

Primljen / Received: 24.11.2014.

Ispravljen / Corrected: 23.4.2015.

Prihvaćen / Accepted: 14.5.2015.

Dostupno online / Available online: 10.1.2016.

# Statistička odstupanja u analizama svojstava asfaltnih mješavina

## Autori:



Dr.sc. **Nataša Zavrtnik**, dipl.ing.građ.  
IGMAT d.d., Institut za građevne materijale  
Odjel za asfalte  
[natasa.zavrtnik@igmat.eu](mailto:natasa.zavrtnik@igmat.eu)



**Aleksander Ljubič**, dipl.ing.građ.  
IGMAT d.d., Institut za građevne materijale  
Odjel za asfalte  
[aleksander.ljubic@igmat.eu](mailto:aleksander.ljubic@igmat.eu)



Prof.dr.sc. **Goran Turk**, dipl.ing.građ.  
Sveučilište u Ljubljani  
Fakultet građevinarstva i geodezije  
[goran.turk@fgg.uni-lj.si](mailto:goran.turk@fgg.uni-lj.si)

Stručni rad

**Nataša Zavrtnik, Aleksander Ljubič, Goran Turk**

## Statistička odstupanja u analizama svojstava asfaltnih mješavina

Glavni je cilj ovog istraživanja pronaći metodu kojom se određuju statistička odstupanja u analizama svojstava asfaltnih mješavina AC 22, koja ne nastaju slučajno, već su uzrokovana vanjskim faktorima poput promjene normi, laboratorijske opreme ili osoblja. Proveden je proračun kako bi se odredila odstupanja koeficijentata korelacije u svojstvima asfaltnih mješavina raspoređenih u dvije skupine. Skupine se odnose na dva vremenska razmaka, a proračun je ponovljen nasumičnim odabirom podataka unutar dviju skupina, kako bi se odredila odstupanja unutar skupina.

### Ključne riječi:

analiza svojstava asfaltnih mješavina, srednja vrijednost, varijanca, koeficijent korelacije, p-vrijednost

Professional paper

**Nataša Zavrtnik, Aleksander Ljubič, Goran Turk**

## Statistical deviations in the analysis of asphalt mix properties

The main purpose of this research is to establish a method for identifying statistical deviations in the analysis of properties of the asphalt mix AC 22, which are not accidental, but are caused by external factors, such as the change of standards, laboratory equipment, or staff. The analysis was made to determine deviation of correlation coefficients for properties of asphalt mixes divided into two groups. The groups are related to two time intervals, and the computation was repeated by random selection of data within the two groups, so as to determine deviations within the groups.

### Key words:

analysis of asphalt mix properties, mean value, variance, correlation coefficient, p-value

Fachbericht

**Nataša Zavrtnik, Aleksander Ljubič, Goran Turk**

## Statistische Abweichungen bei der Analyse von Asphaltmischungen

Das Hauptziel dieser Untersuchung liegt in darin, eine Methode zur Ermittlung statistischer Abweichungen in der Analyse von Asphaltmischungen AC 22, die nicht zufällig entstehen, sondern durch äußere Faktoren wie Änderungen von Normen, Laborausstattung oder Personal bedingt sind, aufzustellen. Berechnungen wurden durchgeführt, um Abweichungen der Korrelationskoeffizienten bei Eigenschaften in zwei Gruppen eingeteilter Asphaltmischungen zu ermitteln. Die Gruppen beziehen sich auf zwei Zeitspannen und die Berechnungen wurden bei zufälliger Auswahl der Werte innerhalb der zwei Gruppen wiederholt, um die Abweichungen zu bestimmen.

### Schlüsselwörter:

Analyse der Eigenschaften von Asphaltmischungen, Mittelwert, Varianz, Korrelationskoeffizient, p-Wert

## 1. Uvod

Asfaltne mješavine u kolničkim konstrukcijama moraju biti otporne na pojavu trajnih deformacija i pukotina uzrokovanih vremenskim uvjetima i zamorom materijala. Asfaltne mješavine se sastoje od agregata, veziva i šupljina. Radi osiguranja traženih svojstava asfaltne sloja, posebnu pozornost treba usmjeriti na odabir materijala i njihov udio u asfaltnoj mješavini te na način njene ugradnje. Kontrola kvalitete asfaltnih mješavina i asfaltnih slojeva provodi se u skladu s europskim normama.

Ponašanje asfaltne sloja ovisi, između ostalog, i o kvaliteti agregata koji je izložen različitim mehaničkim i vremenskim utjecajima. Osnovna je uloga agregata u asfaltnoj mješavini prenositi opterećenje s površine kolničke konstrukcije na donje slojeve.

