

Primljen / Received: 13.7.2012.

Ispravljen / Corrected: 8.10.2012.

Prihvaćen / Accepted: 19.10.2012.

Dostupno online / Available online: 15.11.2012.

Svojstva asfaltbetona pri niskim temperaturama

Autori:



mag. **Dejan Hribar**, dipl.ing.građ.
 Građbeni inštitut ZRMK d.o.o.
 Centar za prometnice i infrastrukturu
dejan.hribar@gi-zrmk.si



Doc.dr. **Marjan Tušar**, dipl.ing.kem.
 Kemijski inštitut Ljubljana
marjan.tusar@ki.si

Stručni rad

[Dejan Hribar, Marjan Tušar](#)

Svojstva asfaltbetona pri niskim temperaturama

U radu su prikazana ispitivanja provedena na uzorcima izrađenim od asfaltbetona AC 11 pri niskim temperaturama, koji su prikazani kao funkcije sastava asfaltne mješavine. Analiziraju se dva postupka ispitivanja i to postupak hlađenjem te jednoosno vlačno ispitivanje. Analiza rezultata je pokazala bolju korelaciju između svojstava bitumenskih mješavina i rezultata jednoosnog vlačnog ispitivanja nego između svojstava bitumenskih mješavina i ispitivanja hlađenjem. Uočena je dobra korelacija između rezultata kod maksimalnih rezervi vlačne čvrstoće i temperature pri maksimalnoj rezervi vlačne čvrstoće, kao funkcija udjela bitumena, šupljina, zbijenosti, šupljina ispunjenih bitumenom i Marshallova stabiliteta.

Ključne riječi:

asfaltbeton, bitumen, niske temperature, pukotine

Professional paper

[Dejan Hribar, Marjan Tušar](#)

Properties of asphalt concrete at low temperatures

The testing of asphalt mixes to be used in wearing courses of pavement structures are presented in the paper. Asphalt concrete mixes AC 11 are tested at low temperatures. Two testing procedures are conducted: testing by cooling and uniaxial tensile testing. The analysis of results has shown better correlation of bitumen mix properties and uniaxial tensile testing results, when compared to bitumen mix properties and testing by cooling. The testing has revealed that significant improvement of asphalt concrete properties, and its higher resistance to low-temperature cracking, is obtained if the mass percent of bitumen is increased to more than 4.8 percent.

Key words:

asphalt concrete, bitumen, low temperatures, cracks

Fachbericht

[Dejan Hribar, Marjan Tušar](#)

Eigenschaften von Asphaltbeton bei niedrigen Temperaturen

In der Arbeit werden Untersuchungen von Asphaltmischungen für die Verschleißschichten von Fahrbahnkonstruktionen dargestellt. Untersucht werden Mischungen des Asphaltbetons AC 11 bei niedrigen Temperaturen. Es wurden zwei Untersuchungsverfahren angewendet: durch Kühlung und eine einachsige Zuguntersuchung. Die Analyse der Resultate zeigte eine bessere Korrelation zwischen den Eigenschaften von Bitumenmischungen und den Resultaten der einachsigen Zuguntersuchung als zwischen den Eigenschaften der Bitumenmischungen und der Untersuchung mit dem Kühlungsverfahren. Mithilfe der durchgeführten Untersuchungen wurde festgestellt, dass es durch Erhöhung des Massenanteils an Bitumen auf über 4,8 % zu erheblichen Verbesserungen der Eigenschaften des Asphaltbetons und zur Erhöhung seiner Rissfestigkeit bei niedrigen Temperaturen kommt.

Schlüsselwörter:

