

KAKO POISKATI RAZLOGE ZA SPREMENJENE STATISTIČNE LASTNOSTI MERITEV ASFALTNIH MEŠANIC

HOW TO FIND OUT THE REASONS FOR CHANGES IN STATISTICAL PROPERTIES OF PAVEMENT MIXTURES MEASUREMENTS

Nataša Šinkovec, univ. dipl. inž. grad.
Aleksander Ljubič, univ. dipl. inž. grad.
mag. Franci Kavčič, univ. dipl. inž. grad.

IGMAT, d.d., Ljubljana

prof. dr. Goran Turk, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Znanstveni članek

UDK: 311.1:624.011.9

Povzetek | Vzpostavili smo bazo podatkov za različne asfaltne zmesi, ki so bile preizkušene na Inštitutu za gradbene materiale IGMAT, d. d., v obdobju med letoma 1998 in 2009. V bazo je vključenih 17.296 meritev asfaltnih zmesi. Zaradi velike količine podatkov so v prispevku prikazani le rezultati za asfaltno zmes AC 22, čeprav je bila enaka analiza, kot je prikazana za to zmes, opravljena tudi za zmesi AC 11, AC 16 in AC 32.

Glavni cilj prispevka je opisati metodo, s katero lahko ugotovimo spremembe v statističnih lastnostih meritev, ki jih ne moremo pripisati naključju, temveč nekim zunanjim dejavnikom, na primer spremembi standarda, zamenjavi naprave, zamenjavi osebja. Za ta namen smo izračunali in analizirali razlike med korelacijskimi koeficienti dveh skupin meritev posamezne asfaltne zmesi. Najprej smo vse meritve razdelili na dve skupini glede na časovno obdobje, v katerem so bile izvedene meritve, in primerjali korelacije med tema dvema skupinama. Nato smo ponovili račun še za naključno razvrščene meritve, ki smo jih razdelili v dve enako veliki skupini. Pri tem nas je zanimalo, ali je razlika v korelacijskih koeficientih med dvema skupinama meritev pomembna. Za ta namen smo generirali slučajno porazdeljene meritve z enakimi statističnimi lastnostmi, s katerimi smo ugotovili okvirne meje, znotraj katerih so razlike korelacij še dopustne.

Summary | The database for various pavement mixtures, which were tested in building materials institute IGMAT d.d. for the period between 1998 to 2009, was made. The database consists of 17296 pavement mixture measurements. The analyses were done for the mixtures AC 11, AC 16, AC 22, and AC 32, however only the results of the mixture AC 22 are presented in the paper. The main aim of the paper is to establish the method for the estimation of the change of statistical properties of measurements that are not random but occur due to some other external factors, like the change of standards, machines or laboratory staff. The difference between the correlation coefficients between two groups of measurements of pavement mixtures have been calculated and analysed for this purpose. First, we have divided all measurements into two groups as for time period in which measurements were acquired and then we have compared correlation coefficients between these two groups. The computation was then repeated for random sorted measurements, which were divided into two equally large groups. We were interested if the difference between the correlation coefficients between two groups of measurements is significant. So we have generated random measurements with equal statistical characteristics. In this way, we have established the limits for difference between the correlation coefficients.

1 • UVOD

Asfalt je zmes kamnitih zrn, bitumna in zračnih votlin. Osnovni namen je doseči čim večjo odpornost proti trajnemu deformiranju, proti vremenskim pogojem in staranju. S predhodno izbiro ustreznih materialov in določitvijo njihovega deleža v asfaltni zmesi je treba zagotoviti ustrezne lastnosti zmesi, ki imajo vpliv na samo obnašanje asfalta. Poleg proizvodnje same zmesi je pomembno tudi vgrajevanje zmesi. Kontrola kakovosti oz. vrednotenje ustreznosti posamezne asfaltna zmesi in plasti se izvaja na osnovi evropskih standardov SIST EN.