Bitumen u asfaltnoj mješavini ima funkciju veziva i ima velik utjecaj na ponašanje asfaltne mješavine. Bitumensko vezivo se sastoji od velikog broja sličnih organskih spojeva. O svojstvima bitumena ovisi brojne karakteristike asfaltnih mješavina, primjerice otpornost na trajne deformacije, zbijanje asfaltne sloja, masa i maksimalna gustoća mješavine itd. Glavna svojstva bitumenskog veziva koje je potrebno ispitati jesu: točka razmekšanja (PK), penetracija i gustoća veziva. Bitumenska veziva se dijele prema svojstvima, a uobičajena je podjela s obzirom na vrijednosti penetracije i točke razmekšanja.

Osim konvencionalnih bitumena, za kolničke konstrukcije upotrebljavaju se i polimerom modificirani bitumeni. Takvi bitumeni modificirani su elastomerima i plastomerima kako bi se poboljšala njihova svojstva (povećanje točke razmekšanja, smanjenje točke loma po *Fraassu*, povećanje otpornosti na trajne deformacije itd.) [1].

Tijekom proteklih godina evolucija u računalnoj tehnologiji i automatizacija mjerenja je omogućila prikupljanje velike količine podataka i njihove analize. Neke od njih se temelje na statističkim metodama poput simulacija i primjene različitih funkcija za analizu korelacije, srednje vrijednosti, varijance i vjerojatnosti. Chou i suradnici [2] predložili su simulacijske modele pomoću kojih se mogu izračunati troškovi projekta obnove cestovnog mosta. Primijenili su funkcije kumulativne distribucije kao podlogu za procjenu rizika u fazi definiranja projekta. Franz i suradnici [3] koristili su u području arhitekture različite virtualne simulacije i korelacijske analize kako bi proučili kvantitativne odnose između doživljaja arhitektonskog prostora i fizikalnih karakteristika. Mnogi su autori [4, 5] uspoređivali intervale pouzdanosti kako bi odredili razliku između srednjih vrijednosti u slučajevima kada distribucija nije u normalnom obliku, a varijacije su nepoznate. Monte Carlo metoda [6, 7] široko je primjenjivana u području simulacija kako bi se dobili numerički rezultati za ponovljeno slučajno uzorkovanje. Ozgan [8] je modelirao stabilnost po Marshallu asfaltnih mješavina mijenjajući temperaturu i vrijeme izlaganja zadanoj temperaturi. Pokazalo se da postoji dobra korelacija između rezultata eksperimenta te logičkih i statistički modela. To znači da se statistički i logički model mogu primijeniti za modeliranje

stabilnosti asfaltne mješavine kad se promijeni temperatura i vrijeme izlaganja na zadanoj temperaturi. Tušar i Novič [9] analizirali su korelaciju između različitih svojstava asfaltnih mješavina i stabilnosti po Marshallu. Androjić i suradnici [10] odredili su ovisnost varijable granulometrijskog sastava asfaltne mješavine te fizikalnih i mehaničkih svojstava uzoraka poput stabilnosti, krutosti, gustoće, udjela šupljina i udjela šupljina ispunjenih bitumenom. Tušar i Kalman [11] statistički su analizirali različita ispitivanja svojstava asfalta i veziva kako bi pronašli vezu između različitih fizikalnih svojstava asfalta i veziva s mehaničkim svojstvima asfaltnih mješavina.

U ovom se radu opisuje statistički model koji se može primijeniti da se otkriju odstupanja u ispitivanjima, te da se identificiraju pogreške ako postoje. Za statističku procjenu je upotrijebljen matematički računalni program. Težište je na identifikaciji odstupanja koja nastaju između mehaničkih i fizikalnih svojstava asfaltne mješavine, odnosno između stabilnosti i tečenja po Marshallu i drugih svojstava asfaltne mješavine.

Statističke veličine, poput srednje vrijednosti i varijance, opisuju glavne karakteristike uzoraka. Promjene u statistici obično upućuju na promjenu u populaciji. Koeficijent korelacije opisuje linearni odnos između parametara uzoraka. Promjene u koeficijentima korelacije ne upućuju na odstupanja u glavnim svojstvima, već na promjene u odnosu između parametara. Razlog tih promjena su često modificirane metode ispitivanja. Dakle, ako se koeficijent korelacije između dva perioda mijenja više nego što se očekuje prema slučajnim varijacijama, tada se može zaključiti da su se dogodila odstupanja u mjerenjima.

Razmatraju se dvije različite situacije između razlika u ispitivanju koje možemo očekivati:

- Ako podijelimo podatke asfaltne mješavine u dva perioda, od 1998. - 2005. i od 2006. - 2009., možemo zaključiti kako promjena propisa u 2005. godini utječe na rezultate ispitivanja i jesu li se promjene dogodile zbog slučajnih varijacija.
- Ako podijelimo podatke u dvije jednake skupine kao u spomenutom primjeru, možemo otkriti koji podaci značajno odstupaju i zašto je do tog odstupanja došlo.