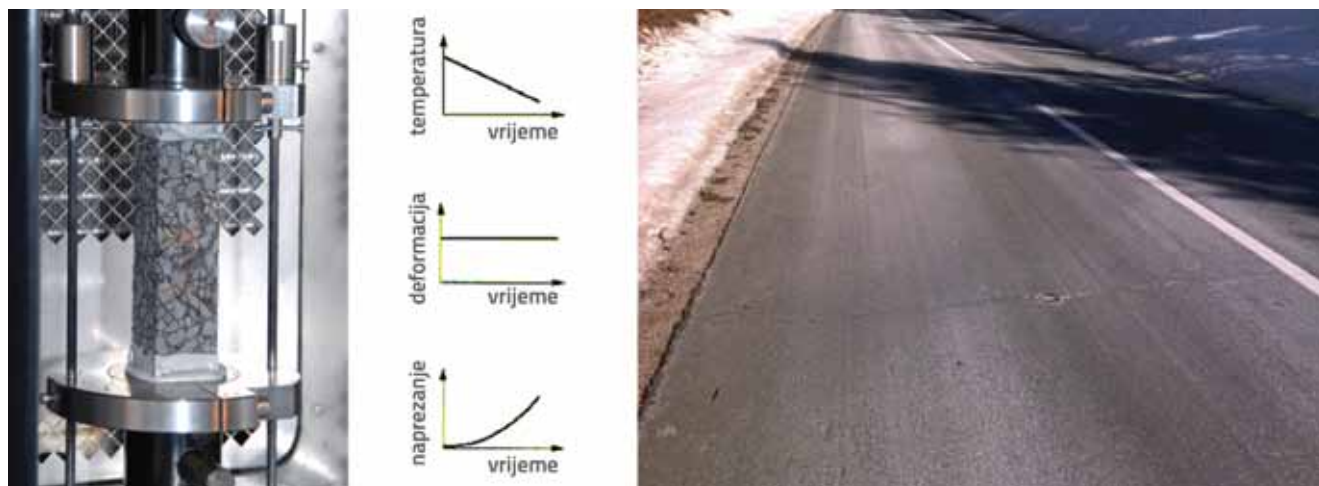
Asphaltbeton, Bitumen, niedrige Temperaturen, Risse

1. Uvod

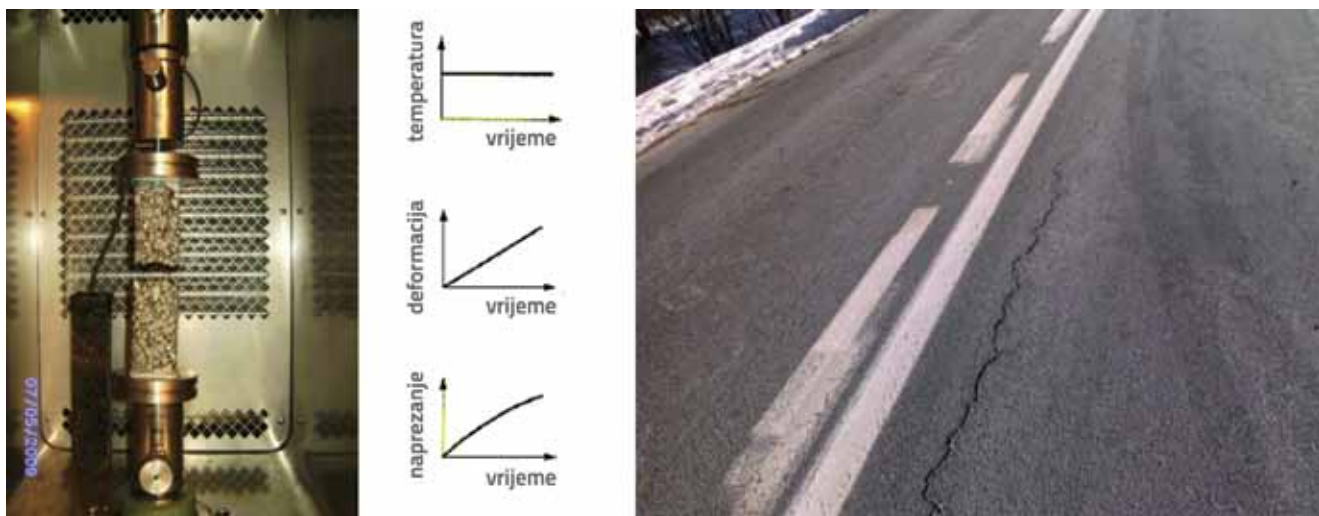
U prirodi se većina tvari, uključujući asfalt, zagrijavanjem izdužuje, a hlađenjem skuplja. Sprječeli li se skupljanje uslijed hlađenja unošenjem topline, u asfaltnom materijalu dolazi do pojave vlačnih naprezanja prilikom kojih može doći do loma ako se dosegne maksimalna vlačna čvrstoća [1]. Pukotine koje nastaju pri niskim temperaturama mogu biti poprečne (kriogena naprezanja) i/ili uzdužne (niske temperature i prometno opterećenje), a šire se od površine prema dolje.

