da bi kolnički zastor zadovoljio sve uvjete i sa svoje strane dao doprinos sigurnosti cestovnog prometa potrebno je vršiti kontrolu njegove kvalitete.

Sukladno tomu, cilj diplomskog rada je identificirati probleme vezane uz degradaciju asfaltnih kolnika tijekom eksploatacije te na temelju navedenog proučiti i usporediti metode i uređaje koji služe za ispitivanje kvalitete asfaltbetonskih kolničkih zastora.

Nadzorni nastavnik:
Dr. sc. Dario Babić

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Djelovođa:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

METODE I UREĐAJI ZA MJERENJE KVALITETE
ASFALTBETONSKIH KOLNIČKIH ZASTORA

METHODS AND DEVICES FOR MEASURING THE QUALITY OF
PAVEMENTS

Mentor: Dr. sc. Dario Babić

Student: Igor Marić

JMBAG: 0135232587

Zagreb, 2020.

SAŽETAK

Vozna površina kolnika mora biti projektirana i izgrađena tako da osigura sigurnost i udobnost za korisnike prometnica u projektom razdoblju eksploatacije. U konstruktivnom smislu, cesta se sastoji od gornjeg i donjeg ustroja. Kvalitetnom izvedbom svih slojeva kolničke konstrukcije povećava se stupanj sigurnosti odvijanja prometa i izravno se utječe na dugotrajnost vozne površine, ali i vozila. Za kretanje vozila po voznoj površini najvažnija su površinska svojstva asfaltbetonskih kolnika, a u ta svojstva ubrajaju se hvatljivost, tekstura, ravnost, oštećenja kolnika itd. Veoma je važno provoditi ispitivanja kojima se utvrđuje zadovoljavaju li površinska svojstva kolnika propisane kriterije. U diplomskom radu opisani su uređaji i metode za ispitivanje hvatljivosti, oštećenja, mikro i makroteksture površine te uređaji i naprave za ispitivanje ravnosti kolnika.

KLJUČNE RIJEČI: kolnička konstrukcija; kolnik; asfalt; hvatljivost; tekstura površine; ravnost kolnika

SUMMARY

The road surface must be designed and constructed in such a way as to ensure safety and comfort for road users during the designed service time. In structural terms, the road consists of an upper and a lower structure. The well constructed road layers increase the degree of traffic safety and directly affects the longevity of the road surface, but also the vehicles. The surface properties of asphalt pavements are the most important for the movement of vehicles on the road surface, and these properties include grip, texture, flatness, pavement damage, etc. It is very important to conduct tests to determine whether the surface properties of pavements meet the prescribed criteria. The thesis describes equipment and methods for testing the grip, damage, micro and macrottextures of the surface and devices and equipment for testing the flatness of the pavement.

KEY WORDS: pavement construction; pavement; asphalt; grip; surface texture; flatness of the pavement

SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
2.	OSNOVNI POKAZATELJI SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA	3
2.1.	Čovjek kao čimbenik sigurnosti cestovnog prometa	3
2.2.	Vozilo kao čimbenik sigurnosti cestovnog prometa	4
2.3.	Cesta kao čimbenik sigurnosti cestovnog prometa	4
2.4.	Okolina kao čimbenik sigurnosti cestovnog prometa	5
3.	KOLNIČKE KONSTRUKCIJE	6
3.1.	Sastav kolničke konstrukcije	6
3.2.	Posteljica	7
3.3.	Podloga cestovnog zastora	8
3.4.	Cestovni zastori	9
3.5.	Cementni zastori	10
3.5.1.	Zastor od cementbetona.....	11
3.5.2.	Zastor od cementnog makadama	11
3.6.	Tamni zastori.....	12
4.	VRSTE I KARAKTERISTIKE ASFALTNIH KOLNIKA	13
4.1.	Zastori od asfaltbetona (AC)	16
4.2.	Zastori od asfaltbetona za vrlo tanke slojeve (BBTM).....	18
4.3.	Zastori od splitmastiksafalta (SMA)	18
4.4.	Zastori od lijevanog asfalta (MA)	18
4.5.	Tankoslojne asfaltne prevlake izrađene hladnim postupkom (SS)	19
5.	UTJECAJ KVALITETE ASFALTNIH KOLNIKA NA SIGURNOST CESTOVNOG PROMETA	20
5.1.	Kolotrazi	20
5.2.	Hvatljivost kolnika	21
5.3.	Oštećenja	22
5.4.	Ravnost kolnika	23
6.	METODE I UREĐAJI ZA MJERENJE KARAKTERISTIKA VOZNE POVRŠINE KOLNIKA	24
6.1.	SARSYS Volvo friction tester-SVFT.....	24
6.2.	Skid Resistance Test (SRT).....	25

6.3.	H2000 Automatic Crack Detection	27
7.	METODE I UREĐAJI ZA MJERENJE TEKSTURE POVRŠINE I RAVNOSTI KOLNIKA.....	29
7.1.	Metoda mjerenja dubine makroteksture površine kolnika volumetrijskim postupkom 30	
7.2.	Određivanje teksture pomoću uređaja na osnovi brzine istjecanja vode (Outflow Meter)	32
7.3.	Određivanje teksture pomoću uređaja CTM (Circular Texture Meter)	33
7.4.	Mjerenje ravnosti površine kolnika	34
7.5.	Mjerenje ravnosti kolnika pomoću letve	34
7.6.	Mjerenje ravnosti površine kotrljajućom gredom (HI-LO detektor)	35
7.7.	Mjerenje ravnosti površine integratorom neravnina (Bump Integrator)	35
7.8.	Mjerenje ravnosti hodajućim elektroničkim profilomjerom (Walking profiler)	36
7.9.	Mjerenje ravnosti inercijalnim (laserskim) profilomjerom	37
7.9.1.	Greenwood LaserProf	38
7.9.2.	Greenwood Profilograf	39
8.	ZAKLJUČAK.....	40
	LITERATURA.....	42
	POPIS SLIKA	43
	POPIS TABLICA.....	44

1. UVOD

Cestovni promet je najrašireniji vid prometa za transport ljudi i dobara. Prednosti cestovnog prometa u razvoju društva se ogledaju u pristupačnosti, ekonomičnosti za male i srednje udaljenosti, mogućnost prijevoza od vrata do vrata i sl. Uz sve prednosti koje pruža, odvijanje cestovnog prometa donosi i mnoge rizike koji utječu na živote i zdravlje ljudi. Na sigurnost odvijanja cestovnog prometa utječu razni čimbenici kao što su čovjek, vozilo, cesta i okolina. Za sigurno odvijanje cestovnog prometnog sustava veoma je važno da su prometnice pravilno i kvalitetno izgrađene jer cesta na sigurnost prometa ponajviše utječe svojim tehničkim rješenjem. U poprečnom se presjeku cesta sastoji od više zbijenih, međusobno povezanih slojeva materijala. Gornji slojevi, tj. cestovni zastor po kojem se kreću vozila i nosivi sloj pod njim, nazivaju se kolničkom konstrukcijom (katkad i gornjim ustrojem), dok se donji slojevi nazivaju trupom (donjim ustrojem) ceste.

Kolnička konstrukcija sastoji se od nosivoga sloja i cestovnoga zastora. Nosivi sloj donji je dio (podloga) kolničke konstrukcije, a načinjen je od kamenoga materijala. Donji sloj, osim nosivosti, ima i zadaću zaštite kolničke konstrukcije od zamrzavanja. Cestovni zastor je završni, gornji dio kolničke konstrukcije izravno izložen prometnom opterećenju i habanju. Njegova površina, stoga, treba biti zadovoljavajuće ravna, otporna na trošenje i vremenske utjecaje te pružati otpor klizanju. Tim zahtjevima danas udovoljavaju asfaltni i betonski zastori, a katkad se izvode i kameni zastori. Trup ceste (donji ustroj ceste) leži na prirodnom tlu, a izrađuje se od zemlje, drobljenog kamena ili šljunka. Prema poprečnom nagibu zemljišta cesta može biti u nasipu, usjeku ili zasijeku [1].

Usljed konstantnog opterećenja cestovnog zastora može doći do raznih oštećenja kolnika kao što su pukotine, rupe, smanjenje hrapavosti kolnika itd. Takva oštećenja uvelike utječu na sigurnost odvijanja prometa. Cilj diplomskog rada je identificirati probleme vezane uz degradaciju asfaltnih kolnika tijekom eksploatacije te na temelju navedenog proučiti i usporediti metode i uređaje koji služe za ispitivanje kvalitete asfaltbetonskih kolničkih zastora.

Rad je podijeljen u 8 cjelina:

1. Uvod
2. Osnovni pokazatelji sigurnosti cestovnog prometa
3. Kolničke konstrukcije
4. Vrste i karakteristike asfaltnih kolnika
5. Utjecaj kvalitete asfaltnih kolnika na sigurnost cestovnog prometa
6. Metode i uređaji za mjerenje karakteristika vozne površine kolnika
7. Metode i uređaji za mjerenje teksture površine i ravnosti kolnika
8. Zaključak

U drugom poglavlju diplomskog rada navest će se i opisati osnovni čimbenici koji utječu na sigurnost cestovnog prometa. Osnovni pokazatelji sigurnosti cestovnog prometa su čovjek, vozilo, cesta i okolina.

U trećem poglavlju rada će se definirati što je kolnička konstrukcija, navest će se osnovna podjela, definirat će se koje su osnovne zadaće te od koji se sve dijelova sastoji kolnička konstrukcija. Posebno će se objasniti svaki od dijelova kolničke konstrukcije, a to su zastor, podloga cestovnog zastora i posteljica.

Četvrto poglavlje obuhvata podjelu asfaltnih kolnika, navest će se vrste i objasniti sve njihove karakteristike. Asfaltne kolničke konstrukcije izvode se u vidu tri karakteristične strukture, što će također biti navedeno u ovom poglavlju.

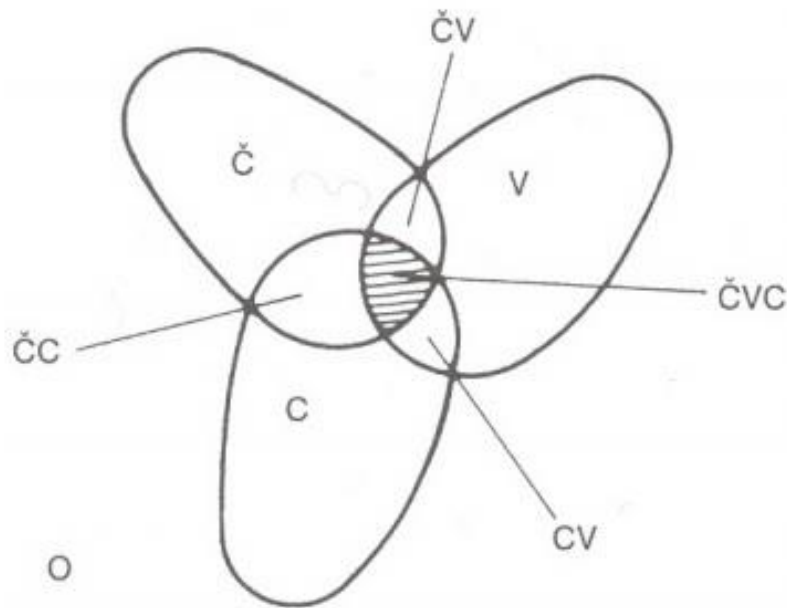
U petom poglavlju navest će se osnovni pokazatelji kvalitete cestovnih zastora koji utječu na sigurnost cestovnog prometa. Definirat će se plastične deformacije kolnika (kolotrazi), hrapavost kolnika, pukotine i ravnost kolnika.

U šestom poglavlju će se navest i detaljno opisati metode i uređaji pomoću kojih se mjeri hvatljivost asfaltbetonskih kolnika (SARSYS Volvo friction tester-SVFT, Skid Resistance Test (SRT)), te će se opisati uređaj H2000 Automatic Crack Detectionm koji služi za detektiranje pukotina asfaltbetonskih kolnika.

Sedmo poglavlje obuhvata detaljan opis metoda i uređaja koji služe za mjerenje ravnosti i teksture asfaltbetonskih kolnika. Opisat će se mjerenje ravnosti pomoću letve, kotrljajućom gredom, integratorom neravnina, hodajućim elektroničkim profilomjerom i td. Metode mjerenja teksture površine koje će se opisivati u ovom poglavlju su metoda pijeska, metoda mjerenja pomoću uređaja Outflow Meter i Circular Texture Meter.

2. OSNOVNI POKAZATELJI SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA

Cestovni promet je vrlo složen sustav koji uvelike utječe na funkcioniranje cjelokupnog gospodarskog sustava svakog društva i države. U cestovnom prometu postoje čimbenici koji utječu na sigurnost sudionika u prometu, a međusobna ovisnost čimbenika dovodi do konfliktnih situacija i povećanja mogućnosti nastanka prometnih nesreća. Kao što je prikazano na slici 1., čimbenici koji utječu na sigurnost cestovnog prometa su čovjek (Č), vozilo (V), cesta (C) i okolina (O) [2].



Slika 1. Vennov dijagram

Izvor: [2]

Međusobne korelacije čimbenika koje se sastoje od biomehaničkih odnosa čovjek-cesta i čovjek-vozilo te mehaničkih odnosa cesta-vozilo imaju velik utjecaj na postizanje prometnog sustava u kojemu će broj nesreća biti sveden na najmanji mogući broj. Na ponašanje čimbenika koji utječu na sigurnost prometa uvelike utječu i podražaji iz okoline stoga se i okolina uzima kao čimbenik sigurnosti cestovnog prometa.