## 2. Podaci za statističku analizu

Prikupljeni podaci o uzorcima asfaltnih mješavina AC 22 rezultat su ispitivanja u razdoblju od 1998. do 2009. na ljubljanskom institutu za građevine materijale, IGMAT d.d. [12]. Asfaltne mješavine su pripravljene s karbonatnim agregatom i bitumenskim vezivom B50/70.

Podaci koji se koriste u analizi su: točka razmekšanja (ispitivanje metodom prstena i kuglice), penetracija, indeks penetracije, viskoznost, raspodjela frakcija agregata, udio veziva, udio šupljina u mineralnom agregatu koje su ispunjene vezivom, udio šupljina u agregatu, maksimalna gustoća agregata, zapreminska težina asfalta, stabilnost, tečenje, Marshallov koeficijent, maksimalna gustoća asfalta i udio šupljina u asfaltnoj mješavini. U tablici 1. prikazane su prosječne vrijednosti i standardne devijacije svih podataka primijenjenih u ispitivanju.

Tablica 1. Prosječne vrijednosti i standardna devijacija ispitivanih podataka

Svojstvo	Prosječna vrijednost	Standardna devijacija
Točka razmekšanja [°C]	50,8	2,8
Penetracija [mm/10]	63,1	9,6
Viskoznost [Pas]	204,7	45,1
Indeks penetracije	-0,5	0,6
Udio veziva [%]	3,9	0,3
Sito otvora 0,09 mm [%]	6,7	0,6
Sito otvora 0,25 mm [%]	9,5	0,9
Sito otvora 0,71 mm [%]	15,5	1,2
Sito otvora 2 mm [%]	29,2	2,1
Sito otvora 4 mm [%]	41,2	2,6
Sito otvora 8 mm [%]	59,0	2,9
Sito otvora 11,2 mm [%]	70,3	2,8
Sito otvora 16 mm [%]	83,8	2,4
Sito otvora 22,4 mm [%]	97,9	1,4
Volumenska težina asfalta [kg/m <sup>3</sup> ]	2394	26,8
Maksimalna gustoća asfalta [kg/m <sup>3</sup> ]	2552	25,6
Udio šupljina [%]	6,2	0,7
Udio šupljina u mineralnom agregatu ispunjenih vezivom [%]	59,5	3,8
Udio šupljina u agregatu [%]	15,2	0,7
Maksimalna gustoća agregata [kg/m <sup>3</sup> ]	2715	36,5
Stabilnost [kN]	11,1	2,2
Tečenje [mm]	3,0	0,6
Marshallov koeficijent [kN/mm]	3,9	1,3

Tablica 2. P-vrijednosti za prosječne vrijednosti i različitosti za dva vremenska razmaka

Svojstvo	P-vrijednost za prosječne vrijednosti	P-vrijednost za varijance
Točka razmekšanja (PK)	< 0,0001	0,0003
Penetracija (PEN)	0,0006	0,0223
Viskoznost	0,0011	0,0520
Indeks penetracije (IP)	< 0,0001	< 0,0001
Udio veziva	< 0,0001	0,0007
Sito otvora 0,09 mm	< 0,0001	0,0048
Sito otvora 0,25 mm	< 0,0001	0,2113
Sito otvora 0,71 mm	< 0,0001	0,0220
Sito otvora 2 mm	< 0,0001	0,0608
Sito otvora 4 mm	< 0,0001	0,3509
Sito otvora 8 mm	< 0,0001	0,1162
Sito otvora 11,2 mm	0,0568	0,0551
Sito otvora 16 mm	0,0017	0,0035
Sito otvora 22,4 mm	< 0,0001	< 0,0001
Volumenska težina asfalta	0,0002	< 0,0001
Maksimalna gustoća asfalta	0,0080	< 0,0001
Udio šupljina	< 0,0001	0,0021
Udio šupljina u mineralnom agregatu ispunjenih vezivom	< 0,0001	0,0004
Udio šupljina u agregatu	0,0196	0,0249
Maksimalna gustoća agregata	0,4375	< 0,0001
Stabilnost	0,00002	0,0049
Tečenje	< 0,0001	< 0,0001
Marshallov koeficijent	< 0,0001	< 0,0001

U ispitivanju su korišteni samo podaci dobiveni tijekom istraživanja na ljubljankom Igmata institutu za građevne materijale u razdoblju 1998. - 2005. i 2006. - 2009. Podaci su podijeljeni u dvije skupine zbog uvođenja novih propisa u ispitivanjima 2006. godine.

### 3. Statistička analiza

Statistička analiza se temelji na usporedbi srednjih vrijednosti, varijanci i koeficijentata korelacije podataka. Podaci su podijeljeni u dvije skupine. Skupine se mogu odrediti prema dva vremenska razmaka u kojima su provedena mjerenja, ali i prema dvije skupine istraživača, laboratorijima itd. Kako bi se odredila odstupanja između koeficijentata korelacije i razlozi tih odstupanja, koeficijenti korelacije su izračunani za dva različita primjera:

1. kad su podaci podijeljeni u dvije skupine s obzirom na vremenski razmak,
2. kad su podaci podijeljeni u skupine nasumičnim odabirom iz skupina definiranih u prvom primjeru.