U radu se analiziraju rezultati ispitivanja asfaltnih mješavina AC 11 namijenjenih za habajuće slojeve kolničkih konstrukcija. Razmatrane su asfaltna mješavine tipa A2/Z2 izrađene s cestograđevnim bitumenom B 50/70. Provedeno je ispitivanje hlađenjem – TSRST (The Thermal Stress Restrained Specimen Test) te ispitivanje jednoosne vlačne čvrstoće UTST (Uniaxial Tensile Strength Test). Oba postupka su provedena u skladu s normama EN 12697-46 [2]. TSRST ispitivanjima (slika 1.a) prikazuje se ponašanje asfaltnih kolnika pri niskim

temperaturama, pri čemu se toplinski izazvana vlačna naprezanja, zvana kriogena naprezanja, ponajviše očituju kao poprečne pukotine raspoređene na razmaku od tri do pet metara (slika 1.b). UTST ispitivanja (slika 2.a) prikazuju otpornost asfaltnih mješavina na prometno opterećenje prilikom izlaganja niskim temperaturama. Maksimalno kritično vlačno naprezanje se ne javlja na području linije kotača već na udaljenosti od 30 do 90 cm od mjesta opterećenja (slika. 2.b) [3]. Razlika vlačne čvrstoće i naprezanja koja nastaje pri niskim temperaturama izražava se kao preostala vlačna čvrstoća $\Delta\beta(T)$ i predstavlja rezervu koja služi za primanje dodatnih naprezanja (naprezanja izazvana djelovanjem prometa) [4]. Primjer procjene rezerve vlačne čvrstoće na temelju rezultata TSRST i UTST ispitivanja prikazan je na slici 3. Rezultati ispitivanja su pokazali bolju korelaciju između svojstava bitumenskih mješavina i rezultata UTST ispitivanja nego između svojstava bitumenskih mješavina i rezultata TSRST ispitivanja. Ono što se posebno može uočiti je dobra korelacija između rezultata pri maksimalnim rezervama vlačne čvrstoće i temperaturi pri maksimalnoj rezervi vlačne

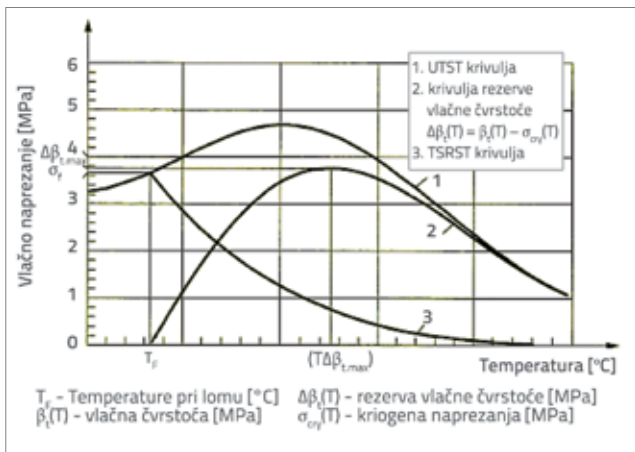


Slika 1. a) ispitivanje otpornosti na termičke pukotine – TSRST; b) poprečne temperaturne pukotine (Babino Polje, veljača 2012.)



Slika 2. a) ispitivanje jednoosne vlačne čvrstoće – UTST; b) Uzdužna pukotina na području linije kretanja kotača (Babino Polje, veljača 2012.)

čvrstoće, kao funkcija udjela bitumena, šupljina, zbijenosti, šupljina ispunjenih bitumenom (VFB) i Marshallova stabiliteta.



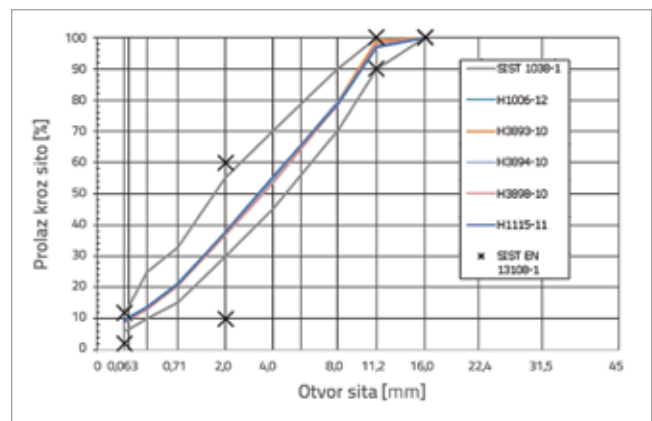
Slika 3. Schematske krivulje za TSRST ispitivanje, UTST ispitivanje i rezervu vlačne čvrstoće [2]