2.1. Čovjek kao čimbenik sigurnosti cestovnog prometa

Čovjek kao vozač u prometu svojim osjetilima prima obavijesti vezane za prilike na cesti i na osnovu tih informacija određuje način kretanja vozila. Na ponašanje čovjeka kao čimbenika sigurnosti u prometu utječu osobne značajke vozača, psihofizička svojstva te obrazovanje i kultura vozača. Osobnost je organizirana cjelina svih osobina, svojstava i ponašanja kojima se svaka ljudska individualnost izdvaja od svih drugih pojedinaca društvene zajednice [2]. Psihički i skladno razvijena osoba je preduvjet uspješnog i sigurnog odvijanja prometa.

2.2. Vozilo kao čimbenik sigurnosti cestovnog prometa

Prema statističkim podacima, 3-5 % prometnih nesreća se dogodi zbog tehničkih nedostataka na vozilu [2]. Međutim, taj postotak je znatno veći, jer se pri očevidu nakon prometne nesreće ne mogu do kraja odrediti pojedini parametri vozila kao uzročnika prometne nesreće. Uzima se u obzir samo jasno izražen kvar, primjerice nekog dijela, potpuno otkazivanje uređaja za kočenje i sl. Neispravnosti kakve su nedovoljna efikasnost sustava za kočenje, nestabilnost vozila prilikom kočenja i sl. u velikoj mjeri utječu na sigurnost prometa [4].

Elementi vozila koji utječu na sigurnost prometa mogu se podijeliti na aktivne i pasivne. U aktivne elemente sigurnosti mogu se ubrojiti ona tehnička rješenja vozila čija je zadaća smanjiti mogućnost nastanka prometne nesreće, dok se u pasivne elemente mogu ubrojiti rješenja koja imaju zadaću, u slučaju nastanka prometne nesreće, ublažiti posljedice nesreće [4].

2.3. Cesta kao čimbenik sigurnosti cestovnog prometa

Cesta na sigurnost prometa ponajviše utječe tehničkim rješenjem ceste. Tehnički nedostaci ceste nastaju pri njenom projektiranju, gradnji i eksploataciji, dok utjecaj konstruktivnih elemenata dolazi do izražaja pri oblikovanju i utvrđivanju dimenzija i konstruktivnih obilježja ceste. Cestu kao čimbenika sigurnosti prometa obilježavaju [2]:

- a) Trasa ceste - trasom ceste određuje se smjer i visinski položaj ceste. Trasa ceste sastoji se od pravaca, zavoja i prijelaznih krivulja, a ti elementi trebaju biti izabrani tako da omogućuju sigurno kretanje vozila pri određenoj računskoj brzini. Trasa ceste treba biti homogena tj. omogućavati jednoličnu brzinu kretanja vozila. Duljine pravaca i zavoja treba međusobno uskladiti. Osim tehničke sigurnosti, potrebno je osigurati i psihološku sigurnost, koja ovisi o tome kako na vozača djeluje okolina i teren.
- b) Tehnički elementi ceste - nepropisna širina kolnika velika je opasnost za sigurnost prometa, naročito pri prolasku teretnih vozila. Na cestama za mješoviti promet biciklisti izazivaju velik broj prometnih nezgoda. Stoga je potrebno predvidjeti biciklističke staze u predjelima gdje je razvijen biciklistički promet. Rubni trakovi omogućuju bolje iskorištenje površine kolnika. Oni mogu korisno poslužiti za zaustavljanje vozila u slučaju kvara. Ako pak nije moguće izvesti rubne trakove, treba označiti rubne crte. Pomoću njih vozač dobiva pomoćno optičko sredstvo vođenja.
- c) Stanje kolnika - velik broj prometnih nesreća nastaje zbog smanjenog koeficijenta trenja između kotača i kolnika te zbog oštećenja gornje površine kolnika tj pojavom tzv. udarnih rupa. Dobrim prijanjanjem sprečava se klizanje vozila, bilo u uzdužnom ili poprečnom smjeru. Na smanjenje prijanjanja znatno utječu: mokar zastor, vodeni klin, onečišćen i blatan zastor, neravnine na zastoru i sl. Na koeficijent trenja između

kolnika i kotača veliku ulogu imaju pneumatici.

- d) Oprema ceste - dobrom opremom povećava se sigurnost vozača, što je posebno važno pri velikim brzinama i velikoj gustoći prometa. Prometnu opremu čine prometni znakovi, signalizacija i oprema ceste u koju se ubrajaju branici i polubranici, zaštitne odbojne ograde, ograde protiv zasljepljivanje, prometna zrcala, oznake za ručno upravljanje prometom, oprema za označavanje ruba kolnika, ublaživači udara i sl.
- e) Raskrižja - broj prometnih nezgoda na raskrižjima u gradu iznosi 40-50 % ukupnog broja nezgoda [2]. Zbog toga je potrebno rješavati raskrižja u dvije ili više razina. Ako to nije moguće, treba osigurati dobru preglednost i posebnu pažnju posvetiti regulaciji prometa. Posebna opasnost na križanjima su vozila koja skreću ulijevo, te ih pri reguliranju treba svakako posebno odvojiti.
- f) Utjecaj bočne zapreke - stalne ili povremene zapreke u blizini ruba kolnika nepovoljno utječu na sigurnost prometa tako da smanjuju preglednost u zavojima te mogu imati negativan psihički utjecaj na vozače jer se zbog osjećaja sužavanja ceste približavaju ili prelaze u suprotni trak.
- g) Održavanje ceste - pri redovitom održavanju, koje počinje u proljeće, izvode se svi potrebni popravci zastora, čišćenje odvodnih kanala, zamjena dotrajale signalizacije i uređuju se kosine zemljanog trupa. Investicijskim održavanjem uređuju se opasna mjesta, obnavlja se zastor, rekonstruiraju tehnički elementi ceste i sl.

2.4. Okolina kao čimbenik sigurnosti cestovnog prometa

Okolina kao čimbenik sigurnosti cestovnog prometa podrazumijeva podčimbenike promet na cesti i incidentni čimbenik. Promet na cesti obuhvaća organizaciju, upravljanje i kontrolu prometa. Čimbenici čovjek, vozilo i cesta podliježu određenim pravilnostima koje se mogu predvidjeti. Međutim, tim čimbenicima nisu obuhvaćene atmosferske prilike ili neki drugi elementi, npr. trag ulja na kolniku, nečistoća, divljač i sl. koji su zapreka sigurnom odvijanju prometa. Zbog toga je potrebno uvođenje još jednog čimbenika, tzv. Incidentnog čimbenika, čije se djelovanje pojavljuje na neočekivan i neustavan način. U atmosferske utjecaje koji djeluju na sigurnost prometa mogu se ubrojiti: kiša, poledica, snijeg, magla, vjetar i sl. [2].

3. KOLNIČKE KONSTRUKCIJE

U poprečnom se presjeku cesta sastoji od više zbijenih, međusobno povezanih slojeva materijala. Dakle, u konstruktivnom smislu, cesta se dijeli na gornji i donji ustroj. Donji ustroj ceste predstavlja izvedbu zemljanih radova (usjek, zasjek i nasip). Osim usjeka, zasjeka i nasipa, donji ustroj ceste podrazumijeva i mostove, vijadukte i tunele. Gornji ustroj ceste predstavlja konstrukciju kolnika.

Kolnička konstrukcija sastoji se od nosivoga sloja i cestovnoga zastora. Nosivi sloj je donji dio (podloga) kolničke konstrukcije, a načinjen je od kamenoga materijala. Donji sloj, osim nosivosti, ima i zadaću zaštite kolničke konstrukcije od zamrzavanja. Cestovni zastor je završni, gornji dio kolničke konstrukcije izravno izložen prometnom opterećenju i habanju. Njegova površina, stoga, treba biti zadovoljavajuće ravna, otporna na trošenje i vremenske utjecaje te pružati otpor klizanju. Tim zahtjevima danas udovoljavaju asfaltni i betonski zastori, a katkad se izvode i kameni zastori [1].

Zadaci koje bi kolnička konstrukcija trebala zadovoljiti su [5]:

- a) Treba prenijeti sva statička i dinamička prometna opterećenja na donji ustroj bez štetnih deformacija posteljice
- b) Završni sloj kolničke konstrukcije (zastora) mora biti ravan, vodonepropustan a površina zastora mora pod prometom ostati hrapava
- c) Zadržati traženu kvalitetu za predviđena opterećenja u planiranom razdoblju, bez trajnih deformacija i pukotina
- d) Geometrijski oblici gornje površine kolnika moraju osigurati i učinkovitu poprečnu i uzdužnu odvodnju vozne površine
- e) Materijal, boja i obrada gornje površine zastora moraju biti podesni za izradu što trajnije horizontalne signalizacije
- f) Otpornost na trošenje i atmosferske utjecaje
- g) Otpornost na djelovanje naftnih derivata i kemikalija

3.1. Sastav kolničke konstrukcije

U većini slučajeva kolnička se konstrukcija sastoji od tanjeg jednoslojnog ili dvoslojnog zastora i donjih i gornjih nosivih slojeva podloge od vezanog ili nevezanog kamenog materijala te posteljice. Na slici 4. su prikazani slojevi kolničke konstrukcije.



Slika 2. Sastav kolničke konstrukcije

Izvor: [5]

Završni slojevi gornjeg ustroja čine zastor. Zastor se izrađuje u dva ili više slojeva, od kojih je površinski sloj habajući, a donji slojevi vezni. Podloga (nosivi slojevi) prenosi statička i dinamička prometna opterećenja na donji ustroj odnosno temeljno tlo. S obzirom na to da se naprezanja po dubini smanjuju, donji nosivi sloj može biti izrađen i od materijala s blažim kriterijima s obzirom na kvalitetu i način ugradbe. Ako se donji nosivi sloj ugrađuje kao zaštitni sloj protiv smrzavanja naziva se tamponski sloj [5].

Prema konstruktivnim svojstvima kolničke konstrukcije se dijele na savitljive (fleksibilne) konstrukcije i krute konstrukcije [5]. Savitljive konstrukcije su svi asfaltni i katranski zastori izgrađeni na podlozi od nevezanog kamenog materijala. U gornjem nosivom sloju mogu se primijeniti i slojevi kamenog materijala s tamnim veznim sredstvima. U ovu grupu spadaju i svi zastori od raznih vrsta kocaka, ako nisu na betonskoj podlozi. Osobina fleksibilne kolničke konstrukcije je da može preuzeti vrlo mala vlačna naprezanja. Manje elastične i trajne deformacije donjeg ustroja ili pojedinih slojeva kolnička konstrukcija podnosi bez oštećenja. Krute konstrukcije su cement-betonski kolnici, odnosno svi ostali zastori izvedeni na podlozi od cement-betona. Ova vrsta zastora može preuzeti i ograničena vlačna naprezanja, a opterećenje se prenosi na mnogo veću površinu podloge odnosno posteljice.

Određivanje ukupne debljine kolničke konstrukcije, debljine i rasporeda pojedinih slojeva, te kriterija za ugradbu i kontrolu ugradbe, naziva se dimenzioniranje kolničke konstrukcije. U posljednje vrijeme razvilo se više empirijskih i teorijskih metoda za dimenzioniranje kolnika, koje su dopunjene kontrolnim ispitivanjima naprezanja u pojedinim slojevima, kao i ispitivanjem sigurnosti od smrzavanja.

3.2. Posteljica

Predstavlja temelj kolničke konstrukcije. U usjeku je od prirodnog tla, u nasipu se pravi od transportiranog materijala iz usjeka ili od drugih prerađenih materijala. Osnovne uloge posteljice su da omogući pravilnu izgradnju slojeva iznad nje, zaštititi trup puta do trenutka građenja narednih slojeva te da pruži ujednačenu nosivost i ravnost.

Neke od osnovnih osobina posteljice su nosivost, vlažnost tla te skupljanje i širenje. Posteljica mora izdržati opterećenje koje se prenosi preko slojeva kolničke konstrukcije.

Nosivost zavisi od stupnja zbijenosti posteljice, vlažnosti i vrste tla. Dobrom posteljicom se smatra ona koja može da podnese veliki broj ponavljanja opterećenja bez značajnih deformacija. Vlažnost utječe na nosivost posteljice, skupljanje i širenje. Na povećanje vlažnosti utječu različiti čimbenici kao što su drenaža, nivo podzemnih voda ili vodopropusnost kolnika uslijed oštećenja. Prekomjerno vlažna posteljica će se brže deformirati pod opterećenjem. Određena tla mogu biti osjetljiva na smrzavanje, a učestalo grijanje i hlađenje utječu na skupljanje i širenje materijala te mogu izazvati pojavu pukotina na kolničkoj konstrukciji. Na poboljšanje posteljice se može utjecati zamjenom lošijeg materijala kvalitetnijim, stabilizacijom posteljice te izgradnjom dodatnog sloja od nevezanog materijala.

3.3. Podloga cestovnog zastora

Podloga cestovnog zastora ili nosivi sloj je onaj dio učvršćenja na koji se polaže zastor. Svrha je podloge, da statičko i dinamičko djelovanje prometnog opterećenja prenese na zemljani trup i tako razdijeli, da ne bude prekoračena nosivost zemljanog trupa. Za trajnost zastora stabilnost podloge je od velikog značenja. Prema prometnom opterećenju, geomehaničkim značajkama tla, ekonomičnosti i raspoloživom građevnom materijalu odabire se vrsta i debljina podloge. Podloga se sastoji od donjeg i gornjeg nosivog sloja.

Vrste podloga su [6]:

- a) Podloge od lomljenog kamena
- b) Podloge od šljunka
- c) Podloge od valjanog drobljenca
- d) Podloge od uvibriranog drobljenca
- e) Podloge od drobljenog materijala postepene granulacije
- f) Podloge od šljunka obrađenog bitumenom
- g) Podloge od cementnog betona
- h) Podloge od stabiliziranog tla

Donji nosivi sloj podloge najčešće je od šljunka ili lomljenog kamena zbijen mehanički, bez veznog sredstva. Osim nosive uloge ovaj sloj služi i za prekid kapilarnog penjanja podzemne vode (tamponski sloj) te za odjeljivanje materijala gornjeg ustroja od tla (sloj čistoće).