Prvi primjer je osnovni, odnosno onaj kojim se provjerava postoje li odstupanja s obzirom na različite vremenske razmake. U drugom primjeru se provjerava postoje li pogreške ispitivanja unutar skupina koje mogu rezultirati pojavom odstupanja koeficijenta korelacije unutar skupine.

#### 3.1. Korelacije i simulacije

Kovarijanca  $S_{XY}$  je statistička mjera za linearnu ovisnost dviju varijabli. Bezdimezionalni koeficijent koji opisuje linearnu ovisnost je koeficijent korelacije  $r_{XY}$ , a računa se prema formuli:

$$r_{XY} = \frac{S_{XY}}{S_X S_Y} \quad (1)$$

gdje je  $S_{XY}$  kovarijanca,  $S_X$  i  $S_Y$  su standardne devijacije varijabli X i Y na promatranom primjeru.

Budući da se traži utjecaj drugih svojstava na stabilnost i tečenje po Marshallu, težište je na korelaciji koja predstavlja utjecaj drugih svojstava na stabilnost i tečenje po Marshallu. Da bi se dobile kritične vrijednosti razlika u koeficijentima korelacije,

Tablica 3. Koeficijenti korelacije dvaju perioda i njihove razlike

Svojstva	Period 1998./2005.		Period 2006./2009.		Razlike u $r_{xy}$ između perioda	
	$r_{xy}$				stabilnost	tečenje
	stabilnost	tečenje	stabilnost	tečenje		
Točka razmekšanja (PK)	0,094	0,090	- 0,041	0,146	0,135*	0,056
Penetracija (PEN)	- 0,306	- 0,189	- 0,142	- 0,102	0,164*	0,087
Viskoznost	0,300	0,176	0,118	0,192	0,182*	0,016
Indeks penetracije (IP)	- 0,160	- 0,053	- 0,211	0,093	0,051	0,146*
Udio veziva	0,290	0,189	- 0,166	- 0,064	0,456*	0,253*
Sito otvora 0,09 mm	0,361	0,244	- 0,089	0,129	0,450*	0,116*
Sito otvora 0,25 mm	0,322	0,116	0,156	0,278	0,166*	0,162*
Sito otvora 0,71 mm	0,239	0,057	0,199	0,214	0,041	0,157
Sito otvora 2 mm	0,143	0,016	0,077	0,135	0,066	0,119*
Sito otvora 4 mm	0,196	0,048	0,055	0,105	0,141	0,057
Sito otvora 8 mm	0,109	- 0,024	- 0,014	0,118	0,124	0,142*
Sito otvora 11,2 mm	0,053	- 0,059	- 0,096	- 0,008	0,148	0,051
Sito otvora 16 mm	- 0,053	- 0,040	- 0,103	- 0,004	0,051	0,036
Sito otvora 22,4 mm	0,133	0,044	- 0,088	- 0,114	0,221*	0,158*
Volumenska težina asfalta	0,570	0,308	0,266	0,395	0,305*	0,087
Maksimalna gustoća asfalta	0,594	0,302	0,304	0,396	0,291*	0,095
Udio šupljina	- 0,020	- 0,033	0,046	- 0,018	0,066	0,015
Udio šupljina u mineralnom agregatu ispunjenih vezivom	0,185	0,128	- 0,089	0,038	0,275*	0,089
Udio šupljina u agregatu	0,323	0,174	- 0,085	- 0,018	0,407*	0,192*
Maksimalna gustoća agregata	0,634	0,335	0,255	0,403	0,379*	0,068

\*Devijacije su prevelike da bi bile slučajne

podaci su više puta nasumično raspoređeni u dvije skupine s obzirom na dva vremenska razmaka (1777 podataka u prvoj skupini i 416 podataka u drugoj skupini), a u svakoj simulaciji je izračunana matrica korelacije [13].

#### 4. Rezultati

Zabilježene su 2193 vrijednosti u razdoblju između 1998. i 2009. [12] za asfaltnu mješavinu AC 22. Dobiveni su rezultati za 22 svojstva u svakom mjerenju (točka razmekšanja, penetracija, viskoznost, indeks penetracije-IP, udio veziva, prolazak kroz sita otvora 0,09 mm, 0,25 mm, 0,71 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 11,2 mm, 16 mm i 22,4 mm, volumenska težina asfalta, maksimalna gustoća asfalta, udio šupljina, udio šupljina u mineralnom agregatu ispunjenih vezivom, udio šupljina u agregatu, maksimalna gustoća agregata).