Obnašanje vgrajene asfaltna zmesi je med drugim odvisno tudi od kakovosti kamnitih zrn, saj je ta v življenjski dobi asfaltnega cestišča izpostavljen različnim mehanskim in vremenskim vplivom. Osnovni namen kamnitih zrn je prenos obremenitve iz obrabne na nosilno oz. vezno plast voziščne konstrukcije. Bitumen v asfaltni zmesi nastopa kot vezni material in ima velik vpliv na obnašanje asfaltna zmesi. Tudi od njega je odvisnih mnogo lastnosti asfaltna zmesi: odpornost proti trajnemu deformiranju, zgoščenost plasti, prostorska in največja gostota zmesi itd. Karakteristike bitumna, ki jih moramo obvezno preveriti,

so: zmehčišče (PK), penetracija in gostota. Bitumen je sestavljen iz velikega števila podobnih organskih spojin. Običajno se jih deli na osnovi različnih lastnosti, od katerih sta najpomembnejši temperatura zmehčišča in penetracija. Poleg običajnih bitumnov se v cestogradnji veliko uporabljajo s polimeri modificirani bitumni, katerim so dodani elastomeri in plastomeri, ki izboljšajo lastnosti bitumna. Z njimi se lahko poveča zmehčišče, zniža pretrgališče po Fraassu, poveča se odpornost proti plastičnim deformacijam itd. (Žmavc, 2006).

V prispevku opisujemo statistične metode, s katerimi ugotavljamo, ali je prišlo do sprememb v meritvah in ali so v podatkih prisotni osamelci (angl. outlierji). Osredotočili smo se predvsem na ugotavljanje sprememb, ki se zgodijo v odnosu med stabilnostjo oz. tečenjem in preostalimi lastnostmi asfaltna zmesi. Statistike, kot so srednja vrednost in varianca, opisujejo osnovne lastnosti obravnavane populacije. Sprememba le-teh običajno kaže na spremembo v populaciji. Kovariance oziroma korelacijski koeficienti pa opisujejo linearno povezavo med posameznimi para-

metri populacije. Spremembe korelacijskih koeficientov ne kažejo na spremembo v osnovnih lastnostih populacije, temveč na spremembe v povezavah med parametri. Razlogi za te spremembe so najpogosteje spremenjeni načini meritev. Če torej ugotovimo, da so se korelacijski koeficienti v dveh časovnih obdobjih spremenili bolj, kot bi to lahko pričakovali zaradi naključnih odstopanj, moramo sklepati, da je v procesu meritev prišlo do sprememb. Statistična metoda je dovolj preprosta, da bi lahko bila pogosto uporabljena, saj uporablja le osnovne statistične izračune, ki jih omogočajo vsi računalniški programi, namenjeni urejanju, zbiranju in analiziranju podatkov.

Obravnavamo naslednje vprašanje: kolikšne razlike med preiskavami lahko pričakujemo zaradi slučaja ob predpostavki o normalni porazdelitvi lastnosti asfalta. Če podatke posamezne asfaltna zmesi razdelimo časovno na obdobje med letoma 1998 in 2005 in na obdobje od 2006 do 2009, ugotavljamo, kako je sprememba standardov v letu 2005 vplivala na rezultate preiskav oz. ali so razlike nastale povsem naključno. Če iste podatke naključno razporedimo v dve enaki skupini, ugotovimo, kateri podatek močno odstopa, in na podlagi tega lahko preverimo, zakaj je prišlo do odstopanja oz. ali so nastale razlike naključne.

2 • OBRAVNAVANI PODATKI

Zbrani podatki so rezultati preiskav vzorcev asfaltnih zmesi in asfaltnih plasti v časovnem obdobju od leta 1998 do leta 2009 na Inštitutu za gradbene materiale IGMAT, d. d. Podatki, pridobljeni s preizkusi, so: zmehčišče bitumna po postopku prstana in kroglice (PK), penetracija, pretrgališče po Fraassu, indeks penetracije (IP), viskoznost, duktilnost, elastični povratek, deleži posameznih frakcij kamnitega materiala, delež bitumna, stopnja zapolnjenosti votlin v bituminizirani zmesi, votline v kamnitem materialu, največja gostota kamnitega materiala, največja gostota asfalta, stabilnost, tečenje, Marshallov kvocient, prostorska gostota asfalta in vsebnost zračnih votlin. Prvih sedem podatkov predstavlja lastnosti bitumna, ki je uporabljen v asfaltni zmesi, drugi podatki pa se nanašajo na samo asfaltno plast oz. zmes. Na tem mestu je potrebno opozoriti na razliko v pomenu med besednima zvezama asfaltna zmes in asfaltna plast. Prva se nanaša na še nevgrajeno asfaltno zmes, druga pa označuje vgrajeno zmes.