Gornji nosivi sloj podloge se najčešće izrađuje od zrnatog kamenog materijala koji je stabiliziran cementom u debljini 15-30 cm [5]. Iznad njega slijedi sloj zrnatog kamenog materijala vezanog bitumenom (ugljkovodičnim vezivom) u debljini od 5-12 cm [5].

3.4. Cestovni zastori

Cestovni zastor je gornji završni dio kolničke konstrukcije. Zastor izravno preuzima opterećenje od prometa i prenosi ga na donje nosive slojeve konstrukcije (međuslojevi, podloga, tamponski sloj).

Na izbor vrste zastora utječu razne okolnosti [5]:

- a) trasa
- b) klimatske prilike
- c) vrsta tla

Sama trasa utječe na izbor sastava s obzirom na krivine, uzdužni profil i položaj ceste u terenu: oštre krivine i veći uzdužni nagib traže hrapav zastor, a takav je zastor potreban i ondje gdje se očekuje jače kočenje vozila (u usjecima, potezi kroz šumu, konveksno zaobljena niveleta s malim polumjerom zaobljenja, zaokretnice i dr.).

Klimatske prilike također utječu na izbor zastora. Tamni su zastori osjetljivi na vlagu i velike temperaturne promjene (kod visokih temperatura mogu postati plastični i promet ih oštećuje, a kod niskih temperatura mogu postati krti i pucaju). Tarac od kocaka (naročito sa zalivenim spojnica) najmanje je osjetljiv na klimatske prilike.

Vrsta tla na kojem je cesta položena ima utjecaj na zastor. Iako se traži da zemljani trup i podloga moraju biti nepopustljivi, može u zemljanom trupu doći do promjena, koje mogu izazvati promjene na podlozi i zastoru. Tamni, fleksibilni zastori slijede manje deformacije podloge i zemljanog trupa. Zastor od cementnog betona, koji je pogodan i za tlo manje nosivosti, jer povoljnije raspodjeljuje opterećenje, može kod promjena u zemljanom trupu dobiti pukotine ili može doći do promjene položaja ploča. Na izbor zastora utječu i okolnosti nastajanja šteta od smrzavanja (dubina smrzavanja, vrijednosti i trajanje niskih temperatura).

Izbor zastora ovisi o mogućnostima dobave pojedinih vrsta građevnih materijala, raspoloživoj mehanizaciji i sl. Najveći utjecaj na izbor zastora ima prometno opterećenje (količina, struktura, osovinski pritisci). S obzirom na težinu prometa kojem su namijenjeni zastori se dijele na one za vrlo težak, težak, srednji i laki promet [6].

Prema materijalu od kojih se izrađuju zastori se mogu podijeliti na sljedeći način [6]:

- a) Zastori od nevezanog kamenog agregata:
 - zastori od drobljenca
 - zastor od šljunka
- b) Zastori od taraca:
 - zastor od malih kocaka
 - zastor od velikih kocaka
 - poligonalni tarac (kaldrma)

- zastor od lomljenog kamena u betonu
- zastori od montažnih elemenata
- c) Cementni zastori:
 - zastor od cementnog betona
 - zastor od cementnog makadama
- d) Tamni zastori:
 - zastor od nabijenog asfalta
 - zastori od asfaltnih makadama
 - zastori od asfaltbetona
 - zastori od asfaltbetona za vrlo tanke slojeve
 - zastori od splitmastiksfalta
 - zastori od lijevanih asfalta
 - zastori od poroznog asfalta
 - tankoslojne asfaltne prevlake izrađene hladnim postupkom
 - površinske obrade

3.5. Cementni zastori

Prvi zastori od cementnog betona izrađeni su još u prošlom stoljeću (Engleska 1865, Njemačka 1891, USA 1894) [6]. Betonski zastor spada u krute zastore, na promjene temperature je razmjerno manje osjetljiv od asfaltnih zastora, pod prometom ostaje hrapav, a i kod vlažnog vremena površina mu nije glatka i klizava. Betonske kolničke konstrukcije sastoje se od betonske ploče (zastor) položene na podlogu. Ploča (zbog krutosti) prenosi opterećenja na veliku površinu, pa je opterećenje posteljice manje nego kod drugih kolničkih konstrukcija. Za ceste se pretežno primjenjuju klasični betonski kolnici, a pojedini elementi konstrukcije određuju se postupkom dimenzioniranja (debljina ploče, raspored razdjelnica, debljina podloge i dr.). Na dobro nosivim kamenim nasipima ploča može biti izvedena bez posebne podloge. Podloga može biti od nevezanog kamenog materijala ili kombinacija sloja nevezanog kamenog materijala s gornjim slojem vezanim bitumenom ili cementom [6].

Prednosti betonskih zastora prema ostalim materijalima od kojih se izrađuju kolnički zastori su višestruke [7]:

- a) Ekonomske
 - b) Ekološke
 - c) Društvene
- a) U ekonomske prednosti betonskih kolnika ubrajamo izdržljivost, rjeđe održavanje, manji operativni troškovi, predvidljive cijene i niži troškovi tijekom cijelog vremena održavanja.
 - b) Ekološke prednosti betonskih kolnika obuhvaćaju sljedeće čimbenike:
 - smanjen efekt toplinskog otoka

- smanjena potrošnja goriva
 - smanjen utjecaj na okoliš
 - čuvanje prirodnih resursa kroz recikliranje
- c) Društvene prednosti podrazumijevaju veću sigurnost, smanjenu buku, raznovrsnu primjenu i, koristeći raznolike boje i površinske obrade, bolju estetiku.

3.5.1. Zastor od cementbetona

Zastor od cementbetona mora imati postojan zemljani trup. Kod tla osjetljivog na smrzavanje mora imati zaštitni (tamponski) sloj. Izrađuje se na cijeloj širini kolnika jednake debljine, a debljina ovisi o nosivosti i postojanosti zemljanog trupa i podloge, prometnog opterećenja i kakvoće betona. Debljina ploča iznosi 16 - 20 cm [6]. Za ceste za motorna vozila debljina ploče je prosječno 20 cm (kod potpuno jednolikog i čvrstog tla) [6]. U nekim slučajevima (veza s objektima, visoki nasipi, prelazi iz usjeka u nasip i dr.) potrebno je povećati debljinu zastora (obično 25 cm), a za pješačke i biciklističke površine debljina ploče je 10 cm [6].

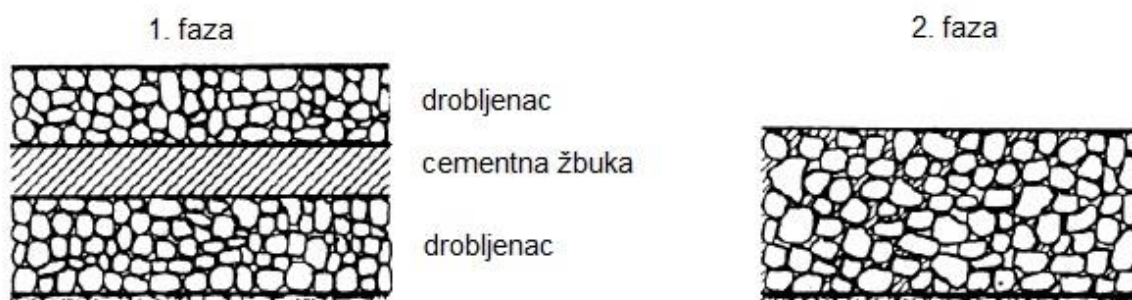
U pogledu načina izvedbe razlikuju se izvedba ploče na cijeloj debljini od iste vrste betona te izvedba u dva sloja tako da se na donjem sloju ploče odgovarajuće debljine izrađuje završni habajući sloj debljine 6 do 7 cm s visokokvalitetnim agregatom [6].

Sastavom materijala ili raznim dodacima se kod cementnog betona može postići željena boja, kako bi se razlikovao kolnik od rubnog traka, zaustavnog traka i sl. Za postizavanje povoljnijih svojstava betona kod ugradbe mogu se primijeniti i različiti dodaci kao npr. plastifikatori, aeranti, zguščivači [6].

Radi sprečavanja stvaranja pukotina uslijed prometnog opterećenja i temperaturnih promjena (uslijed kojih nastaje rastezanje i skupljanje ploča) betonski se kolnik dijeli uzdužnim i poprečnim razdjelnicama. Ako je širina betonskog kolnika veća od 7,5 m, kolnik se mora do te veličine podijeliti uzdužnim razdjelnicama [8]. Uobičajeno se izvode tri tipa razdjelnica prividne, pritisnute i prostorne. Razdjelnice se moraju izvesti na pravilnim razmacima, što ovisi o debljini ploče, čvrstoći betona, tipu agregata, klimatskim uvjetima [8].

3.5.2. Zastor od cementnog makadama

Zastor od cementnog makadama je zastor čiji je kameni kostur izgrađen na način makadama, tj. od drobljenca jednolikog zrna, a vezan je cementnom žbukom. Količina žbuke određuje se tako da nakon zbijanja sve šupljine budu ispunjene. Drobljenac i žbuka se nanose zasebno ili se drobljenac i žbuka miješaju u betonskim miješalicama i ugrađuju kao i beton. Na slici 5. vidljive su mogućnosti ugradnje cementnog makadama. Prva mogućnost je slaganje slojeva drobljenca, cementne žbuke i zatim ponovo drobljenca. Drugi način je da se drobljenac i žbuka međusobno miješaju u betonskim miješalicama te zatim ugrađuju kao i beton.



Slika 3. Cementni makadam

Izvor: [5]

Cementni makadam se ugrađuje na postojeći zastor od drobljenca ili na staru i novu podlogu od lomljenog kamena s izravnavajućim slojem od drobljenca. U prvoj fazi debljina podloga može biti od 14,5 cm do 20 cm. U drugoj fazi nakon zbijanja debljina podloge je od 10 cm do 12 cm [6]. Ovaj se zastor primjenjuje za manje opterećene ceste i pristupne ceste. Kod zastora od cementnog makadama preporučuje se izvedba prostornih razdjelnica na razmaku 10 do 15 metara [6].

3.6. Tamni zastori

Suvremeni, tzv. tamni zastori, najviše su u uporabi u modernoj cestogradnji. Izvode se po principu minimuma šupljina, pri čemu je kameni kostur sastavljen od točno odmjerenih količina sitnog kamena, pijeska i kamenog brašna. U mješavini treba biti što manji udio šupljina, čime se postiže manji utrošak asfalta kao veziva. Prema položaju i ulozi u kolničkoj konstrukciji, slojevi asfaltnog betona mogu biti krupnozrnati vezni i sitnozrnati habajući. Vezni sloj se koristi za težak i srednje težak promet, a za lakši promet je dostatan samo habajući zastor. U habajućem sloju za najteži promet, preporučuje se uporaba samo sitnog kamena, dok se za lakše opterećene ceste koriste i manje zahtjevni agregati [9].

4. VRSTE I KARAKTERISTIKE ASFALTNIH KOLNIKA

Asfaltnim kolnicima smatraju se oni kolnici koji se sastoje od kamenog agregata i ugljikovodičnog veznog sredstva. Proizvode se u asfaltnim bazama vrućim ili hladnim postupkom. Za suvremene zastore koriste se uglavnom, tzv. vruće mješavine [6]. Na slici 6. su prikazane faze rada i dijelovi asfalte baze koji se koriste pri proizvodnji asfalta.



Slika 4. Asfaltna baza

Izvor: [10]

U prvoj fazi pri proizvodnji asfalta vrši se predoziranje ili grubo doziranje frakcija kamene sitneži i pijeska. Taj postupak se obavlja u predozatorima tj. silosima s otvorima i mehanizmom za ispuštanje materijala na dnu (1). Silosi se pune utovarivačima, kamionima ili putem pokretnih traka. Nakon predoziranja potrebno je izvršiti sušenje i zagrijavanje kamene smjese. Sušenje i zagrijavanje se obavlja u bubnju (2) u kojem plamenik baca plamen po čitavoj dužini bubnja te zagrijava i suši agregat na temperaturu od 190°C. Nakon što se kamena smjesa osušila i zagrijala potrebno je izvršiti otprašivanje koje se obavlja pomoću filtera (separatora) te se tako izdvaja punilo i uklanjaju najsitnije čestice prašine iz agregata. Nakon izdvajanja punilo se sprema u silose (4). U sljedećoj fazi proizvodnje asfalta potrebno je pomoću uspravnog elevatora (5) transportirati agregat od bubnja za sušenje do sita. Pomoću sita (6) se dijeli kameni agregat po frakcijama pogodnim za doziranje te ih spremi u silose (7). Separirane frakcije iz vrućih silosa se važu i ispuštaju u miješalicu (9). U miješalicu se dodaje i kameno brašno (punilo), ali bez zagrijavanja. Nakon miješanja kamene sitneži i punila, dodaje se bitumen koji se zagrijava u rezervoarima (8) na temperaturu između 165°C i 190°C. Bitumen se miješa s agregatom dok se ne postigne potpuna obavijenost svih zrna. Po završetku

procesa gotova asfaltbetonska mješavina se skladišti u spremnike (10) ispod kojih dolaze kamioni za preuzimanje i transport asfalte mase do mjesta ugradnje. Prijevoz od mjesta proizvodnje do mjesta ugradnje ne smije trajati više od dva sata. Temperatura na mjestu ugradbe mora biti, zavisno od vrste bitumena, 130 °C do 170 °C [6].

Ugrađivanje asfaltnih mješavina vrši se isključivo na kvalitetne podloge koje se 2-3 sata prije asfaltiranja prskaju bitumenskom emulzijom. Temperatura na mjestu ugradnje mora biti između 120°C - 150 °C. Asfalt se treba ugrađivati pri toplom vremenu, nikako po kiši i vlazi. Rad se prekida kad temperatura padne na +5 °C [6].