##### Raspodjela podataka u dvije skupine

Ukupno su 2193 podatka raspoređena u dvije skupine [12]. Prva skupina sadrži 1777 podataka u razdoblju 1998. -2005., a druga skupina sadrži 416 podataka iz razdoblja 2006. - 2009. Najprije su uspoređene prosječne vrijednosti i različitosti između skupina, a onda su primijenjeni T-test i F-test. U tablici 2. može se vidjeti da su se podaci iz prvog razdoblja

promijenili u odnosu na podatke iz drugog razdoblja, budući da su dobivene male P-vrijednosti za gotovo sva svojstva (< 0,05). Jedino su kod ispitivanja prolaska kroz sito otvora 11,2 mm dobivene male razlike prosječne vrijednosti i varijance između promatranih skupina (P-vrijednost > 0,05). P-vrijednost je definirana kao vjerojatnost odbacivanja nulte hipoteze kad je ta hipoteza točna.

Tablica 3. prikazuje koeficijente korelacije između stabilnosti i tečenja po Marshallu i drugih svojstava asfaltne mješavine za obje skupine podataka te njihove razlike. Kritične vrijednosti odstupanja u koeficijentima korelacije između stabilnosti i tečenja te drugih svojstava asfaltnih mješavina prikazane su u tablici 4. Vrijednosti koje malo odstupaju od kritičnih vrijednosti rezultati su slučajnosti. Značajno veće razlike upućuju na to da je došlo do odstupanja u mjerenjima tijekom vremenskih razmaka. U tablici 3. su posebno označene sve razlike koeficijenata korelacije koje su premašile kritične vrijednosti iz tablice 4. To znači da je razlika u korelacijama statistički značajna s razinom značajnosti znatno ispod 0.05. Velika odstupanja se javljaju u: svojstvima bitumenskog veziva, udjelu veziva, prolasku kroz sita različitih otvora, nekim svojstvima asfaltne mješavine, šupljinama u agregatu i maksimalnoj gustoći agregata. U tom periodu promijenile su se norme za ispitivanje, odnosno zastarjeli JUS propisi su zamijenjeni europskim normama.

Tablica 4. Kritične vrijednosti odstupanja u koeficijentima korelacija nakon deset tisuća simulacija

Svojstvo	Vrijednosti odstupanja u $r_{xy}$	
	stabilnost	tečenje
Točka razmekšanja (PK)	0,101	0,096
Penetracija (PEN)	0,092	0,106
Viskoznost	0,120	0,113
Indeks penetracije (IP)	0,094	0,098
Udio veziva	0,142	0,114
Sito otvora 0,09 mm	0,118	0,105
Sito otvora 0,25 mm	0,121	0,103
Sito otvora 0,71 mm	0,132	0,103
Sito otvora 2 mm	0,152	0,109
Sito otvora 4 mm	0,150	0,114
Sito otvora 8 mm	0,167	0,128
Sito otvora 11,2 mm	0,170	0,121
Sito otvora 16 mm	0,154	0,125
Sito otvora 22,4 mm	0,130	0,103
Volumenska težina asfalta	0,109	0,117
Maksimalna gustoća asfaltna	0,113	0,140
Udio šupljina	0,139	0,128
Udio šupljina u mineralnom agregatu ispunjenih vezivom	0,125	0,114
Udio šupljina u agregatu	0,157	0,134
Maksimalna gustoća agregata	0,112	0,121
Stabilnost		
Tečenje		
Marshallov koeficijent		

Tablica 5. P-vrijednosti za prosječne vrijednosti i varijance podataka nasumično raspoređenih u dvije skupine

Svojstvo	Vrijednosti odstupanja u $r_{xy}$	
	stabilnost	tečenje
Točka razmekšanja (PK)	0,1264	0,1568
Penetracija (PEN)	0,4648	0,3301
Viskoznost	0,2785	0,0015
Indeks penetracije (IP)	0,1016	0,4885
Udio veziva	0,4745	0,2728
Sito otvora 0,09 mm	0,1264	0,4960
Sito otvora 0,25 mm	0,4648	0,1422
Sito otvora 0,71 mm	0,2785	0,034
Sito otvora 2 mm	0,1016	0,8421
Sito otvora 4 mm	0,4745	0,0567
Sito otvora 8 mm	0,167	0,0383
Sito otvora 11,2 mm	0,170	0,7571
Sito otvora 16 mm	0,154	0,0606
Sito otvora 22,4 mm	0,130	0,0204
Volumenska težina asfalta	0,3121	0,0007
Maksimalna gustoća asfaltna	0,2688	0,0023
Udio šupljina	0,0841	0,0144
Udio šupljina u mineralnom agregatu ispunjenih vezivom	0,1235	0,0817
Udio šupljina u agregatu	0,0967	0,0193
Maksimalna gustoća agregata	0,3160	0,0031
Stabilnost	0,3741	0,3268
Tečenje	0,1471	0,4897
Marshallov koeficijent	0,2944	0,3613