Obravnavamo podatke, ki so pridobljeni iz preiskav med letoma 1998 in 2005 ter med letoma 2006 in 2009. Razlog za takšno delitev je v uveljavitvi novih standardov leta 2005. Poleg tega so podatki ločeni še glede na tip uporabljenega veziva, in sicer asfaltna zmesi z navadnim cestogradbenim bitumnom in asfaltna zmesi s polimeri modificiranim bitumnom. V nadaljevanju so na kratko opisane posamezne lastnosti, ki se običajno določajo pri vrednotenju ustreznosti posamezne asfaltna zmesi oz. plasti in so natančno določene v standardu SIST EN 12697.

Ker statistične analize pri večjih vzorcih dajo zanesljivejše rezultate, smo obravnavali zmesi AC 11, AC 16, AC 22 in AC 32.

2.1 Laboratorijski preskusi asfaltna zmesi

Preiskave bitumna

Zmehčišče bitumna po postopku prstana in kroglice (PK)

Segreti vzorec bitumna vlijemo v prstan, po določenem času odčitamo temperaturo, pri kateri je pod bremenom jeklene kroglice dosežena določena deformacija bitumna.

Penetracija

Vzorec bitumna vlijemo v posodico, ki jo najprej ohladimo in nato postavimo v vodo točno določene temperature. V nadaljevanju v vzorec bitumna potisnemo iglo točno določene velikosti in teže ter pod točno določenimi pogoji. Penetracija, ki je izražena v 1/10 mm, je definirana kot globina, pri kateri se igla ustavi.

Pretrgališče po Fraassu

V določeno tekočino (običajno alkohol in suhi led) položimo epruveto, v kateri je na tanki ploščici namazana tanka plast bitumna. To ploščico upogibamo toliko časa, dokler ne počni. Temperatura, pri kateri plast bitumna počni, je definirana kot pretrgališče po Fraassu.

Indeks penetracije (IP)

Indeks penetracije določa temperaturno občutljivost bitumna. Izračunamo ga iz vred-

nosti penetracije in temperature zmečkaišča po enačbi:

$$I_p = \frac{20t_{RaB} + 500I_gP - 1952}{t_{RaB} - 50I_gP + 120}, \quad (1)$$

kjer je:

t_{RaB} ... temperatura zmečkaišča,

I_gP ... naravni logaritem penetracije P pri temperaturi 25°C.

Viskoznost

Dinamična viskoznost je razmerje med strižno napetostjo in gradientom hitrosti. Njena enota je Pa·s. V prispevku se izraz viskoznost nanaša na dinamično viskoznost. Poleg omenjene ločimo še kinematično viskoznost, ki je definirana kot razmerje med dinamično viskoznostjo in gostoto tekočine pri temperaturi merjenja viskoznosti.

Duktilnost

Duktilnost je sposobnost deformiranja bitumna v neelastično območje. Izražena je kot dolžina, do katere se lahko točno določen vzorec bitumna pri točno določenih pogojih raztegne, ne da bi se pri tem pretrgal. Omenjeno lastnost določamo za navadne cestogradbene bitumne.

Elastični povratek

Elastično povratno deformacijo merimo na vzorcu polimernega bitumna. Merimo skrček predhodno raztegnjenega vzorca, potem ko le-tega na sredini prerežemo. Omenjeno lastnost določamo za bitumne, ki so modificirani s polimeri.

Preiskave bitumenskih zmesi

Delež bitumna

Vzorec asfaltne zmesi se vstavi v napravo za ekstrakcijo veziva, kjer s topilom ločimo vezivo od kamnitih delcev. Na ta način določimo delež bitumenskega veziva v asfaltni zmesi.

Sejalna analiza

Kamniti material presejemo in s sejalno analizo določimo deleže posameznih frakcij (razredov) kamnitega materiala v asfaltni zmesi (standard SIST EN 12697-2). Porazdelitev velikosti zrn kamnitega materiala je pomembna značilnost asfaltne zmesi, saj je med drugimi tudi od nje odvisna uporabnost posamezne zmesi. Posamezna frakcija zmesi kamnitih zrn je označena z nazivnima velikostma odprtih sit, tj. spodnjo in zgornjo mejno velikostjo kvadratnih odprtih na sitih. Na osnovi sejanja skozi sita, ki imajo ustrezne dimenzije odprtih,

se kamnita zrna razvrsti v osnovno frakcijo in vmesne frakcije. Osnovna frakcija se izbere glede na debelino asfaltne plasti in glede na prometno obremenitev.