Na slici 7. je prikazan završivač (finišer) pomoću kojeg se mješavine ugrađuju, a zbijaju se glatkim valjcima i valjcima na gumenim kotačima. Valjanje se vrši od rubova prema sredini, a tragovi valjanja se moraju preklapati 10-20 cm. Zbog brzine hlađenja razasrtog sloja treba nastojati da se ne valja na potezima duljim od 50 m [6].



Slika 5. Finišer gusjeničar

Izvor: [11]

Asfaltne kolničke konstrukcije moguće je izvesti u vidu tri karakteristične strukture, koje se jedna od druge razlikuju u nosivim slojevima.

S obzirom na vrstu upotrebljenog materijala, nosivi slojevi mogu biti izvedeni od [12]:

a) Nevezanog kamenog agregata



Slika 6. Nosivi sloj od nevezanog kamenog agregata

Izvor: [12].

b) Kamenog agregata stabiliziranog bitumenom ili cementom



Slika 7. Nosivi sloj stabiliziran vezivom

Izvor: [12]

c) Kamenog agregata stabiliziranog cementom ili bitumenom i nevezanog kamenog agregata



Slika 8. Nosivi sloj stabiliziran vezivom i nevezani nosivi sloj

Izvor: [12]

Vrste asfaltnih zastora su [6]:

- a) Zastor od nabijenog asfalta
- b) Zastori od asfaltnih makadama
- c) Zastori od asfaltbetona (AC)
- d) Zastori od asfaltbetona za vrlo tanke slojeve (BBTM)
- e) Zastori od splitmastiksfaltna (SMA)
- f) Zastori od lijevanog asfaltna (MA)
- g) Zastori od poroznog asfaltna (PA)
- h) Tankoslojne asfaltna prevlake izrađene hladnim postupkom (SS)
- i) Površinske obrade

4.1. Zastori od asfaltbetona (AC)

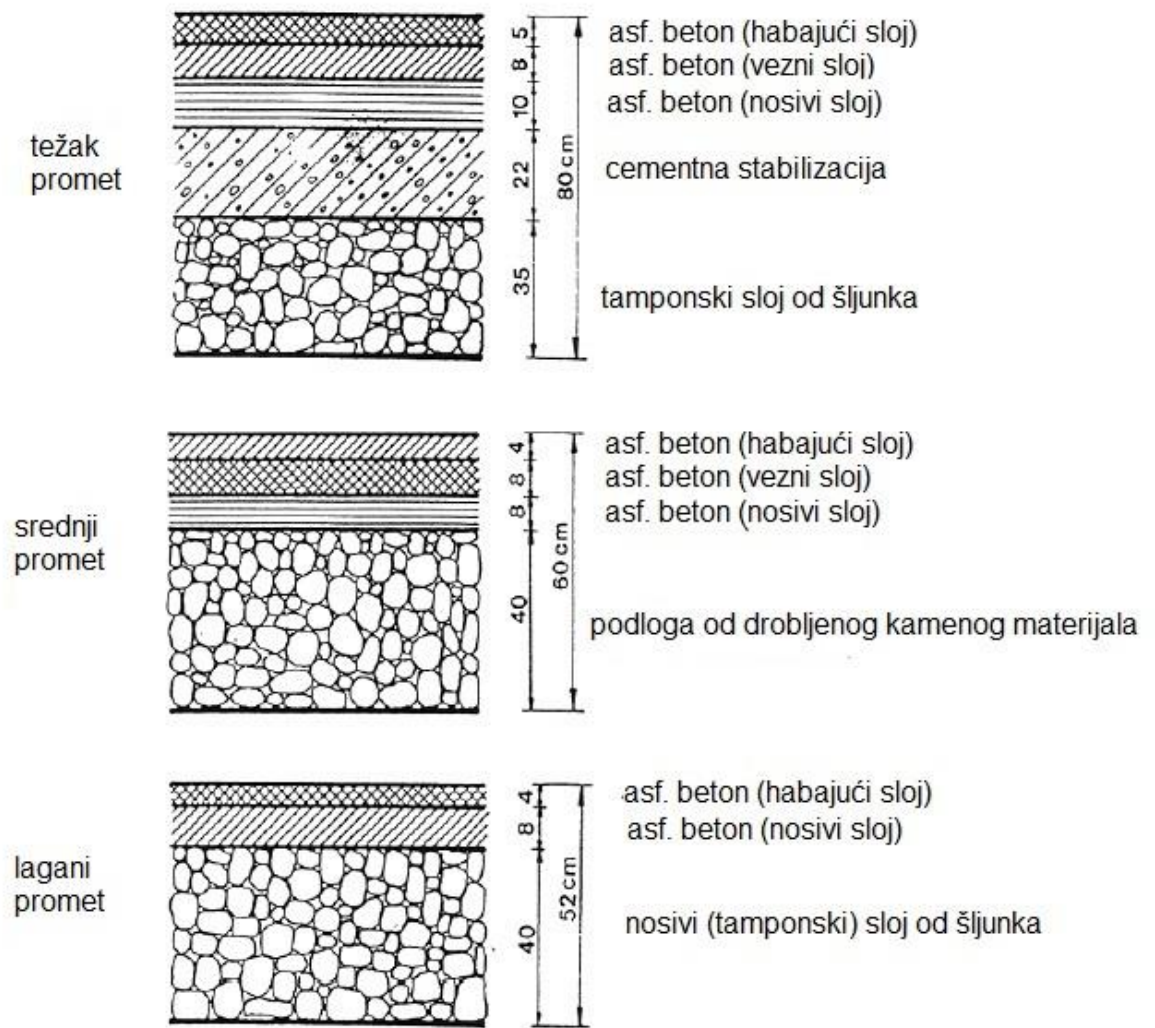
Kod izrade zastora na način makadama mineralni kostur se učvršćuje valjanjem i pod utjecajem prometa, a vezno sredstvo ima svrhu da obavije i poveže zrna agregata.

Asfaltbetoni izvode se po principu minimuma šupljina, tj. kameni kostur je smjesa agregata, tako da u mješavini ostane po mogućnosti što manji obujam šupljina (sastav kao kod cementnog betona). Kod ovih zastora mineralni kostur nije sam za sebe nosiv. Čvrsta veza postiže se veznim sredstvom, koje obavija i sljepljuje zrna te zastor tako postaje nosiv. Količina veznog sredstva ovisi o sastavu (veličini zrna) agregata i količini šupljina, pa se stoga za svaku kamenu mješavinu mora odrediti optimalan udio veznog sredstva i njegova sposobnost lijepljenja, tako da se kod zbivanja postigne što gušći položaj zrnja.

Zastori od asfaltbetona polažu se na nosive slojeve: stari uređeni zastor od drobljenca, novi zastor od drobljenca, stari taraci od kamena, stabilizirano tlo, betonska podloga ili drugi podložni slojevi. Asfaltbetoni danas se izrađuju u pravilu po vrućem postupku. Vezno sredstvo je cestograđevni ili polimerom modificirani bitumen. Količina veznog sredstva ovisi o položaju sloja u kolničkoj konstrukciji odnosno o maksimalnoj veličini zrna agregata u mješavini.

Bitumenske mješavine od asfaltbetona koriste se za izradu habajućih, veznih, nosivih, nosivo-habajućih, izravnavajućih i zaštitnih asfaltnih slojeva [6].

Na slici 11. prikazani su primjeri kolničkih konstrukcija sa zastorom od asfaltbetona za različita prometna opterećenja na srednje nosivom tlu.



Slika 9. Kolnička konstrukcija za različita prometna opterećenja na srednje nosivom tlu

Izvor: [6]

4.2. Zastori od asfaltbetona za vrlo tanke slojeve (BBTM)

Bitumenska mješavina od asfaltbetona za vrlo tanke slojeve (Beton Bitumineux Tres Mince - BBTM) je bitumenska mješavina u kojem su čestice agregata diskontinuiranog sastava, a primjenjuje se za izvedbu habajućih asfaltnih slojeva u debljini od 20 do 30 mm [6]. BBTM se dijele prema nazivnoj veličini zrna agregata (veličina maksimalnog zrna agregata izražena u mm) i tipu granulometrijske krivulje (A, B i C). Kao vezno sredstvo koristi se cestograđevni bitumen većih tvrdoća te polimerom modificirani bitumen. Propisani minimalni udio veznog sredstva je 5% [6].

4.3. Zastori od splitmastiksfalta (SMA)

Bitumenska mješavina od splitmastiksfalta (Stone Mastic Asphalt - SMA) je bitumenska mješavina u kojem su čestice agregata diskontinuiranog sastava. SMA se u pravilu koristi za izvedbu habajućih slojeva kolničkih konstrukcija autocesta i ostalih cesta namijenjenih teškom prometnom opterećenju i velikoj gustoći prometa, te za izvedbu zaštitnih slojeva hidroizolacije kolničkih ploča cestovnih objekata.

U bitumenske mješavine od SMA obvezno se dodaju dodaci za sprječavanje otjecanja bitumenskog veziva sa zrna agregata, a proizvođač bitumenske mješavine obvezan je navesti vrstu i količinu upotrijebljenog dodatka.

Kao vezno sredstvo koristi se cestograđevni bitumen većih tvrdoća te polimerom modificirani bitumen. Propisani minimalni udio veznog sredstva je 5% [6]. Maksimalna dopuštena temperatura mješavine u kojoj je primijenjen polimerom modificirani bitumen navodi proizvođač, a za mješavine u kojima je upotrijebljen cestograđevni bitumen iznosi od 180 °C do 195 °C ovisno o vrsti bitumena [6]. Ugrađivanje mješavina od splitmastiksfalta vrši se pri istim temperaturama kao i kod habajućih slojeva asfaltbetona. Izvedeni asfaltni sloj od splitmastiksfalta smije se pustiti pod promet najranije 12 sati nakon završetka izvedbe [6].

4.4. Zastori od lijevanog asfalta (MA)

Bitumenska mješavina od lijevanog asfalta – MA (Mastic Asphalt) je bitumenska mješavina koja se izrađuje po vrućem postupku lijevanjem. Lijevani asfalt koristi se za izvedbu habajućih slojeva kolnika i pješačkih staza, te za izvedbu zaštitnih slojeva hidroizolacije kolničkih ploča cestovnih objekata. U bitumenske mješavine od lijevanog asfalta obvezno se dodaju dodaci za snižavanje temperature bitumenske mješavine. Kao vezno sredstvo koristi se cestograđevni bitumen većih tvrdoća te polimerom modificirani bitumen. Mješavine od lijevanog asfalta mogu se ugrađivati ručno, a ne smiju se ugrađivati kada temperatura padne ispod + 5 °C za habajuće slojeve debljine veće od 30 cm i +10 °C za habajuće slojeve debljine manje od 30 cm [6].

4.5. Tankoslojne asfaltne prevlake izrađene hladnim postupkom (SS)

Tankoslojne asfaltne prevlake izrađene hladnim postupkom – SS (Slurry surfacing) koriste se pri izvedbi asfaltnih slojeva cesta i drugih prometnih površina. Prevlaku čini smjesa kamenog agregata, bitumenske emulzije, vode i dodataka, koji su zamiješani i ugrađeni na samom mjestu ugradnje. Za izradu tankoslojne asfaltne prevlake izrađene hladnim postupkom koriste se kationske bitumenske emulzije koje mogu biti modificirane polimerom. Udio vode u mješavini iznosi maksimalno 10 % [6]. Udio bitumena ovisi o tipu mješavine.

Tankoslojna asfaltna prevlaka izrađena hladnim postupkom izvodi se tako da se smjesa agregata propisanog granulometrijskog sastava pripravlja miješanjem frakcija u određenom omjeru prema početnom tipu ispitivanja. Nakon miješanja smjesa se odlaže, doprema do samohodnog stroja u kojem se miješa agregat s bitumenskom emulzijom i potrebnim dodacima.

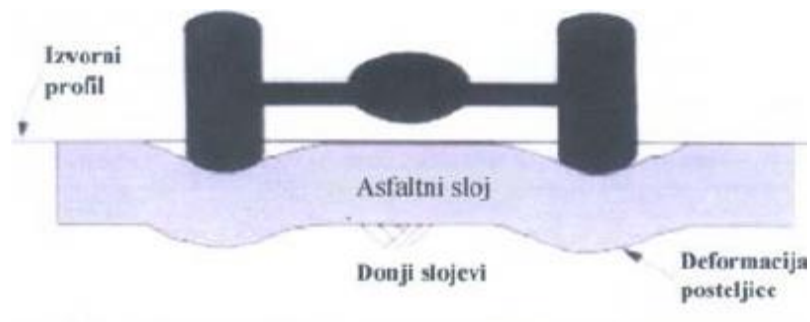
Podloga na koju se ugrađuje tankoslojna asfaltna prevlaka mora biti potpuno očišćena od nevezanih zrna kamenog agregata i zemlje. Nedostatke na postojećem kolniku potrebno je sanirati prije polaganja tankoslojne asfaltne prevlake. Površina na kojoj se izvodi tankoslojna asfaltna prevlaka može biti suha ili vlažna, ali ne i mokra. U slučaju izrazito suhog vremena i visoke temperature zraka i podloge, treba podlogu lagano navlažiti. Tankoslojna asfaltna prevlaka ugrađuje se razastiranjem pomoću odgovarajućeg stroja koji omogućuje dobivanje homogene mješavine ugrađene u tanku asfaltnu prevlaku utvrđene širine i visine, te homogenog izgleda površine. Tankoslojne asfaltne prevlake izvode se pri temperaturi zraka višoj od +10°C, s time da u idućih 24h nakon ugradnje temperatura zraka ne smije pasti ispod +5°C [6].