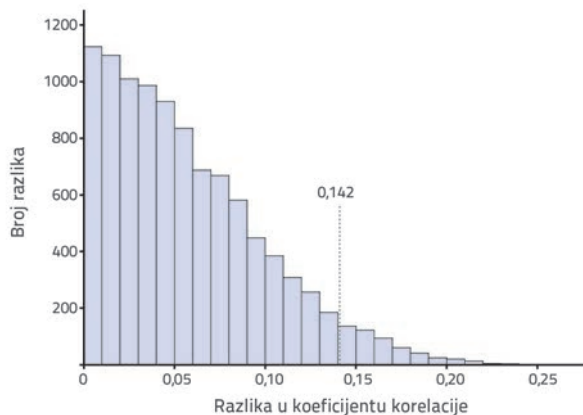
Prije uvođenja novih europskih normi SIST EN 12697-Part 1, 2, 5, 6, 8, 34, SIST EN 1426, SIST EN 1427, SIST EN 12596, SIST EN 12591 [14-24], dotadašnja su ispitivanja provedena prema uobičajenim metodama u skladu s propisima JUS U.M8.082, U.M8.090, JUS-a U.M8.092, U.M8.102, U.M8.105, B.H8.613, B.H8.612, B.H8.620 [25-32].

Najvažnije razlike između tadašnjih i novih propisa odnose se na: pripremu uzoraka za ispitivanje stabilnosti i tečenja po Marshallu, razlike u ispitivanju volumne težine i maksimalne gustoće asfalta te razlike u postupku određivanja udjela veziva. Nove norme SIST EN uključuju odredbe o prosijavanju kroz sito otvora 0,063 mm (prije toga je najmanji otvor sita iznosio 0,09 mm). Određivanje maksimalne gustoće asfaltnih mješavina prema JUS-u U.M8.082 zahtijeva dva paralelna ispitivanja u otapalu, a prema propisu iz Europske norme SIST EN 12697-5 provodi se samo jedno ispitivanje, koje može biti u vodi ili u otapalu. JUS U.M8.105 za određivanje udjela veziva odnosi

se na netopljivo vezivo, koje nije uključeno u normu SIST EN 12697. Za određivanje točke razmekšanja veziva prema SIST EN 1427 propisana je posebna miješalica i upotreba glicerina pri temperaturama točke razmekšanja većima od 80 °C.

Promjena postupka pripreme uzorka ima velik utjecaj na određivanje gustoće i stabilnosti asfaltnih mješavina. Europske norme za zbijanje uzoraka propisuju primjenu čeličnog čekića, a prije uvođenja tih normi koristio se drveni čekić.

Budući da ne postoji standardna distribucija za apsolutne razlike u koeficijentima korelacije, primijenjene su simulacije u kojima su podaci nasumično raspodijeljeni u dvije skupine (1777 podataka u prvoj skupini i 416 podataka u drugoj skupini) te su izračunana odstupanja u korelacijama. Simulacije su ponovljene deset tisuća puta, a kritične vrijednosti su određene rangiranjem. Tablica 4. prikazuje kritične vrijednosti odstupanja za razinu statističke značajnosti od 0,05.



Slika 1. Dijagram odstupanja u koeficijentima korelacije za udio veziva i stabilnost

Slika 1. prikazuje dijagram odstupanja u koeficijentima korelacije između udjela veziva i stabilnosti nakon desetstisuća nasumičnih simulacija. Može se vidjeti da je vjerojatnost prekoračenja kritične vrijednosti odstupanja koeficijenta korelacije (0,142) približno 0,05, što odgovara razini značajnosti. Budući da

stvarno odstupanje za ovaj parametar iznosi 0,456 i prelazi kritičnu vrijednost, treba odbaciti nultu hipotezu i zaključiti da je odstupanje koeficijenta korelacije statistički značajno s razinom značajnosti znatno ispod 0,05.

#### Nasumična raspodjela podataka u dvije skupine:

2193 podatka su nasumično podijeljena u dvije skupine s obzirom na dva vremenska razmaka (1777 podataka u prvoj skupini, 416 podataka u drugoj skupini). Najprije su razmotrena odstupanja u vrijednostima podataka u skupinama, poput srednje vrijednosti i varijanci za sva ispitana svojstva. Tablice 5. i 6. prikazuju samo jedan primjer ispitivanja u skupini s nasumičnom raspodjelom podataka. U svakoj simulaciji mijenjaju se P-vrijednosti za prosječne vrijednosti i varijance kao i za razlike koeficijenta korelacije. Te vrijednosti u obje tablice su samo ilustracija onoga što bi se moglo dogoditi.

Tijekom ponavljanja postupka, vrijednosti u tablici 5. su i dalje bile vrlo male, što je bio pokazatelj netočnog podatka u bazi. Takvi su podaci uklonjeni iz analize. U tom se slučaju pokazalo da su vrijednosti u tablici 5. veće od razine značajnosti 0,05.