Prostorska gostota asfalta, največja gostota asfalta, največja gostota kamnitega materiala Iz vzorca asfaltne zmesi izdelamo Marshallove preizkušance v postopku, kjer vzorce asfaltne zmesi postavimo pod standardizirano nabijalo in jih izpostavimo določenemu številu udarcev, ki jih predpisuje standard SIST EN 12697-30. Marshallove preizkušance najprej stehamo na suhem, nato jih položimo v vodo, kjer jih po določenem času ponovno stehamo. Sledi tehtanje mokrih preizkušancev na suhem in iz razlike mas določimo prostorsko gostoto (standard SIST EN 12697-6).

Največja gostota je definirana kot gostota asfaltne zmesi brez vsebnosti zračnih votlin. Postopek določitve največje gostote asfaltne zmesi je določen v standardu SIST EN 12697-5, kjer je postopek A namenjen določitvi največje gostote s piknometrom (prostorninski postopek). Na osnovi različnih mas (masa praznega piknometra, masa polnega piknometra skupaj z nastavkom in masa polnega piknometra skupaj z vodo po vakuumiranju, s katerim se odstrani zajeti zrak) po enačbi, določeni v standardu, izračunamo največjo gostoto vzorca asfaltne zmesi.

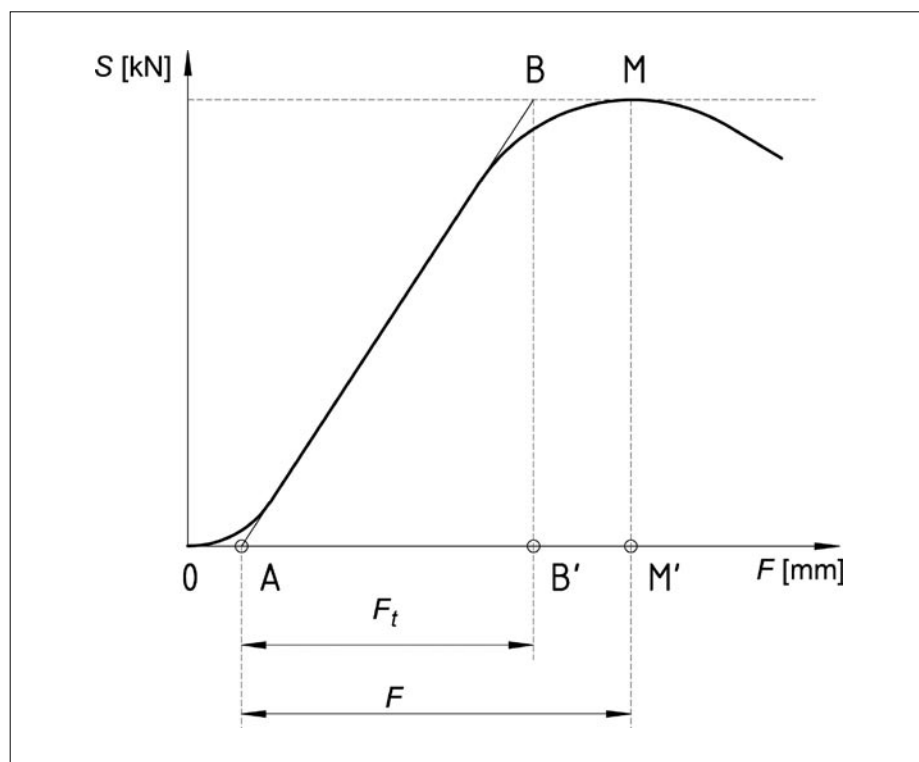
Največja gostota kamnitega materiala je odvisna od največje gostote asfaltne zmesi, vsebnosti bitumna in od gostote bitumna.

Vsebnost zračnih votlin, stopnja zapolnjenosti votlin, votline v kamnitem materialu

Vsebnost zračnih votlin v asfaltni zmesi določimo iz razmerja prostorske gostote in največje gostote Marshallovih preizkušancev. Stopnja zapolnjenosti votlin je izrednotena glede na prostorsko maso asfaltne zmesi, glede na gostoto in vsebnost veziva ter glede na delež votlin v kamnitem materialu. Delež votlin v kamnitem materialu določimo na podlagi prostorske mase, vsebnosti zračnih votlin ter na podlagi gostote in vsebnosti bitumna.