5. UTJECAJ KVALITETE ASFALTNIH KOLNIKA NA SIGURNOST CESTOVNOG PROMETA

Sastav i kvaliteta asfalta imaju veliku ulogu u povećanju stupnja sigurnosti cestovnog prometa. Velik broj prometnih nesreća nastaje zbog smanjenog koeficijenta trenja između kotača i kolnika te zbog oštećenja gornje površine kolnika. Dobrim prijanjanjem sprječava se klizanje vozila, bilo u uzdužnom ili poprečnom smjeru. Na smanjenje prijanjanja znatno utječu: mokar zastor, vodeni klin, onečišćen i blatan zastor, neravnine na zastoru i sl. Na sigurnost odvijanja prometa utječu i oštećenja kolnika (pukotine, rupe) koja nastaju zbog dotrajalog zastora, njegove slabe kvalitete, lošeg održavanja i posljedica zamrzavanja. Kod oštećenja kolnika većih od 15 % potrebno je čitav kolnik obnoviti, a kod oštećenja do 15 % treba ga popraviti [2]. Na sigurnost cestovnog prometa u velikoj mjeri utječu čimbenici kao što su pojava kolotruga, hvatljivost kolnika, oštećenja, ravnost kolnika, tekstura vozne površine i sl.

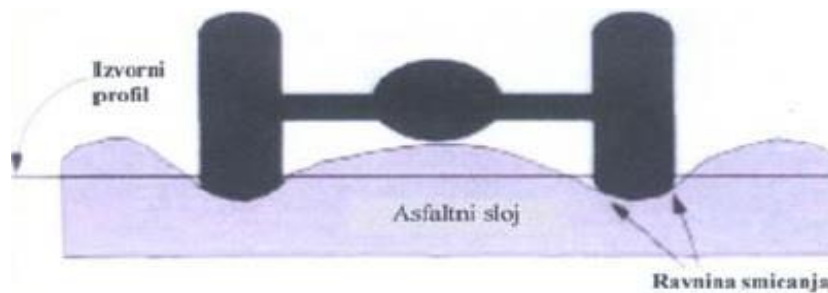
5.1. Kolotrazi

Kolotrazi su plastične deformacije površine kolnika koje se javljaju u tragovima kotača pod djelovanjem prometnog opterećenja. Njihova pojava utječe na smanjenje sigurnosti prometa, udobnosti vožnje i na trajnost kolničke konstrukcije. Pojavljuju se u relativno ranoj fazi uporabe na svim tipovima savitljivih kolničkih konstrukcija. Nastajanje kolotruga može biti posljedica naknadnog zbijanja (konsolidacija) kolničkog sloja uslijed prometnog opterećenja, mehaničke deformacije podloge ispod kolničke konstrukcije (slika 12.) i posmične deformacije unutar asfaltne mješavine (slika 13.) [13].



Slika 10. Kolotrazi nastali zbog deformacije slojeva ispod kolničke konstrukcije

Izvor: [13]



Slika 11. Izgled kolotraga nastalih zbog posmične deformacije

Izvor: [13]

Pojava kolotraga uslijed konsolidacije je uobičajena u ranoj fazi uporabe kolnika, no u tom je slučaju njihova dubina najčešće zanemarivo mala u odnosu na ukupnu debljinu kolnika. Međutim, kod asfaltnih slojeva veće debljine pojava kolotraga može biti vrlo izražena ako se proces konsolidacije nastavi i nakon što se po cesti počne odvijati promet. Prekomjerno opterećenje posteljice uslijed nedovoljne nosivosti slojeva kolničke konstrukcije kao i loše karakteristike materijala posteljice dovode do pojave kolotraga značajne dubine [13].

5.2. Hvatljivost kolnika

Hrapavost kolnika je jedna od najvažnijih karakteristika kvalitetnog kolnika koja uvelike utječe na sigurnost kretanja vozila po prometnim površinama. Za sigurniju vožnju, cestovni površinski sloj mora pružati dovoljnu vrijednost prijanjanja između kolnika i pneumatika kako bi se spriječilo klizanje, zanošenje vozila i okretanje kotača na mjestu. Hrapav kolnički zastor povoljniji je od glatkog zbog boljeg prijanjanja pneumatika, a time su i uvjeti kočenja bolji. Na koeficijent prijanjanja između pneumatika i kolnika ima utjecaj i vlažnost kolnika. Suhi kolnik omogućava bolje prijanjanje pneumatika od mokrog kolnika. U tablici 1. prikazat će se zavisnost između koeficijenta prijanjanja i prometnih nesreća [4].

Tablica 1. Zavisnost između koeficijenta prijanjanja na prometnici i prometnih nesreća

Koeficijent prijanjanja	Prometne nesreće koje nastaju zbog klizanja po čistom i mokrom zastoru
0,80	Nema prometnih nesreća
0,75 – 0,80	Nesreće su rijetke, a nastaju samo zbog greške vozača ili teže greške na vozilu
0,70 – 0,75	Češće nesreće zbog greške na vozilu (istrošeni pneumatiki) ili greške vozača
Manje od 0,70	Uzroci nesreće teško se mogu utvrditi

Izvor: [4]

Održavanje kolničke površine podrazumijeva i povećanje hrapavosti iste. Važno je voditi računa o hrapavosti kolnika i reagirati pravovremeno kada stanje kolničke površine ne zadovoljava standardima koji jamče sigurno odvijanje prometa. Postoji nekoliko tehnologija povećanja hrapavosti površine kolnika: glodanje, nagrizanje kiselinom, urezivanje žljebova i obnova površine (recikliranje). Povećanjem hrapavosti kolnika kao preduvjeta povećanju prijanjanja pneumatika na kolnik izravno se utječe na sigurnost na cestama jer se time povećava koeficijent trenja između podloge i pneumatika i skraćuje zaustavni put pri kočenju [14].

5.3. Oštećenja

Male pukotine u cestovnom zastoru same po sebi ne predstavljaju velik problem budući da svojom pojavom ne ugrožavaju sigurnost prometa te na udobnost utječu u manjoj mjeri. Ipak, male pukotine su loša pojava jer kao posljedicu donose stvaranje većih rupa koje predstavljaju opasnost po sudionike u prometu. S prodiranjem vode u asfaltnu površinu dolazi do erodiranja asfalta, odnosno nastajanja rupa u kolniku.

Nastajanje rupa se odvija tako da se voda probija kroz površinski sloj asfalta, zamrzava se i širi, te se ispod asfaltne površine stvaraju zračni jastuci. Na mjestima gdje se ispod površine stvore zračni jastuci asfalt nabubri, a prelaskom velikog broja vozila preko takvih mjesta dolazi do pucanja asfalta i stvaranja rupa. Na slici 14. prikazano je kako izgleda vozna površina na kojoj je izražena pojava pukotina, od kojih nastaju udarne rupe koje su potencijalna opasnost za sigurnost cestovnog prometa.



Slika 12. Pukotine na voznoj površini i udarna rupa

5.4. Ravnost kolnika

Ravnost je pokazatelj odstupanja izvedene vozne površine od „idealne“ projektom predviđene plohe, definirane uzdužnim i poprečnim nagibima te vertikalnim i horizontalnim zaobljenjima nivelete kolnika [15]. Uzdužna odstupanja profila kolnika uzrokuju vertikalne oscilacije vozila koje se direktno odražavaju na udobnost vožnje, stoga je utvrđivanje ravnosti vozne površine vrlo važan parametar za ocjenu i praćenje stanja služnosti kolnika javne ceste. Razina ravnosti vozne površine utječe na putnika sa stajališta njegova „komfora“, ali i na trajnost vozila, trajnost asfaltne kolničke konstrukcije ali i na samu sigurnost odvijanja cestovnog prometa. Stoga korisnici, bilo putnik, bilo vlasnik vozila, a i investitor cestovnih prometnica imaju zajednički zahtjev da izvedena vozna površina bude što bolje ravnosti. Na postizanje razine ravnosti izvedene vozne površine kolnika utječe podloga (donji nosivi slojevi kolnika), projektno rješenje kolničke konstrukcije i uvjeti izvođenja asfaltnog sloja [15].

6. METODE I UREĐAJI ZA MJERENJE KARAKTERISTIKA VOZNE POVRŠINE KOLNIKA

Karakteristike vozni površina kao što su hvatljivost i oštećenja vozne površine važne su za prometnice te značajno utječu na sigurnost prometa uz ostale projektne elemente koji prometnicu čine sigurnom i udobnom za vožnju. Problem nedovoljnog koeficijenta trenja odnosno otpora klizanju na prometnoj površini nerijetko je uzrok prometnih nesreća, najčešće u kombinaciji sa lošim uvjetima vožnje i nepravovremenom reakcijom vozača. Identifikacija segmenata prometnica na kojima je hvatljivost između prometne površine i pneumatika vozila smanjena neophodan je korak u procesu istraživanja uzroka smanjenja hvatljivosti [16].

Poboljšanje hvatljivosti moguće je utvrditi mjerenjem otpora klizanju. Mjerenje otpora klizanja se na jednostavan način može izvršiti pomoću posebno dizajniranih mjernih uređaja.

6.1. SARSYS Volvo friction tester-SVFT

Mjerenje trenja sa SVFT vozilom je jedan od najnaprednijih sustava na tržištu. Primarno je razvijen za mjerenje trenja na uzletno - sletnim stazama u zračnim lukama, ali se može koristiti i na cestama. Sustav za mjerenje se sastoji od mjernog kotača koji je mehanički usmjeren na jedan od stražnjih kotača automobila. Kada se kreće kolnikom mjerni kotač ne može slobodno slijediti površinu staze nego se kotrlja s određenim fiksnim omjerom klizanja.

Trenje na površini kolnika u kombinaciji s vertikalnim opterećenjem na mjernom kotaču prenosi sile na mehanizam s mjernim kotačem. Ove sile se kontinuirano mjere sustavom elektroničkih senzora. Signali iz senzora obrađuju se u računalnom sustavu smještenom u SVFT-u, a koeficijent trenja ili „klizni broj“ te odnos između horizontalnih i vertikalnih sila koje djeluju na mjerni kotač kontinuirano se izračunavaju i predstavljaju na računalu s Windows operativnim sustavom.

Cijeli sustav za mjerenje smješten je unutar automobila kojem nisu promijenjene vozne karakteristike. Podaci o mjerenjima dostupni su kontroloru prometa u zračnoj luci samo nekoliko minuta nakon početka mjerenja. Brzina primanja dobivenih podataka može se povećati korištenjem modema koji rezultate mjerenja šalju direktno na povezano računalo. Rezultat se može prikazati na zaslonu grafom u boji ili može biti isprintan. Mjerni rezultati se mogu prenositi i izravno na prijemnik radio veze. SVFT je programiran za mjerenja koja su u skladu s propisima međunarodnih institucija koje reguliraju zračni promet: ICAO („*International Civil Aviation Organization*“) i FAA („*Federal Aviation Administration*“).

Za mjerenja na mokrim uzletno - sletnim stazama, koja se vrše radi održavanja, SVFT dolazi s ugrađenim sustavom za vodu. Njegov spremnik za vodu ima kapacitet od 580 litara, što je dovoljno za 7 000 metara uzletno - sletne staze sa slojem vode od 1 mm [14]. Mjerni kotač može biti opremljen standardiziranom mjernom gumom kao što je za ovu vrstu mjerenja propisano od strane organizacija ICAO i FAA [14].

Na slici 15. prikazano je SARSYS Volvo friction tester (SVFT) vozilo s ugrađenim sustavom za mjerenje.



Slika 13. SARSYS Volvo friction tester (SVFT) vozilo

Izvor: [14]

Ovo se vozilo može iskoristiti za obavljanje prometne dijagnoze koja čini osnovu prometnog planiranja. Njegovom primjenom moguće je na jednostavan način ispitati hrapavost kolnika cjelokupne prometne mreže određenog obuhvata.

6.2. Skid Resistance Test (SRT)

Jedna od uobičajenih metoda utvrđivanja otpora klizanju je i korištenje uređaja pomoću klatna. Skid Resistance Tester (SRT) je statički uređaj za detekciju površinskih svojstava kolnika.

Uređaj djeluje na principu klatna, gdje mjerna ruka koja se otpušta sa okvira uređaja na slobodnom kraju ima gumeni klizač koji struganjem po površini kolnika detektira vrijednost „SRT- number“, kao što je prikazano na slici 15. Ova vrijednost predstavlja otpor klizanju koji se javlja prilikom struganja gumenog klizača po površini kolnika, odnosno simulira pojavu trenja između pneumatika vozila i površine kolnika pri malim brzinama, do 50 km/h.

SRT vrijednosti prikazane su na mjernoj skali uređaja i kreću se od 0 do 150, gdje manja SRT vrijednost označava i manju vrijednost otpora klizanju, odnosno manji ostvareni koeficijent trenja. Prema kriterijima za ocjenu hvatljivosti, rezultat vrijednosti iznad 65 predstavlja vrlo dobru hvatljivost u svim uvjetima, dok vrijednost na skali koja nakon očitavanja ne iznosi 45 predstavlja sklizak kolnik i potencijalnu opasnost za sudionike u prometu.

Testiranja ovim uređajem uobičajeno se provode u mokrim uvjetima budući da je u tim uvjetima otpor klizanja dodatno reduciran zbog vodenog filma na površini kolnika. Uređaj se koristi za laboratorijska i terenska ispitivanja [16].



Slika 14. SRT mjerni uređaj

Izvor: [17]

Osim statičkog SRT mjernog uređaja, za ispitivanja trenja kolnika koriste se i dinamički mjerni uređaji. Mobilni laboratorij „RoadSTAR“ bilježi sve parametre koji su važni za održavanje ceste pa tako je na vozilu montiran i sustav za mjerenje prianjanja na cesti. Sustav za mjerenje prianjanja na cesti dizajniran je na takav način da prikazuje uvjete automobila u slučaju zaustavljanja u nuždi. Tijekom ispitivanja prianjanja, debljina vodenog filma mora biti između 0,5 mm i 2 mm. Brzine mjerenja se mogu unaprijed odabrati, a mogu biti između 40 i 120 km/h. Austrijska standardna metoda za mjerenje prianjanja propisuje mjernu brzinu od 60 km/h i debljinu vodenog filma od 0,5 mm, kao i klizanje od 18% [18].