2. Ispitivanja mješavina asfaltbetona izloženih niskim temperaturama

2.1. Materijal

Ispitivanja asfaltnih mješavina AC 11, koja se analiziraju u radu, provedena su u laboratoriju Slovenskog nacionalnog instituta za zgradarstvo i građevinarstvo (ZAG). Korišteni su ispitni uzorci

dimenzija poprečnog presjeka 40x40 mm i duljine 160 mm. Asfaltna mješavina su pripravljene u laboratoriju prema sastavu mješavine br. CGP 06-2009 definiranom od strane proizvođača. Za mješavinu kamenog agregata korištene su sljedeće frakcije: punilo (zrno ispod 0,125 mm, vapnenac, kamenolom Stahovica) te kameni agregat 0/2, 2/4, 4/8 i 8/11 (silikat, kamenolom Ljubeščica), dok je kao vezivo korišten cestograđevni bitumen razreda 50/70 nabavljen u MOL-u (Mađarska). U laboratoriju je pripravljeno pet različitih mješavina čiji je maseni udio bitumena 4,0, 5,0, 5,4, 5,8 i 6,0 %. Tablica 1. prikazuje svojstva korištenog svježeg i ekstrahiranog asfaltnog bitumena razreda 50/70. Slika 4. prikazuje raspodjelu veličina zrna za svaku mješavinu ovisno o udjelu bitumena. Raspodjele veličine zrna se preklapaju i jasno je da je udio punila gotovo konstantan.



Slika 4. Granulometrijska krivulja kamenog agregata 0/11 mm

Tablica 1. Svojstva asfaltnog bitumena razreda B 50/70

Tehničke karakteristike	Jedinica	Ispitna metoda	Svježi bitumen	Ekstrahirani bitumen
Penetracija pri 25°C	mm/10	SIST EN 1426:2007	56	39
Točka razmekšanja, R&B	°C	SIST EN 1427:2007	52	56.6
Indeks penetracije, PI	-	SIST EN 12591:2004, klauzula B4	-0,4	-0,25
Točka loma po Fraassu	°C	SIST EN 12593:2007	-15	-13
Gustoća (u vodi)	kg/m ³	SIST EN ISO 3838	1014.2	-

Tablica 2. Rezultati nekih osnovnih ispitivanja asfaltnih mješavina

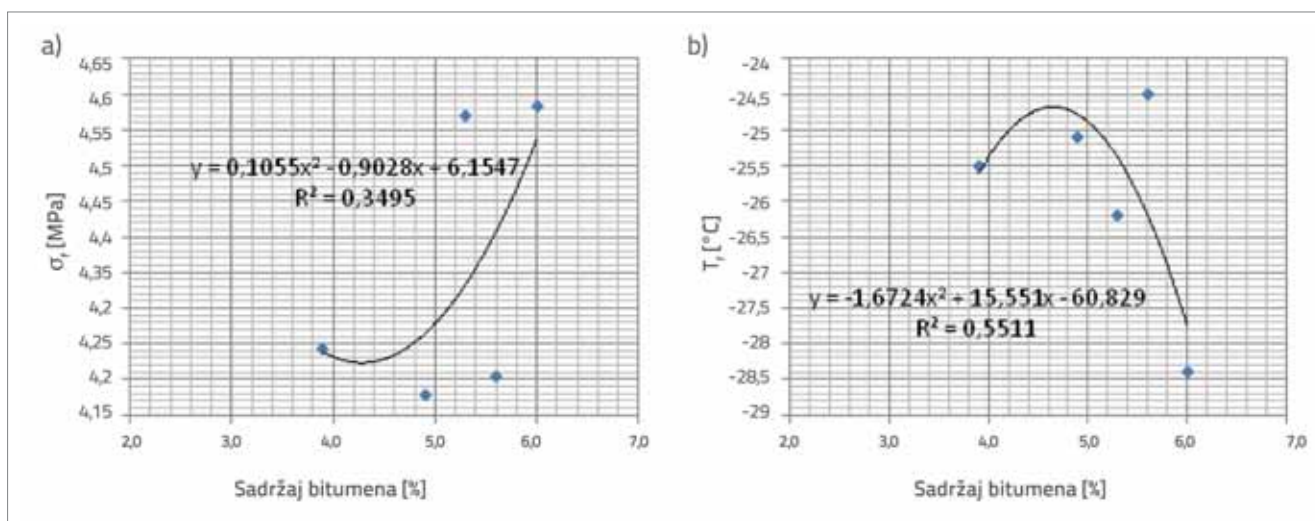
Oznaka provedenog ispitivanja	Sadržaj bitumena (maseni udio) [%]	Veličina zrna <0.063 mm (maseni udio) [%]	Prostorna masa uzorka prema Marshallu [kg/m ³]	Zračne šupljine uzorka prema Marshallu (volumni udio) [%]	Šupljine ispunjene bitumenom (VFB) (volumni udio) [%]	Marshallov stabilitet [kN/mm]
H1006-12	3.9	9.3	2404	8.0	62.8	2.7
H3893	4.9	9.1	2441	5.0	79.4	2.3
H3874	5.3	9.0	2461	3.8	86.1	2.1
H3898	5.6	8.6	2467	2.6	92.5	2.7
H1115-11	6.0	9.0	2484	1.8	97.9	1.8