Tablica 6. Koeficijenti korelacije za dvije skupine podataka slučajno raspoređenih i njihova odstupanja

Svojstva	Prva skupina podataka		Druga skupina podataka		Razlike u $r_{xy}$ između prve i druge skupine podataka	
	$r_{xy}$					
	stabilnost	tečenje	stabilnost	tečenje	stabilnost	tečenje
Točka razmekšanja (PK)	0,064	0,223	-0,016	0,178	0,080	0,046
Penetracija (PEN)	-0,287	-0,115	-0,266	-0,055	0,021	0,060
Viskoznost	0,291	0,121	0,195	0,091	0,097	0,031
Indeks penetracije (IP)	-0,174	0,184	-0,231	0,153	0,057	0,031
Udio veziva	0,180	0,223	0,150	0,227	0,030	0,003
Sito otvora 0,09 mm	0,261	0,260	0,304	0,308	0,043	0,049
Sito otvora 0,25 mm	0,276	0,216	0,271	0,227	0,004	0,011
Sito otvora 0,71 mm	0,204	0,203	0,225	0,162	0,021	0,041
Sito otvora 2 mm	0,104	0,137	0,159	0,131	0,055	0,006
Sito otvora 4 mm	0,146	0,164	0,180	0,093	0,034	0,071
Sito otvora 8 mm	0,048	0,096	0,172	0,120	0,124	0,024
Sito otvora 11,2 mm	-0,001	-0,031	0,120	0,032	0,121	0,063
Sito otvora 16 mm	-0,068	0,008	-0,063	0,019	0,005	0,011
Sito otvora 22,4 mm	0,129	-0,088	0,070	-0,158	0,059	0,070
Volumenska težina asfalta	0,470	0,340	0,480	0,334	0,011	0,007
Maksimalna gustoća asfalta	0,518	0,256	0,470	0,220	0,047	0,036
Udio šupljina	0,025	-0,131	-0,058	-0,161	0,083	0,030
Udio šupljina u mineralnom agregatu ispunjenih vezivom	0,101	0,204	0,142	0,220	0,040	0,016
Udio šupljina u agregatu	0,277	0,089	0,168	0,050	0,109	0,038
Maksimalna gustoća agregata	0,559	0,307	0,514	0,283	0,045	0,023

To znači da se prosječne vrijednosti i varijancije općenito statistički značajno ne razlikuju, što je bilo i očekivano. U nekoliko slučajeva p-vrijednost bila je manja od 0,05, ali to može biti slučajnost. Nakon što je nasumična raspodjela podataka ponovljena, p-vrijednosti su za neke parametre bile male.

Tablica 6. prikazuje koeficijente korelacije stabilnosti i tečenja po Marshallu i drugih svojstava asfaltnih mješavina za obje skupine podataka i njihova odstupanja. Očito je da razlike koeficijenata korelacije nisu statistički značajne jer im je razina značajnosti znatno ispod 0,05.

#### 4. Zaključak

Usporedba odstupanja koeficijenata korelacije simuliranih i stvarnih podataka koji su nasumično podijeljeni u dvije skupine za mješavinu AC 22 pokazala je da nema znatnih odstupanja između podataka. U slučajevima gdje su se odstupanja pojavila ona su mala i slučajna.

Usporedba odstupanja koeficijenata korelacije simuliranih i stvarnih podataka, koji su bili podijeljeni na dva perioda (1998.

- 2005. i 2006. - 2008.), pokazala je velika odstupanja. Takva odstupanja nisu slučajna, već su posljedica promjena propisa ili nekih drugih čimbenika koji mogu utjecati na podatke.

Metoda opisana u radu omogućava utvrđivanje odstupanja u podacima, koja nisu slučajna, nego su uzrokovana nekim vanjskim čimbenicima, poput promjene propisa. Opisanom metodom moguće je usporediti dva laboratorija ili podatke iz jednog laboratorija u različitom vremenskom razmaku kako bi se odredio utjecaj zamjene instrumenata, osoblja i slično.

Metoda se može primijeniti za različite vrste problema, gdje se želi istražiti utjecaj promjene uvjeta ispitivanja na različita svojstva asfaltnih mješavina. Statistička metoda je dovoljno jednostavna za široku primjenu jer se svodi na osnovni statistički proračun koji je moguće provesti u svim računalnim programima za upravljanje, prikupljanje i analizu podataka.

#### Zahvala

Ovo istraživanje je financijski pomogla Europska unija (Europski socijalni fond). Autori zahvaljuju na podršci.