Slika 15. RoadSTAR mobilni laboratorij

Izvor: [18]

Mjerenje prljanja se vrši na traci desnog kotača. Mjerni uređaj daje koeficijente trenja na uzdužnoj udaljenosti od 10 cm. Ovisno o zahtjevima, mogu se kombinirati i veće duljine presjeka [18].

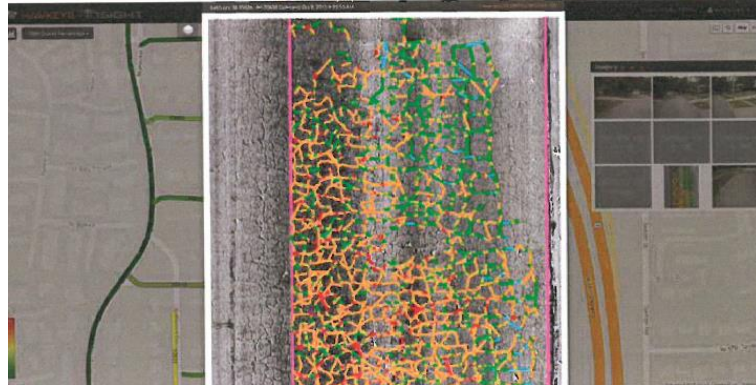
6.3. H2000 Automatic Crack Detection

Hawkeye 2000 Series je profesionalni raspon opreme dizajnirane za najzahtjevnija mjerenja. Hawkeye 2000 Series podrazumijeva raspon visokospecijaliziranih proizvoda za mjerenja i testiranja na cesti. Modularni dizajn sustava omogućuje potpunu nadogradivost sustava u slučaju budućih proširenja, a može biti instaliran na različita vozila budući da nema prevelikih zahtjeva za računalni hardver (opremu). Nakon što se utvrde zahtjevi korisnika, jednostavno se prilagodi Hawkeye 2000 Series prema utvrđenim zahtjevima [19].

Kao što se s Hawkeye 2000 opremom mogu mjeriti različiti parametri kao što su longitudinalni profil, transverzalni profil, IRI indeks, makrotekstura, kolotrazi i slično, također je predviđen i za detektiranje pukotina. Uređaj za detektiranje pukotina naziva se H2000 Automatic Crack Detection [19].

H2000 sustav za automatsko detektiranje pukotina omogućuje automatsko prepoznavanje pukotina te drugih obilježja ceste. ACD sustav sadrži dva visokoučinkovite laserske jedinice smještene na stražnjem kraju ispitnog vozila, vertikalno iznad kolnika. Jedinica projicira zraku lasera na kolnik, a slika se snima kamerom, što omogućuje mjerenje poprečnog profila kolnika rezolucije do 0,5 mm visine. ACD sustav je potpuno integriran u *Hawkeye* platformu što znači da su izlazni podaci precizni, linearno i prostorno, uz mjerenja s drugih senzora. Također postoji mogućnost analiziranja „mape pukotina“ (*crack maps*) korištenjem vlastitog softvera. Fleksibilnost *Hawkeye* softvera omogućuje izvještavanje o vrsti,

jačini te opsegu pukotina, ovisno o zahtjevima korisnika. Na slici 16. je prikazano kako izgleda profil ceste sa svim detektiranim pukotinama [19].



Slika 16. Prikaz pukotina na kolniku

Izvor: [19]

Neke od osnovnih značajki H2000 ACD sustava su mjerenje kolnika preko 4 metra širine, mjerenje brazda na kolniku, mogućnost rada i danju i noću bez utjecaja sjene, mala potrošnja energije, lagan i voodootporan sustav, mjerenja moguća na svim zatvorenim površinama, podaci povezani sa stacionažom i GPS koordinatama, funkcionalan pri većim brzinama radi smanjenja vremena mjerenja i troškova [19].



Slika 17. H2000 ACD uređaj za detektiranje pukotina

Izvor:[19]

H2000 ACD sustav se primjenjuje pri procjeni stanja kolnika, preciznoj procjeni kvalitete za izvođače radova. Primjenjuje se i za osnovna mjerenja te validaciju ugovora. Izlazni podaci koji se dobiju prilikom primjene H2000 ACD sustava su hrapavost, uzdužni i poprečni profil, stvaranje kolotruga, udaljenost, makrotekstura, GIS outputi i td.

7. METODE I UREĐAJI ZA MJERENJE TEKSTURE POVRŠINE I RAVNOSTI KOLNIKA

Teksturu kolnika čine neravnosti različitih dimenzija prema kojima se karakteriziraju različite razine teksture, od mikrostrukture do neravnosti koje mogu biti veličine i nekoliko desetaka centimetara [16]. Mikrotekstura predstavlja neravnosti na mikroskopskoj razini, odnosno neravnosti samih zrna agregata valne duljine do 0,5 mm, dok makrotekstura kolnika predstavlja teksturu samog kolnika i obuhvaća neravnosti valnih duljina od 0,5 mm do 50 mm, koje su vidljive ljudskom oku kao što je prikazano na slici 18.[16].



Slika 18. Prikaz mikro, makro i megastrukture vozne površine

Izvor: [16]

Tekstura izravno utječe na prionjivost pneumatika uz površinu kolnika, posebice u uvjetima mokrog kolnika kada negativno djeluje na otpornost na klizanje, smanjujući koeficijent trenja te time utječe na sigurnost korisnika ceste. Karakteristike teksture kolničke površine u zavisnosti su od kvalitativnih i kvantitativnih svojstava zrna agregata koji čini asfaltnu mješavinu, udjelu veziva i potencijalnih drugih aditiva u mješavini, načinu ugradnje te uvjetima korištenja.

Mikrotekstura je vrlo bitna da bi se postigla odgovarajuća otpornost na klizanje u svim uvjetima, bilo da je kolnik mokar ili suh. U uvjetima mokrog kolnika, voda onemogućava kontakt između mikrostrukture i gume. Posljedica toga je smanjenje otpornosti na klizanje i povećana opasnost za korisnike tih cesta. Vodeni film se brže formira u slučaju zaglađene površine zrna kamene sitneži. Pod djelovanjem prometa mikrotekstura će se trošiti, a to je najviše izraženo na dionicama ceste na kojima su veća opterećenja kolnika uslijed ubrzavanja, kočenja, manevriranja u krivinama i kretanja teških vozila [20].

Makrotekstura omogućuje otjecanje vode s površine dodirne površine pneumatika i kolnika te deformaciju guma i pojavu trenja. Također ima utjecaja na bučnost guma i prskanje vode - što je veća makrotekstura, veća je bučnost kolnika i manje je prskanje vode prilikom vožnje [20].

Megatekstura je karakteristika površine kolnika vezana uz oštećenja kolnika. Uslijed određene veličine megateksture može doći do vibriranja ili odvajanja pneumatika od površine kolnika. Upravo zbog toga, megatekstura je za razliku od mikroteksture i makroteksture koje su visoko poželjna svojstva, neželjeno svojstvo površine [20].

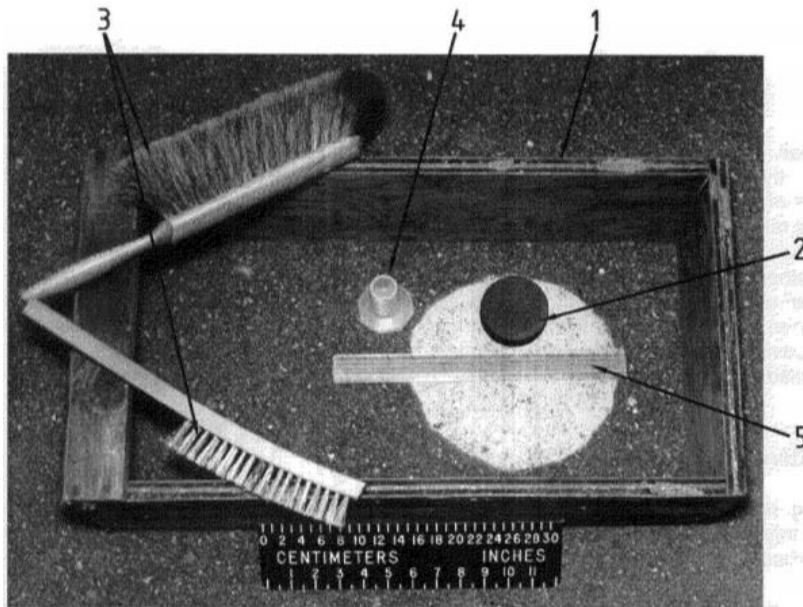
Mjerenje mikroteksture asfaltnih kolnika u praksi se vrši laboratorijskim ispitivanjima, stoga će u ovom dijelu rada detaljnije biti objašnjene metode i uređaji za mjerenje makroteksture površine kolnika.

Metode i uređaji za mjerenje makroteksture mogu se podijeliti na statička i dinamička mjerenja. Statička mjerenja služe za određivanje srednje dubine teksture (Mean Profile Depth-MPD), a ispitivanja se provode na određenim lokacijama ili kraćim odsječcima ceste, dok dinamička ispitivanja služe za mjerenje teksture duž čitave ceste pomoću vozila opremljenih laserima i elektroničkom opremom za registriranje i obradu podataka. Nedostatak svih statičkih metoda je taj da se prilikom mjerenja mora provesti posebna regulacija prometa, da bi se omogućio siguran i nesmetan rad osoba zaduženih za provedbu ispitivanja.

7.1. Metoda mjerenja dubine makroteksture površine kolnika volumetrijskim postupkom

Najčešće upotrebljavana statička metoda mjerenja je upravo metoda pijeska ili volumetrijska metoda. Služi za određivanje prosječne dubine makroteksture površine kolnika nanošenjem materijala poznatog volumena i naknadnim mjerenjem ukupno pokrivenog područja.

Ova metoda je jeftina i ne zahtijeva složeno održavanje ili kalibraciju postupaka, ali je razina točnosti vrlo niska. Metoda je dizajnirana za prikaz makroteksture te se smatra neosjetljivom na mikroteksturu površine kolnika. Pogodna je za ispitivanje na terenu, a u kombinaciji s drugim testovima se može odrediti otpor klizanju i razina buke kolnika, a pri tome se treba paziti da se sva ta ispitivanja provode na istoj lokaciji. Uz materijal određenog volumena standardnu aparaturu koja se koristi prilikom ispitivanja čini: prenosivi zaštitni okvir koji štiti od vjetra (1), alat za širenje materijala (2), četke za čišćenje površine (3), cilindar poznatog volumena ispunjen pijeskom ili staklenim zrcima propisane granulometrije (4), ravnalo ili neki drugi instrument za mjerenje (5). Prikaz materijala i aparature prikazan je na slici 19. [20].



Slika 19. Aparatura za mjerenje dubine makroteksture kolnika volumetrijskim postupkom

Izvor: [20]

Kao ispitni materijal koriste se staklene kuglice određenog volumena. 90% mase tog materijala mora proći kroz sita veličine otvora 0,25 mm te se zadržati na situ veličine otvora 0,18 mm [19]. Cilindar koji se koristi može biti metalni ili plastični. Kao alat za širenje materijala koristi se ravan, čvrsti disk s gumenim podloškom. Promjer diska je 65 (+/- 1) mm, debljina gume je 2 (+/- 0,5) mm, a masa 305 (+/- 10) g [20]. Četke za čišćenje površine kolnika trebaju biti mekane, prenosivi zaštitni okvir mora biti dovoljne veličine kako bi zaštitio materijal koji je posipan po površini od vjetra i prolaska vozila, dok ravnalo treba biti minimalne duljine 500 mm [20].

Prije izvođenja ispitivanja potrebno je pregledati površinu kolnika na kojoj se provodi ispitivanje, na njoj ne smije biti pukotina niti spojeva. Površina mora biti suha i temeljito očišćena. Nakon što je površina očišćena na nju se polaže prenosivi zaštitni okvir, zatim se cilindar poznatog volumena ispunjuje suhim ispitnim materijalom sve do vrha te se odredi masa tog materijala. Nakon toga materijal poznatog volumena se posipa po suhoj i očišćenoj površini te se razastire uz pomoć čvrstog diska, tako da se dobije oblik kruga. Prilikom razastiranja materijal ispunjava sva udubljenja između vrhova kamene sitneži. Kada se sav materijal potroši na ispunjavanje udubina, izmjeri se i zabilježi promjer dobivene kružne površine pokrivena materijalom na najmanje četiri mjesta, otprilike jednake duljine, oko opsega uzorka. Izračuna se i zapiše srednja vrijednost od ta četiri promjera dobivena mjerenjem. Ispitivanje treba ponoviti barem četiri puta na nasumičnim razmacima na odabranoj ispitnoj površini. Aritmetička sredina dobivenih vrijednosti ta četiri ispitivanja se smatra prosječnom dubinom teksture površine (makroteksture) na ispitanoj površini kolnika. [20]. Na slici 20 je prikazan postupak određivanja dubine teksture volumetrijskim postupkom, odnosno metodom pijeska.