Kada se na istoj krivulji prosijavanja kamenih agregata mijenja udio bitumena, potrebno je promijeniti ili udio zračnih šupljina ili udio punila. U ovom ispitivanju je odlučeno zadržati konstantan udio punila u asfaltnoj mješavini, a mijenjati udio zračnih šupljina. Tablica 2. prikazuje rezultate nekih osnovnih ispitivanja asfaltnih mješavina. Ipak, rezultati pokazuju da se i udio punila mijenjao. Maksimalno odstupanje od željenog udjela punila se javlja kod asfalta s masenim udjelom bitumena od 5.6 %.

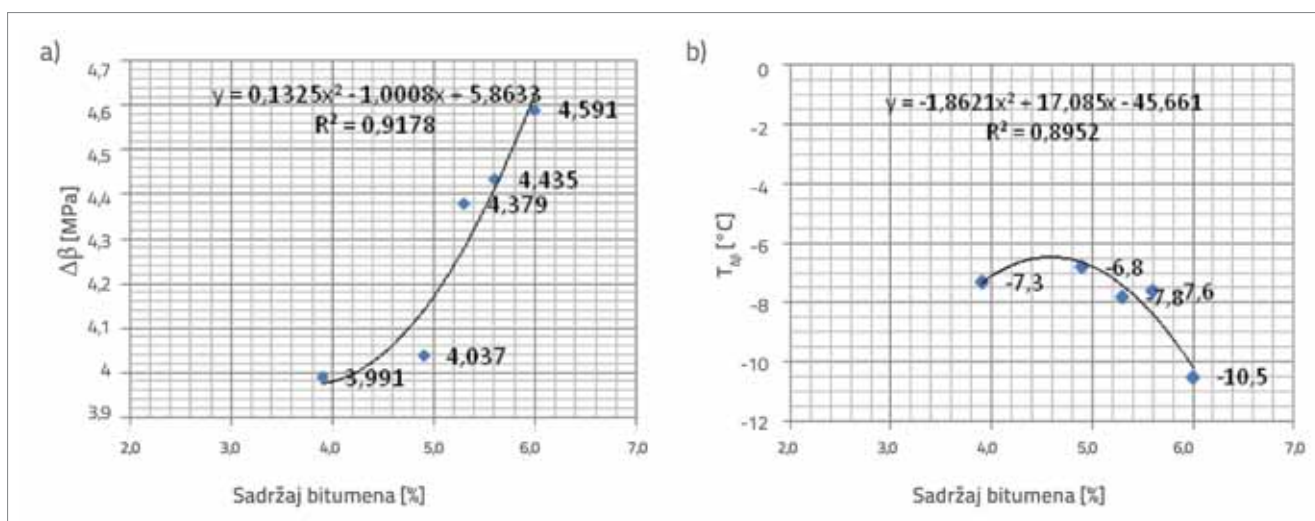
3. Analiza rezultata ispitivanja

Rezultati ispitivanja asfaltna mješavine hlađenjem (TSRST) pokazuju slabu korelaciju između vlačnog naprezanja σ_f - udio bitumena i temperature loma T_f - udio bitumena. Vrijednosti koeficijenta korelacije su $R^2 = 0.35$ i $R^2 = 0.55$ (slika 5.). S