Stabilnost, tečenje, Marshallov kvocient

Na istih preizkušancih (Marshallovi preizkušanci), ki so uporabljeni tudi za določevanje prostorske gostote asfalta, po standardu SIST EN 12697-34 določimo še stabilnost, tečenje in Marshallov kvocient, ki so prikazani na spodnji sliki. Stabilnost S je tukaj definirana kot maksimalna sila pri porušitvi. Tečenje F je definirano kot razdalja med točkama A in M', kjer točka A označuje sečišče tangente na deformacijsko krivuljo in abscisno osjo, točka M' pa predstavlja maksimalno deformacijo vzorca. Marshallov kvocient je razmerje med stabilnostjo in tečenjem – S/F .



Slika 1 • Prikaz definicije stabilnosti, tečenja in Marshallovega količnika

3 • STATISTIČNA ANALIZA

Statistična analiza temelji na primerjavi korelacij med merjenimi količinami. Podatke razdelimo na dve skupini. Delitev lahko opravimo glede na dve časovni obdobji, v katerih so bile meritve opravljene, lahko pa tudi glede na dve skupini laborantov, dva laboratorija in podobno.

Da bi lahko ugotovili, kolikšne so lahko razlike med korelacijami in kaj so lahko razlogi za te razlike, računamo korelacije za tri različne primere:

- osnovni podatki v dveh skupinah glede na obdobje,
- osnovni podatki, povsem naključno zvrščeni v dve enako veliki skupini kot v prvem primeru,
- umetno generirani (simulirani) podatki z enakimi statističnimi lastnostmi, kot so osnovni podatki, ter zvrščeni v dve enako veliki skupini kot pri prvem primeru.

Prvi primer je osnovni, tisti, ki ga pregledujemo. Z drugim primerom ugotavljamo, ali so podatki vsebovali osamelce, saj le-ti povzročijo, da so korelacije v eni skupini različne kot v drugi. Tretji primer je referenčni, glede na katerega primerjamo rezultate prvih dveh. Če so razlike v korelacijah v drugem in tretjem primeru podobne, lahko zaključimo, da ni osamelcev. Tedaj lahko primerjamo prvi in tretji primer. Če so razlike v korelacijah podobne, lahko zaključimo, da med eno in drugo skupino ni bistvenih razlik, da se torej razmere niso spremenile.

3.1 Korelacije

Korelacija S_{XY} je statistična mera za linearno odvisnost dveh spremenljivk. Brezdimenzijski koeficient, s katerim opišemo linearno odvisnost, je korelacijski koeficient, ki ga izračunamo po enačbi (Turk, 2010):

$$r_{XY} = \frac{S_{XY}}{S_X S_Y}, \quad (2)$$

kjer je S_{XY} kovarianca, S_X in S_Y sta standardni deviaciji vzorca. Izračunamo jih na naslednji način:

$$S_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n}, \quad (3)$$

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}, \quad (4)$$

$$S_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n}}, \quad (5)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (6)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}. \quad (7)$$

V zgornjih izrazih označimo:

X_i ... vrednost spremenljivke X preizkušanca i ,
 \bar{X} ... povprečna vrednost vzorca spremenljivke X ,

Y_i ... vrednost spremenljivke Y preizkušanca i ,
 \bar{Y} ... povprečna vrednost vzorca spremenljivke Y ,
 n ... velikost vzorca.

Za podatke, ki določajo posamezno zmes, smo izračunali korelacijske matrike. Ker nas zanima vpliv drugih lastnosti na stabilnost oz. tečenje, smo se osredotočili na tiste korelacije, ki predstavljajo vpliv drugih lastnosti na stabilnost oz. tečenje.

3.2 Simulacije

Simulacije oziroma generiranje vzorca slučajnih spremenljivk je numerični postopek, kjer z računalnikom posnemamo situacije iz resničnega sveta (Turk, 2010).