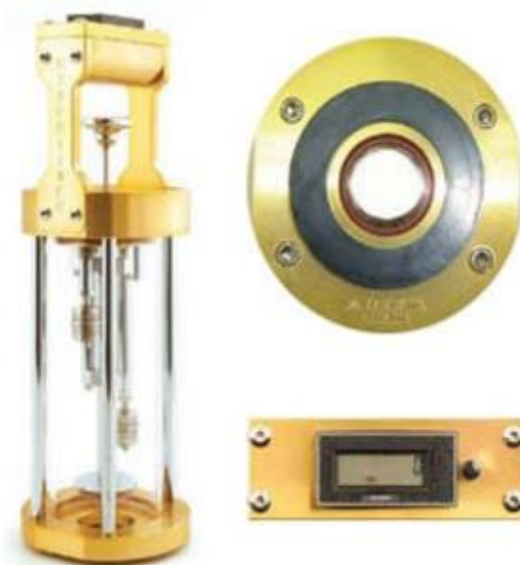


Slika 20. Određivanje dubine teksture pjeskarenjem

Izvor: [21]

7.2. Određivanje teksture pomoću uređaja na osnovi brzine istjecanja vode (Outflow Meter)

Ova statička metoda se temelji na utjecaju makrostrukture na brzinu otjecanja vode s površine kolnika kroz žljebove između zrna kamene sitneži. Uređaj koji je prikazan na slici 21 se sastoji od staklene cijevi promjera 6 cm i visine oko 40 cm, koja ima gornju i donju oznaku [21]. S donje strane cijevi nalazi se gumeni prsten. Cijev se postavlja na kolnik i napuni određenom količinom vode. Mjeri se vrijeme potrebno da se razina vode u cijevi spusti s gornje oznake na donju oznaku. Prema tom vremenu određuje se tekstura površine, pri čemu kraće vrijeme istjecanja znači krupniju teksturu površine [21].



Slika 21. Outflow Meter

Izvor: [22]

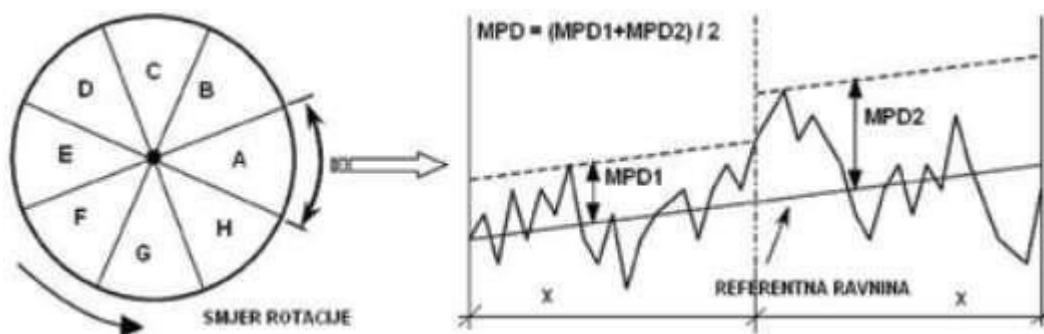
7.3. Određivanje teksture pomoću uređaja CTM (Circular Texture Meter)

Uređaj CTM, prikazan na slici 22, predstavlja statički uređaj za mjerenje teksture pomoću lasera. Laserski prijemnik pričvršćen je na donjoj strani uređaja za krak koji rotira po kružnoj putanji određenog radijusa. Vrijednosti visine profila registriraju se nakon jedne pune rotacije kraka uređaja. Uobičajeno trajanje mjerenja iznosi 40 sekundi [21]. Izmjereni profil dijeli se na osam jednakih segmenata te se svaki segment zasebno linearizira i određuje se referentna ravnina od koje će se vršiti daljnji proračun (slika 23). Svaki segment dijeli se na dva jednaka odsječka za koje se zatim određuju maksimalne vrijednosti MPD-a (MPD1 i MPD2). MPD pojedinog segmenta određuje se kao aritmetička sredina tih maksimalnih vrijednosti. MPD mjenog profila određuje se kao srednja vrijednost MPD-a svih segmenata [21].



Slika 22. Circular Texture Meter

Izvor: [23]



Slika 23. Izračun Mean Profile Depth

Izvor: [21]

7.4. Mjerenje ravnosti površine kolnika

Vozna površina kolnika svake ceste mora biti projektirana i izgrađena tako da osigura udobno i sigurno kretanje cestovnih vozila projektiranim brzinama u projektnom razdoblju eksploatacije. Za osiguranje stabilnosti vozila i sigurnosti vožnje, zahtjevi koji se postavljaju na parametre vozne površine ceste u usjecima odnosno nasipima ne razlikuju se niti na građevinama cestovne infrastrukture (mostovi/vijadukti, tuneli). Jedan od relevantnih parametara koji izravno utječe na takve zahtjeve jest ravnost vozne površine kolnika. Ravnost kolnika, osim na udobnost i sigurnost prometa, utječe i na trajnost kolničke konstrukcije i samih vozila, što u konačnici negativno utječe i na okoliš (povećanje buke i zagađivanje zraka) [24].

Vozna površina uvijek sadržava manja ili veća visinska odstupanja u odnosu na projektiranu površinu, tako da na kolniku postoje manje ili više izraženi valovi i u uzdužnom i u poprečnom smjeru. Tako neravna vozna površina negativno utječe na udobnost i sigurnost korisnika, vozilo ali i na kolničku konstrukciju zbog udara i pritiska koji deformiraju cjelokupnu kolničku konstrukciju.

Neravnine se očituju u pojavi valova, a općenito gledajući valovi mogu biti mali (do 0,3 m) i veliki (preko 0,3 m). Veliki valovi se dijele na kratke (do 3 m), srednje (3 do 20 m) i duge (preko 20 m) [20]. Mali valovi izazivaju udare na vozilo, pa se stoga zovu i impulsni valovi. Veliki valovi izazivaju njihanje vozila, što je neugodno za putnike, a štetno djeluju i na vozilo, teret, pa i na kolnik. Vozeći se po valovitom kolniku pri većim brzinama može doći do odvajanja vozila od vozne površine. U takvom slučaju dolazi u pitanje i sigurnost vožnje. Istodobno udari vozila, kada ponovo dođe u dodir s kolnikom, povećavaju opterećenje na kolničku konstrukciju. To svakako ima za posljedicu kraću trajnost kolničke konstrukcije. Ta pojava doprinosi progresivnom propadanju kolničke konstrukcije kada je bitno smanjena i ravnost njene površine [9].

7.5. Mjerenje ravnosti kolnika pomoću letve

Mjerna letva je najjednostavniji uređaj za mjerenje ravnosti vozne površine kolnika, njome se može mjeriti ravnost i u uzdužnom i u poprečnom smjeru. Za mjerenje se koristi letva duljine 3000 (+/- 3) mm i širine 25 (+/- 1) mm. Ona mora biti dovoljno kruta kako ne bi dobila progib od vlastite mase. Mjerenje se sastoji u tome da se mjeri milimetarsko odstupanje plohe kolnika u odnosu na ravninu letve koja se polaže duž mjernog profila. U praksi se taj način mjerenja ravnosti primjenjuje tijekom same ugradnje asfaltnog sloja radi trenutne provjere mogućih odstupanja buduće vozne površine. Najčešće se upotrebljava pri izradi radnih spojeva. Utvrđene vrijednosti su inicijalne i rijetko se njima koristi u svrhu ocjene ravnosti izvedene asfaltne kolničke konstrukcije. Na slici 24 prikazana je mjerna letva duljine 3 metra [22].

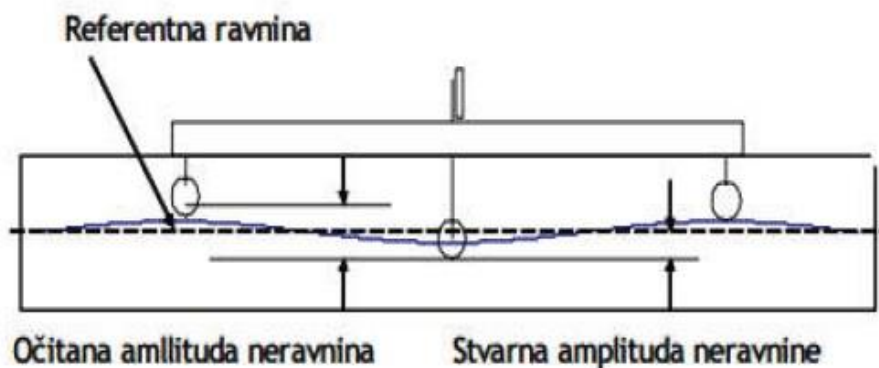


Slika 24. Mjerna letva

Izvor: [25]

7.6. Mjerenje ravnosti površine kotrljajućom gredom (HI-LO detektor)

HI-LO detektor je greda duljine 4 metra oslonjena na svojim krajevima na kotače. U sredini ima mjerni kotač koji se u zavisnosti od profila kolnika izdiže i spušta u odnosu na ravninu grede, pri čemu izravno pomiče mjernu skalu. Greda se gura po mjernom profilu, pri čemu se posebno zapisuju vrijednosti odstupanja u milimetrima. Mjerna letva prikazana na slici 26. registrira svaku neravninu tri puta - jednom kad preko nje prijeđe prvi kotač, drugi put pri prelasku mjernog kotača i treći put kod prelaska zadnjeg kotača.



Slika 25. Kotrljajuća greda

Izvor: [26]

7.7. Mjerenje ravnosti površine integratorom neravnina (Bump Integrator)

Ovaj uređaj se još često naziva i integrator neravnina, konstruiran je i najširu primjenu ima u SAD-u [21]. Sastoji se od jednoosovinske prikolice s mjernim kotačem i masivnim metalnim okvirom koji predstavlja referentnu ravninu. Mjeri se tako da se prikolica s mjernim kotačem vuče pomoću vozila po mjernom profilu kolnika. Brzina mjerenja je 30-50 km/h. Uređaj mjeri amplitude neravnina odnosno relativni pomak mjernog kotača u odnosu na okvir. Električni brojač registrira pomak od 2,54 cm kao jednu brojčanu jedinicu [20]. Izlazni rezultati

nakon mjerenja dani su u obliku grafičkog zapisa i brojčano. Brojčani rezultat dobiven mjerenjem „Bump integratorom“ koristi se za proračun indeksa ravnosti površine ceste (R), koji se dobiva iz odnosa vrijednosti integriranih pomaka kotača i prijeđenog razmaka, a izražava se u m/km. Uređaj nema mogućnost mjerenja geometrije profila već mjeri dinamičku reakciju vozila na neravnost površine kolnika, tako da nakon izvršenog mjerenja ne postoje podaci o amplitudama i duljinama neravnina (valova). Nedostatak ovog uređaja je neujednačenost njegovih mjernih elemenata (krutost opruga, viskoznost amortizera, odnos balastne mase i mase kotača s osovinom i ostalo) zbog čega se ne mogu uspoređivati dobiveni rezultati na globalnoj razini.



Slika 26. Bump integrator

Izvor: [27]

7.8. Mjerenje ravnosti hodajućim elektroničkim profilomjerom (Walking profiler)

Glavni dio uređaja čini metalna stopa duljine 241,3 mm [20]. Mjerenje se provodi naizmjeničnim polaganjem stope duž profila kolnika. Za svaki novi korak program računa novu referentnu visinu uvećanu za relativnu visinu prethodnog koraka. Relativna visina se računa iz nagiba stope (kuta) prema vertikali i poznate duljine mjerne stope. Dva su učestala tipa hodajućeg profilomjera: Walking Profile - ARRB i Digital Profilite - CSC [20].

Walking Profile (ARRB) je elektronički hodajući profilomjer s mogućnošću grafičkog prikaza rezultata mjerenja profila i izračunavanja vrijednosti indeksa ravnosti kolnika IRI. Tijekom mjerenja profilomjer je oslonjen na mjernu površinu preko dva pomoćna transportna kotačića koja guranjem operatera pokreću mjernu stopu. Mjerenju tim uređajem prethodi kalibracija s početne točke mjernog profila u duljini 20 metara te vraćanje na početnu poziciju, a brzina mjerenja je od 500 do 800 metara u jednom satu. Kao što je prikazano na slici 28. uređaj je povezan s prenosivim računalom ili baznom jedinicom, koji tijekom mjerenja memoriraju snimljene visinske vrijednosti svake mjerne točke, broj mjernih koraka i duljinu mjerne dionice. Računalni program automatski, služeći se standardiziranim matematičkim modelom četvrtine, polovine ili cijelog putničkog vozila, izračunava IRI. Trenutno je u Hrvatskoj

u uporabi desetak uređaja istog proizvođača (Australian Road Research Board) koji se razlikuju samo po načinu memoriranja rezultata mjerenja i softverskog programa, ali se radi o istom tipu [19]. Mjerni profil može se nalaziti u sredini vozne trake, a za bolju procjenu ravnosti provodi se mjerenje u svakom tragu kotača (0,75 metara od ruba kolnika) nakon čega se izračuna prosječna vrijednost IRI-a [20].



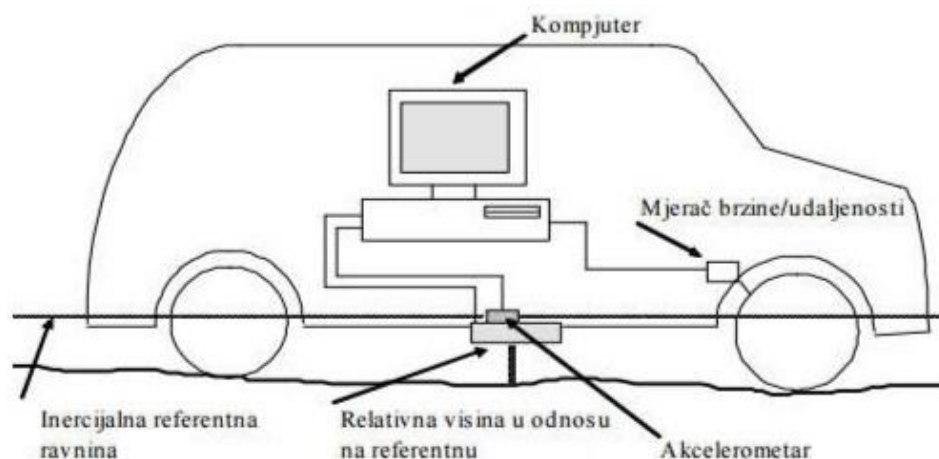
Slika 27. ARRB Walking Profiler

Izvor: [28]

Digital Profilite (CSC) je također hodajući digitalni profilomjer koji ima princip snimanja mjernog profila asfaltne površine isti kao i ARRB hodajući profilomjer. Podudarnost rezultata mjerenja profila dobivenih uređajem ARRB i CSC vrlo je visoka. Tip uređaja Digital Profilite CSC koristi se za mjerenje ravnosti voznih površina uglavnom na američkom kontinentu i može se smatrati prototipom Walking Profilera ARRB.