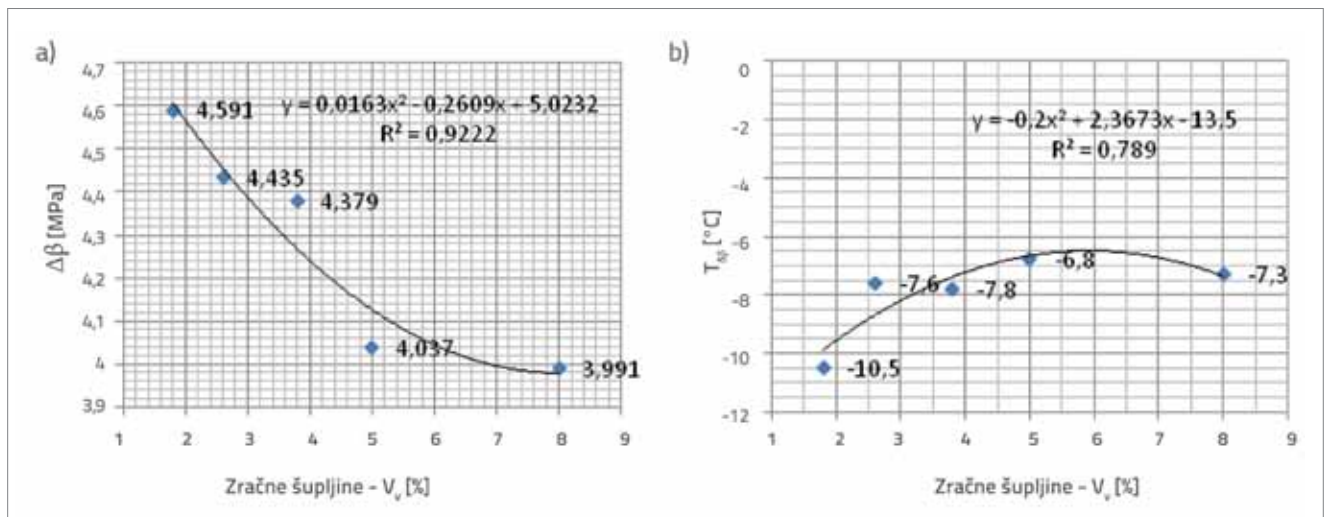
druge strane, rezultati jednoosnih vlačnih ispitivanja (UTST) pokazuju iznenađujuće dobru korelaciju rezerve maksimalne vlačne čvrstoće $\Delta\beta$ /udio bitumena ($R^2 = 0.92$) i temperature pri rezervi maksimalne vlačne čvrstoće $T_{\Delta\beta}$ /udio bitumena ($R^2 = 0.90$) (slika 6.). UTST ispitivanje bolje opisuje utjecaj udjela bitumena u asfaltnoj mješavini izloženoj niskim temperaturama. Nadalje, promjena masenog udjela punila (tablica 2.) ima veći utjecaj na rezultate ispitivanja hlađenjem, TSRST. Slika 6.a prikazuje da povećanjem udjela bitumena od 4.8 do 6.0 % rezerva maksimalne vlačne čvrstoće $\Delta\beta$ značajno raste dok se temperatura $T_{\Delta\beta}$ smanjuje s -6.7 °C na -10.5 °C (slika 6.b). Za asfaltna mješavina s udjelom bitumena između 4.0 i 4.8 % obje se vrijednosti blago mijenjaju. Iz ovih rezultata može se zaključiti da udio bitumena ima važnu ulogu na ponašanje asfaltna mješavine pri niskim temperaturama. Povećanjem udjela bitumena iznad 4.8 % dolazi do značajnog