V programu Mathematica smo na podlagi dejanskih podatkov (Interna baza meritev, 1998–2009), zajetih iz obdobja med letoma 1998 in 2009, generirali nove normalno porazdeljene slučajne podatke, ki predstavljajo posamezno lastnost v asfaltni zmesi. Omenjeni postopek smo izvedli za 4 tipe asfaltnih zmesi (AC 11, AC 16, AC 22 in AC 32) glede na povprečja, variance in korelacije, določene iz dejanskih eksperimentov. Nato smo v vsaki simulaciji izračunali korelacijsko matriko (Anderson, 2003) in iz nje vzeli korelacije oz. vplive drugih lastnosti na stabilnost in tečenje. Poiskali smo največjo korelacijo med drugimi lastnostmi in stabilnostjo oz. tečenjem pri posamezni simulaciji in računali njihove razlike. Odstopanja v korelacijah med posameznimi simulacijami nastanejo naključno. Tako smo dobili okvirne meje oz. merilo za dovoljena odstopanja v primeru dejanskih podatkov.

4 • REZULTATI

Zaradi velikega števila meritev so v nadaljevanju prikazani le rezultati obravnave asfaltnih zmesi AC 22. Na razpolago imamo 2195 meritev za obdobje med letoma 1998 in 2009 (Interna baza meritev, 1998–2009). V vsaki meritvi so rezultati za 22 lastnosti (PK, PEN, viskoznost, IP, delež bitumna, ostanki na sitih s premerom 0,09 mm, 0,25 mm, 0,71 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 11,2 mm, 16 mm, 22,4 mm, prostorska gostota asfalta, največja gostota asfalta, vsebnost zračnih votlin, stopnja zapoljenosti votlin, votline v kamnitem materialu in največja gostota kamnitega materiala).

Delitev meritev na dve časovni obdobji

2195 meritev razdelimo na dve skupini (Interna baza meritev, 1998–2009). Prvo skupino sestavlja 1779 meritev iz obdobja od leta 1998 do leta 2005, drugo skupino pa sestavlja 416 meritev, pridobljenih med letoma 2006 in 2009. V spodnji preglednici so prikazani korelacijski koeficienti med stabilnostjo oz. tečenjem in drugimi lastnostmi asfaltnih zmesi za obe skupini meritev ter njihove razlike. Poleg tega smo za meritve iz celotnega obdobja generirali normalno porazdeljene slučajne meritve. Na ta način smo dobili okvirne meje, s katerimi lahko razlike

iz spodnje preglednice primerjamo. Okvirne meje za razlike korelacij med stabilnostjo in drugimi lastnostmi so med 0,06 in 0,16, meje za razlike korelacij med tečenjem in drugimi lastnostmi pa so med 0,077 in 0,188. Tiste razlike, ki malo odstopajo od okvirnih mej, so posledica naključja. Kjer so razlike bistveno večje (te so v preglednici posebej označene), pa pomeni, da je prišlo do sprememb pri preiskavah med dvema obdobjema. Do večjih sprememb pride pri deležu bitumna, ostanku na situ 0,09 mm, prostorski gostoti asfalta, največji gostoti asfalta, stopnji zapoljenosti votlin, votlinah v kamnitem materialu in največji gostoti kamnitega materiala. Dejansko je v tem času prišlo do sprememb standardov iz starih JUS na nove evropske standarde SIST EN.

Pred uporabo preskusnih metod po standardih SIST EN 12697-1 do 43 smo preiskave izvajali po preskusnih metodah po standardih JUS U.M8.086 do 105, najpomembnejše razlike med metodami pa so v pripravi Marshallovih preskušancev, kar ima za posledico tudi razlike v prostorski gostoti, stopnji zapoljenosti votlin, votlinah v kamnitem materialu ter razlika v določanju topnega in dodajanja netopnega deleža veziva po standardih JUS. Z uvedbo standardov SIST EN se pojavi tudi dodatno sito za polnilo, velikosti odprtini 0,063 mm (prej je bilo najmanjše sito velikosti odprtini 0,09 mm).

Delitev glede na naključno razvrščene meritve

2195 meritev naključno razporedimo v dve enako veliki skupini, velikosti 1098 (Interna baza meritev, 1998–2009). V spodnji preglednici so prikazani koeficienti korelacij med stabilnostjo oz. tečenjem in drugimi lastnostmi asfaltne zmesi za obe skupini meritev ter njihove razlike. Okvirne meje, dobljene iz generiranja normalne slučajne porazdelitve meritev, so za stabilnost od 0,04 do 0,12 in za tečenje od 0,05 do 0,15. Iz spodnje preglednice je razvidno, da so vsa odstopanja korelacijskih koeficientov v mejah. To pomeni, da velja predpostavka o normalni porazdelitvi oz. da med meritvami ni nobenega t. i. osamelca.