#### LITERATURA

- [1] Gestrata: Asphalt Handbuch, Seventh edition, Wien, 2010.
- [2] Chou, J.S., Yang, I.T., Chong, W.K.: Probabilistic simulation for developing likelihood distribution of engineering project costs, *Automation in construction*, 18(2009) 5, pp. 570-577, <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2008.12.001>
- [3] Franz, G., von der Heyde, M., Bulthoff, H.H.: An empirical approach to the experience of architectural space in virtual reality-exploring relations between features and affective appraisals of rectangular indoor spaces, *Automation in construction*, 14(2005), pp. 165-172, <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2004.07.009>
- [4] Miao, W., Chiou, P.: Confidence intervals for the difference between two means, *Computational statistics & data analysis*, 52(2008) 4, pp. 2238-2248, <http://dx.doi.org/10.1016/j.csda.2007.07.017>
- [5] Chang, C.H., Pal, N.: Testing on the common mean of several normal distributions, *Computational statistics & data analysis*, 53(2008) 2, pp. 321-333, <http://dx.doi.org/10.1016/j.csda.2008.07.024>
- [6] Touran, A., Wiser, E.P.: Monte Carlo technique with correlated random variables, *J. Constr. Eng. Manage*, 118(1992) 2, pp. 258-272, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1992\)118:2\(258\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1992)118:2(258))
- [7] Wall, D.M.: Distributions and correlations in Monte Carlo simulation, *Construction management and economics*, 15(1997) 3, pp. 241-258, <http://dx.doi.org/10.1080/014461997372980>
- [8] Ozgan, E.: Fuzzy logic and statistical - based modelling of the Marshall stability of asphalt concrete under varying temperatures and exposure times, *Advances in engineering software*, 40(2009) 7, pp. 527-534, <http://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2008.10.005>
- [9] Tušar, M., Novič, M.: Data exploration on standard asphalt mix analyses, *Journal of chemometrics*, 23(2009) 6, pp. 283-293, <http://dx.doi.org/10.1002/cem.1229>
- [10] Androjić, I., Kaluđer, G., Kaluđer, F.: Influence of the grading on the thin-layer asphalt concrete properties, *GRAĐEVINAR 66* (2014) 2, pp. 139-145, doi: 10.14256/JCE.978.2013
- [11] Tušar, M., Kalman, B.: Investigation of the performance of conventional and polymer modified bitumen, Portorož, Slovenski kongres o cestah in prometu, pp. 1286-1293, 2010.
- [12] Igmata: Internal database of measurements of individual properties of asphalt mixtures for various clients in the period 1998 - 2009, Ljubljana.
- [13] Anderson, T.W.: An introduction to multivariate statistical analysis, Third edition, Wiley series in probability and statistics, 2003.
- [14] SIST EN 12697-1:2004 Bitumenske zmesi - Preskusne metode za vroče asfaltne zmesi - 1. del: Topni delež veziva.
- [15] SIST EN 12697-2:2004 Bitumenske zmesi - Preskusne metode za vroče asfaltne zmesi - 2. del: Ugotavljanje zrnavosti.
- [16] SIST EN 12697-5:2004 Bitumenske zmesi - Preskusne metode za vroče asfaltne zmesi - 5. del: Ugotavljanje največje gostote.
- [17] SIST EN 12697-6:2004 Bitumenske zmesi - Preskusne metode za vroče asfaltne zmesi - 6. del: Ugotavljanje prostorninske gostote bitumenskih preskušancev.
- [18] SIST EN 12697-8:2004 Bitumenske zmesi - Preskusne metode za vroče asfaltne zmesi - 8. del: Ugotavljanje značilnosti votlin v bitumenskih preskušancih.
- [19] SIST EN 12697-34:2004 Bitumenske zmesi - Preskusne metode za vroče asfaltne zmesi - 34. del: Preskus po Marshallu.
- [20] SIST EN 1426:2000 Bitumen in bitumenska veziva - Določanje penetracije z iglo.
- [21] SIST EN 1427:2000 Bitumen in bitumenska veziva - Določanje zmehčišča - Metoda prstana in kroglice.

- [22] SIST EN 12596:2000 Bitumen in bitumenska veziva - Določanje dinamične viskoznosti z metodo s kapilarnim vakuumom.
- [23] SIST EN 12594:2000 Bitumen in bitumenska veziva - Priprava preskusnih vzorcev.
- [24] SIST EN 12591:2004 Bitumen in bitumenska veziva - Specifikacije za cestogradbene bitumne.
- [25] JUS U.M8.082 (1967) Određivanje prividne zapreminske mase mineralnih I asfaltnih mešavina.
- [26] JUS U.M8.090 (1966) Ispitivanje po Maršalu.
- [27] JUS U.M8.092 (1966) Određivanje zapreminske mase uzoraka iz zastora i nosećih slojeva.
- [28] JUS U.M8.105 (1984) Ispitivanje udjela bitumena indirektnom metodom.
- [29] JUS B.H8.613 (1980) Određivanje tačke razmekšavanja po metodi prstena i kuglice (PK).
- [30] JUS B.H8.612 (1980) Određivanje penetracije.
- [31] JUS B.H8.620 (1980) Određivanje dinamičke viskoznosti.
- [32] JUS U.M8.102 (1982) Određivanje granulometrijskog sastava mineralne mješavine