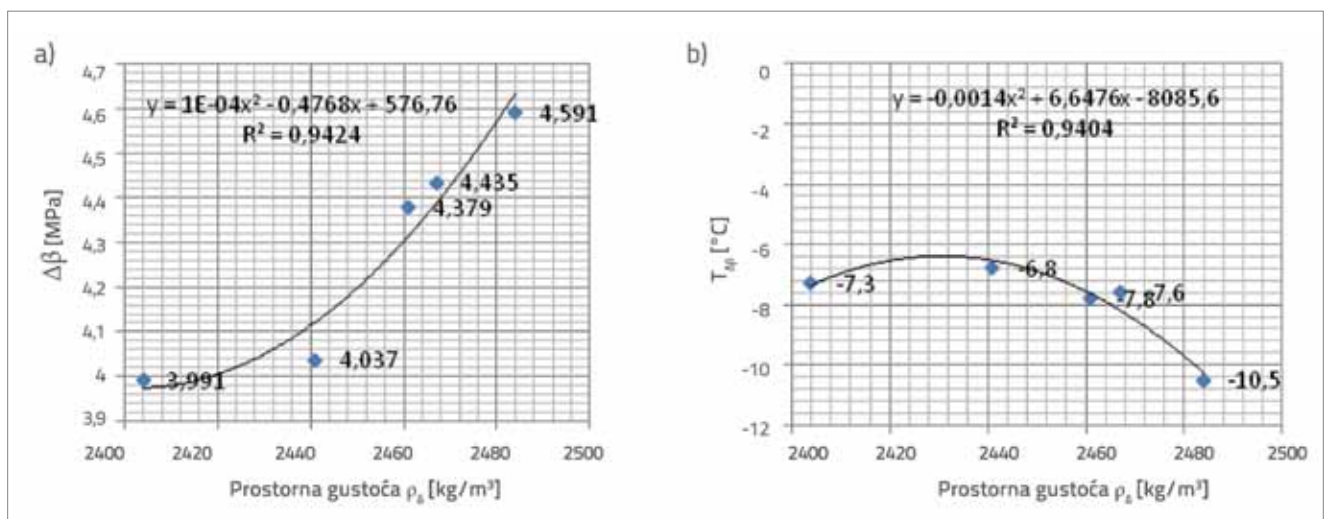
Slika 5. Rezultati ispitivanja hlađenjem TSRST u ovisnosti o udjelu bitumena: a) maksimalno vlačno naprezanje σ_f ; b) temperatura pri lomu T_f



Slika 6. Rezultati jednoosnog vlačnog ispitivanja UTST u ovisnosti o udjelu bitumena: a) maksimalna rezerva vlačne čvrstoće $\Delta\beta$; b) temperatura pri maksimalnoj rezervi vlačne čvrstoće $T_{\Delta\beta}$



Slika 7. Rezultati jednoosnog vlačnog ispitivanja UTST u ovisnosti o zračnim šupljinama: a) rezerva maksimalne vlačne čvrstoće $\Delta\beta$; b) temperature pri rezervi maksimalne vlačne čvrstoće $T_{\Delta\beta}$



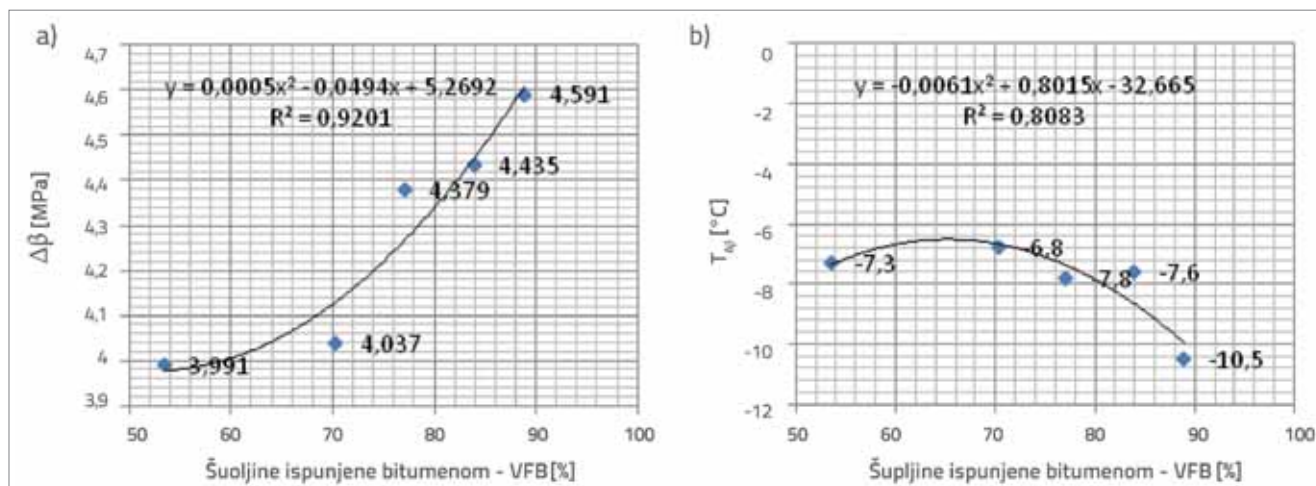
Slika 8. Rezultati jednoosnog vlačnog ispitivanja UTST u ovisnosti o prostornoj masi: a) Rezerva maksimalne vlačne čvrstoće $\Delta\beta$; b) temperature pri rezervi maksimalne vlačne čvrstoće $T_{\Delta\beta}$

poboljšanja svojstva promatranog asfaltbetona i njegove povećane otpornosti na pucanje pri niskim temperaturama.