	1998/2005		2006/2009		razlike v r_{xy} med obdobjema	
	r_{xy}				stabilnost	tečenje
	stabilnost	tečenje	stabilnost	tečenje		
PK	0,094	0,09	-0,04	0,149	0,135	0,059
PEN	-0,306	-0,188	-0,143	-0,103	0,163	0,085
viskoznost	0,301	0,176	0,118	0,196	0,182	0,02
IP	-0,16	-0,053	-0,209	0,098	0,049	0,151
delež bitumna	0,288	0,194	-0,174	-0,067	0,462*	0,260*
sito 0,09 mm	0,361	0,243	-0,085	0,128	0,447*	0,115
sito 0,25 mm	0,322	0,115	0,157	0,278	0,165	0,163
sito 0,71 mm	0,239	0,056	0,198	0,213	0,041	0,157
sito 2 mm	0,144	0,015	0,078	0,134	0,066	0,119
sito 4 mm	0,196	0,047	0,057	0,106	0,14	0,06
sito 8 mm	0,11	-0,022	-0,013	0,118	0,123	0,139
sito 11,2 mm	0,045	-0,062	-0,095	-0,008	0,14	0,054
sito 16 mm	-0,052	-0,041	-0,103	-0,003	0,051	0,039
sito 22,4 mm	0,096	0,031	-0,09	-0,115	0,186	0,146
prostorska gostota asf.	0,558	0,297	0,267	0,398	0,291*	0,101
največja gostota asf.	0,589	0,299	0,305	0,4	0,284*	0,101
vsebnost zračnih votl.	-0,016	-0,024	0,045	-0,021	0,061	0,003
stopnja zapoljenosti votl.	0,175	0,115	-0,09	0,036	0,265*	0,079
votline v kamnitem mat.	0,318	0,179	-0,083	-0,015	0,402*	0,193
največja gost. kam. mat.	0,631	0,334	0,256	0,407	0,374*	0,073

* Odstopanja so prevelika, da bi bila lahko naključna.

Preglednica 1 • Korelacijski koeficienti za dve obdobji in njihove razlike

	1. polovica meritev		2. polovica meritev		razlike v r_{xy} med 1. in 2. polovico meritev	
	r_{xy}				stabilnost	tečenje
	stabilnost	tečenje	stabilnost	tečenje		
PK	0,057	0,173	0,045	0,248	0,011	0,075
PEN	-0,288	-0,091	-0,279	-0,111	0,009	0,020
viskoznost	0,258	0,119	0,293	0,111	0,035	0,009
IP	-0,187	0,130	-0,183	0,218	0,003	0,087
delež bitumna	0,170	0,199	0,176	0,248	0,007	0,049
sito 0,09 mm	0,268	0,245	0,273	0,287	0,005	0,042
sito 0,25 mm	0,278	0,185	0,273	0,246	0,005	0,061
sito 0,71 mm	0,208	0,140	0,209	0,237	0,001	0,097
sito 2 mm	0,098	0,092	0,132	0,167	0,034	0,075
sito 4 mm	0,160	0,114	0,148	0,176	0,013	0,063
sito 8 mm	0,064	0,055	0,084	0,129	0,020	0,074
sito 11,2 mm	0,011	-0,044	0,023	-0,005	0,011	0,040
sito 16 mm	-0,081	-0,016	-0,052	0,031	0,028	0,047
sito 22,4 mm	0,079	-0,040	0,127	-0,116	0,049	0,076
prostorska gostota asf.	0,492	0,326	0,442	0,338	0,051	0,012
največja gostota asf.	0,521	0,260	0,493	0,238	0,027	0,022
vsebnost zračnih votl.	0,026	-0,091	0,000	-0,163	0,027	0,072
stopnja zapoljenosti votl.	0,100	0,166	0,105	0,222	0,006	0,057
votline v kamnitem mat.	0,276	0,111	0,240	0,063	0,036	0,048
največja gost. kam. mat.	0,564	0,305	0,535	0,298	0,029	0,007

Preglednica 2 • Korelacijski koeficienti za dve skupini, kjer so meritve naključno premešane in njihove razlike

5 • SKLEP

Primerjava razlik koeficientov korelacij med naključno generiranimi meritvami in dejanskimi meritvami, naključno razdeljenimi na polovico za zmesi AC 11, AC 16, AC 22 in AC 32, je pokazala, da nobena meritev ni osamelec (ang. outlayer) oz. ne odstopa veliko od drugih meritev. To pomeni, da so tam, kjer so se pojavila odstopanja, le-ta majhna, kar pa je posledica slučaja.