7.9. Mjerenje ravnosti inercijalnim (laserskim) profilomjerom

Uređaj koji je razvijen u SAD-u sa svrhom snimanja profila vozne površine kolnika pri normalnim brzinama putovanja. Na mjerno vozilo (terensko vozilo, osobni automobil ili kombi) ugrađuje se akcelerometar koji bilježi vertikalno ubrzanje vozila tijekom mjerenja pri operativnim brzinama vožnje. Iz podataka o ubrzanju vozila računalo proračunava vertikalne pomake vozila u odnosu na inercijalnu referentnu ravninu, odnosno definira trenutnu visinu akcelerometra smještenog u samom vozilu. Relativna visina je razmak između referentne ravnine i mjernog profila vozne površine kolničke konstrukcije direktno ispod samog akcelerometra. Taj razmak očitava se kontinuirano na unaprijed definiranom razmaku laserskim, optičkim ili ultrasoničnim senzorom, a podatak o uzdužnoj udaljenosti dobivamo direktno iz daljinomjera koji je pričvršćen na kotač mjernog vozila kao što je vidljivo na slici 29 [21].



Slika 28. Inercijalni profilomjer

Izvor: [26]

Vrijednosti mjernog uzdužnog profila dobivaju se računski iz razlike dviju očitanih relativnih visina na proizvoljno zadanom razmaku. Obično se taj razmak uzima 10 cm [21]. Duljina mjernog razmaka može biti između 25 mm i 25 cm u slučaju ako se koristi senzorima normalnih frekvencija od 16 kHz, a ako se koristi visokofrekvencijskim laserom od 62,5 kHz interval između dvije očitane točke vozne površine može biti između 0,5 i 2,5 mm [21].

7.9.1. Greenwood LaserProf

Uređaj se sastoji od daljinomjera, nosive letve (jednokrake ili dvokrake ovisno o broju mjernih lasera), centralne jedinice sa zadaćom memoriranja podataka koje prima s daljinomjera, lasera i akcelerometra, prenosivnog računala koje preuzima podatke iz centralne jedinice te računalnim programom automatski proračunava indeks ravnosti IRI. U svrhu utvrđivanja ravnosti jedne prometne trake, mjerenje se obavlja naizmjenično u uzdužnom smjeru oba traga kotača mjernog vozila. Brzina mjerenja se također kreće u rasponu od 30 km/h pa do 150 km/h, a to ovisi o parametrima prometnog toka ceste [21].



Slika 29. Greenwood LaserProf oprema

Izvor: [29]

7.9.2. Greenwood Profilograf

Ovi uređaji imaju tri i više mjernih laserskih jedinica te omogućuju istovremenim mjerenjem više uzdužnih profila utvrditi poprečni profil vozne površine, a paralelno se mjere dubine kolotruga. Mjerna greda je glavni dio uređaja na kojoj se može nalaziti i više desetaka lasera. Montira se na mjerno vozilo, najčešće je riječ o kombiju kao što je prikazano na slici 31. Mjerno vozilo može biti opremljeno GPS-om i videokamerom koja kontinuirano snima voznu površinu kolnika. U području oba kotača mjernog vozila mjerni su laseri na manjem razmaku radi točnijega utvrđivanja oblika poprečne deformacije u obliku kolotruga. Uređaj također može mijenjati međusobni razmak tih lasera duž osi mjerne grede. Svaki mjerni laser mjeri jedan uzdužni profil. Računalni program prema standardiziranom algoritmu proračunava po svakom uzdužnom profilu zaseban indeks ravnosti IRI, iz kojih se izračunava prosječni IRI mjerne vozne trake. Mjerna površina kolnika treba biti suha radi točnosti refleksije laserske zrake, a brzine mjerenja su identične operativnim brzinama prometovanja. [21].



Slika 30. Greenwood profilograf (HC d.o.o)

Izvor: [26]

8. ZAKLJUČAK

Funkcionalnost cestovnog prometnog sustava neophodna je za razvitak ljudske zajednice i gospodarstva svake države. Ključna prepreka u ostvarivanju cilja efikasnog prometa je nedostatak i nedovoljna kvaliteta prometne infrastrukture. Ulaganja u izgradnju nove prometne infrastrukture i održavanja dovoljne kvalitete postojeće infrastrukture ključni su preduvjeti kontinuiranog održivog razvoja. Cestovni promet ima mnoge prednosti prema ostalim modulima prijevoza kao što su pristupačnost, ekonomičnost za male i srednje udaljenosti, mogućnost prijevoza od vrata do vrata i td. Osim navedenih prednosti, cestovni promet mora u što većoj mjeri osigurati sigurnost svih sudionika u prometu.

Sve veći broj prometnih nesreća sa tragičnim posljedicama, odnosno ljudskim žrtvama, te velike materijalne štete, dio su negativnih posljedica koje znatno utječu na kvalitetu života, ali i na društveno-ekonomski razvoj ljudske zajednice. Osnovni čimbenici sigurnosti prometa su čovjek, vozilo, cesta i okolina. Cesta na sigurnost prometa ponajviše utječe tehničkim rješenjem ceste, a nedostaci ceste nastaju pri njenom projektiranju, gradnji i eksploataciji. Kolnička konstrukcija sastoji se od nosivoga sloja i cestovnoga zastora. Nosivi sloj je donji dio (podloga) kolničke konstrukcije, dok je cestovni zastor završni, gornji dio kolničke konstrukcije i izravno je izložen prometnom opterećenju i habanju. Njegova površina, stoga, treba biti zadovoljavajuće ravna, otporna na trošenje i vremenske utjecaje te pružati otpor klizanju. Danas se najčešće primjenjuju asfaltni kolnici.

Asfaltnim kolnicima smatraju se oni kolnici koji se sastoje od kamenog agregata i ugljikovodičnog veznog sredstva i proizvode se u asfaltnim bazama. Sastav i kvaliteta asfalta imaju veliku ulogu u povećanju stupnja sigurnosti cestovnog prometa. Glavni pokazatelji stanja vozne površine asfaltnih kolnika su njegova površinska svojstva, odnosno hvatljivost, tekstura, ravnost, bučnost površine kolnika, te oštećenja površine kolnika u koje se ubrajaju pukotine, deformacije površine, oštećenja teksture površine te oštećenja završnog sloja. Vrlo je bitno ispitivati navedena svojstva kako bi dobili informacije o eventualnim nepravilnostima na izvedenom habajućem sloju asfaltnih kolnika.

Postoje različite metode i uređaji kojima se ispitivanja provode. U svrhu ispitivanja hrapavosti u diplomskom radu su opisane dvije metode, SARSYS Volvo friction tester (SVFT) i Skid Resistance Test (SRT). Loša, ali česta pojava na cestama su pukotine koje je također potrebno detektirati i u što kraćem periodu ukloniti. Hawkeye 2000 Series oprema omogućuje detektiranje pukotina pomoću uređaja Automatic Crack Detection. Tekstura kolnika izravno utječe na prionjivost pneumatika uz površinu kolnika, posebice u uvjetima mokrog kolnika stoga je potrebno vršiti mjerenje teksture. Kvaliteta teksture asfalta može se mjeriti uz pomoć raznih uređaja i metoda, a u radu je opisano mjerenje dubine makroteksture volumetrijskim postupkom (metoda pijeska), mjerenje teksture pomoću uređaja Outflow Meter i Circular Texture Meter (CTM).

Osim hvatljivosti, teksture, oštećenja, za sigurnost cestovnog prometa je od velike važnosti i ravnost kolnika. Ravnost je pokazatelj odstupanja izvedene vozne površine od

„idealne“ projektom predviđene plohe, definirane uzdužnim i poprečnim nagibima te vertikalnim i horizontalnim zaobljenjima nivelete kolnika. Mjerenje ravnosti se može vršiti pomoću mnogo različitih uređaja i naprava, a u radu je opisano mjerenje ravnosti pomoću letve, mjerenje ravnosti HI-LO detektorom, Bump Integratorom, hodajućim profilomjerom (Walking profiler) i laserskim profilomjerom.

Iz svega navedenog može se zaključiti kako ispitivanje kvalitete kolničkih zastora omogućuje prikupljanje podataka vezanih uz kvalitetu kolnika na temelju kojih je moguće prioritizirati i optimizirati troškove održavanja te time pozitivno utjecati na stopu sigurnosti na cjelokupnoj cestovnoj mreži.

LITERATURA

1. <http://www.enciklopedija.hr/> (Ožujak, 2020.)
2. Luburić, G. Radni materijali za predavanje. Sigurnost cestovnog i gradskog prometa, 2010.
3. Zavod za prometnu signalizaciju: Radni materijali za predavanje. Vizualne informacije u prometu, 2020.
4. Cerovac, V.: Tehnika i sigurnost prometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.
5. Marina Cindori Kovačević, Ceste, Gornji i donji ustroj, 2013.
6. Željko Korlaet, Vesna Dragčević, Ceste, 2015.
7. <http://www.cemex.com>, Betonski kolnici, pametan odabir, 2015. (Ožujak, 2020.)
8. Institut IGH: Smjernice za kolničke konstrukcije izvedene uvaljanim betonom, 2015.
9. Babić, B., Projektiranje kolničkih konstrukcija, Zagreb, 1997.
10. Krnić, L. Utjecaj rada asfaltne baze na lokalnu zajednicu: percepcija i stvarnost, 2018.
11. <https://www.wirtgen-group.com/> (Ožujak, 2020.)
12. Fakultet za gradbeništvo in geodeziju, DDC Consulting & Engineering Ltd.: Smjernice za projektovanje puteva, Sarajevo/Banja luka, 2005.
13. A. Strineka, J. Putrić Brkić, D. Sekulić, Utjecaj sastava na deformabilnost asfalta, 2010.
14. M. Krajina, D. Hrvatin, A. Deluka-Tibljaš, Nova metoda ohrapljivanja površine kolnika
15. M. Šimun, T. Rukavina, Kriteriji uzdužne ravnosti vozne površine asfaltnih kolnika, 2009.
16. I.Pranjić, Preliminarna istraživanja svojstava hvatljivosti, 2015.
17. <https://www.fpz.unizg.hr/zps/ispitni-laboratorij/oprema/>, (Svibanj, 2020.)
18. <https://www.ait.ac.at/> (Kolovoz, 2020.)
19. <http://arrbgroup.net/> (Lipanj, 2020.)
20. L. Lekšan, Metode i uređaji za mjerenje vozne površine asfaltnih kolnika, 2017.
21. T. Rukavina, M. Ožbolt, Sustav gospodarenja kolnicima - prikupljanje podataka, Zagreb, rujan 2009.
22. <http://pavestech.com/our-equipment.php/> (Lipanj, 2020.)
23. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/> (Lipanj, 2020.)
24. M. Šimun, M. Sršen, Ravnost kolničkih zastora na građevinama cestovne infrastrukture, 2007.
25. <https://www.southitc.com/precision-machine-tools.html/> (Lipanj, 2020.)
26. M. Šimun, Predavanja iz kolegija Karakteristike završnog sloja kolnika, GFOS (2015. – 2016.)
27. www.semanticscholar.org/ (Lipanj, 2020.)
28. <http://arrbgroup.net/products/walking-profiler-g3/> (Lipanj, 2020.)
29. <https://greenwood.dk/road/laserprof/> (Lipanj, 2020.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Vennov dijagram.....	3
Slika 2. Sastav kolničke konstrukcije	7
Slika 3. Cementni makadam.....	12
Slika 4. Asfaltna baza	13
Slika 5. Finišer gusjeničar	14
Slika 6. Nosivi sloj od nevezanog kamenog agregata	15
Slika 7. Nosivi sloj stabiliziran vezivom	15
Slika 8. Nosivi sloj stabiliziran vezivom i nevezani nosivi sloj	15
Slika 9. Kolnička konstrukcija za različita prometna opterećenja na srednje nosivom tlu	17
Slika 10. Kolotrasi nastali zbog deformacije slojeva ispod kolničke konstrukcije.....	20
Slika 11. Izgled kolotruga nastalih zbog posmične deformacije	21
Slika 12. Pukotine na voznoj površini i udarna rupa	22
Slika 13. SARSYS Volvo friction tester (SVFT) vozilo	25
Slika 14. SRT mjerni uređaj	26
Slika 15. RoadSTAR mobilni laboratorij	27
Slika 16. Prikaz pukotina na kolniku	28
Slika 17. H2000 ACD uređaj za detektiranje pukotina	28
Slika 18. Prikaz mikro, makro i megastrukture vozne površine	29
Slika 19. Aparatura za mjerenje dubine makrotekture kolnika volumetrijskim postupkom ..	31
Slika 20. Određivanje dubine teksture pjeskarenjem	32
Slika 21. Outflow Meter	32
Slika 22. Circular Texture Meter.....	33
Slika 23. Izračun Mean Profile Depth	33
Slika 24. Mjerna letva	35
Slika 25. Kotrljajuća greda.....	35
Slika 26. Bump integrator	36
Slika 27. ARRB Walking Profiler.....	37
Slika 28. Inercijalni profilomjer	38
Slika 29. Greenwood LaserProf oprema	38

Slika 30. Greenwood profilograf (HC d.o.o).....39

POPIS TABLICA

Tablica 1. Zavisnost između koeficijenta prljanja na prometnici i prometnih nesreća21



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____
pod naslovom _____

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 24.8.2020 _____

(potpis)