Primerjava razlik koeficientov korelacij med naključno generiranimi meritvami in dejanskimi meritvami, časovno razdeljenimi na dve obdobji (prvo obdobje med letoma 1998 in 2005 in drugo obdobje med letoma 2006 in 2009), za zmesi AC 11, AC 16, AC 22 in AC 32 je pokazala, da so odstopanja večja. To pomeni, da nastale razlike niso posledica zgolj slučaja, ampak spremembe standardov

ali kakšnih drugih dejavnikov, ki so vplivali na meritve.

Z opisano metodo smo ugotovili vpliv sprememb na rezultate meritev, ki jih ne moremo pripisati naključju, temveč nekim zunanjim dejavnikom, kot so sprememba standarda, zamenjava naprave ali zamenjava osebja. Zato bi to metodo lahko uporabili za primerjavo dveh laboratorijev ali rezultatov enega laboratorija v različnih časovnih obdobjih, kjer bi ocenili vpliv zamenjave strojev, osebja in podobno.

6 • ZAHVALA

Delo mlade raziskovalke Nataše Šinkovec je bilo sofinancirano v okviru operacije NALOŽBA V VAŠO PRIHODNOST. Operacijo delno financira Evropska unija v okviru Evropskega socialnega sklada.

7 • LITERATURA IN VIRI

Anderson, T. W., An introduction to multivariate statistical analysis, Third edition, Wiley series in probability and statistics, 2003.

Turk, G., Verjetnostni račun in statistika, Skripta, <http://www.km.fgg.uni-lj.si/predmeti/sei/vrs1.pdf> (11. 5. 2010).

Žmavc, J. (urednik), Asphalt, Združenje asfalterjev Slovenije, 2006.

Interna baza meritev lastnosti posameznih asfaltnih mešanic za različne naročnike v obdobju 1998–2009, Igmat, d. d.

Standardi

SIST EN 12697-2: 2002+A1: 2007 Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 2: Determination of particle size distribution.

SIST EN 12697-5: 2004+A1: 2007 Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 5: Determination of the maximum density.

SIST EN 12697-6: 2004+A1: 2007 Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 6: Determination of bulk density of bituminous specimens.

SIST EN 12697-8: 2004+A1: 2007 Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 8: Determination of void characteristic of bituminous specimens.

SIST EN 12697-30: 2004+A1: 2007 Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 30: Specimen preparation by impact compactor.

SIST EN 12697-34: 2004+A1: 2007 Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 34: Marshall test.

SIST EN 12595: 2007: Bitumen in bitumenska veziva – Določanje kinematične viskoznosti.

SIST EN 12593: 2007: Bitumen in bitumenska veziva – Določanje pretrgališča po Fraassu.

SIST EN 12593: 2007: Bitumen in bitumenska veziva – Specifikacije za cestogradbene bitumne.

SIST EN 12591: 2009: Bitumen in bitumenska veziva – Specifikacije za cestogradbene bitumne.

JUS U.M8.090: 1966: Ispitivanje po Maršalu.

JUS U.M8.092: 1966: Određivanje zapreminske mase uzoraka iz zastora i nosećih slojeva.

JUS U.M8.093: 1967: Određivanje zapreminske mase i sadržaj šupljina u mineralnoj mešavini.

JUS U.M8.094: 1966: Određivanje upijanja vode uzoraka iz zastora.

JUS U.M8.096: 1987: Ispitivanje obavijenosti i skidanja ugljovodoničnih veziva s kamenog materijala.

JUS U.M8.100: 1967: Određivanje sadržaja veziva.

JUS U.M8.101: 1984: Priprema laboratorijskog uzorka asfaltne mešavine.

JUS U.M8.102: 1967: Određivanje granulometrijskog sastava mineralne mešavine.

JUS U.M8.104: 1967: Ispitivanje dubine utiskivanja.

JUS U.M8.105: 1984: Ispitivanje udela bitumena indirektnom metodom.