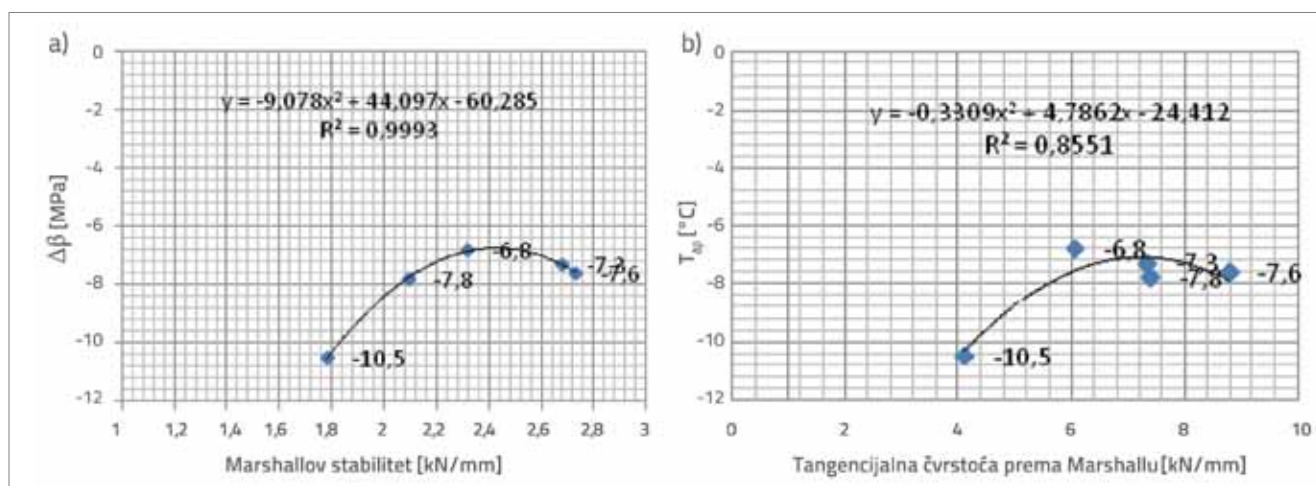
U ovom istraživanju je mijenjan udio bitumena, a time i udio zračnih šupljina u asfaltnoj mješavini, dok je udio punila bio konstantan. Nenamjerna promjena udjela punila rezultirala je nepotpunom korelacijom između udjela bitumena i zračnih šupljina ($R^2 = 0,996$). Prema tome, mnogo je bolja korelacija između udjela bitumena i šupljina ispunjenih bitumenom VFB ($R^2 = 0,997$) te udjela bitumena i volumne gustoće ($R^2 = 0,995$). Budući da je između TSRST-a i volumnih svojstava bitumenskih mješavina pronađena slaba veza, u ovom radu su opisani samo rezultati UTST ispitivanja. Slika 7. prikazuje dobru korelaciju između UTST ispitivanja i volumnog udjela zračnih šupljina V_v [%]. Smanjenjem udjela zračnih šupljina, ispod 5,0 %, došlo je do značajnog porasta rezerve vlačne

čvrstoće $\Delta\beta$ i smanjenja temperature pri rezervi maksimalne vlačne čvrstoće $T_{\Delta\beta}$. Temperatura je pala sa $-6,5$ °C na $-8,2$ °C. Poznato je da asfaltna mješavine s većim udjelom bitumena imaju manji udio šupljina. Slika 8 prikazuje ovisnost između rezultata jednoosnih vlačnih ispitivanja UTST i volumne gustoće ρ_A . Taj odnos je relativno dobar i iznosi $R^2 = 0,94$. Čak i u ovom slučaju može se uočiti da povećanjem gustoće dolazi do šupljinasta vrijednosti rezerve maksimalne vlačne čvrstoće $\Delta\beta$ i pada temperature pri rezervi maksimalne vlačne čvrstoće $T_{\Delta\beta}$. Može se zaključiti da su udio zračnih šupljina i prostorna masa usko povezani sa svojstvima bitumenske mješavine pri niskim temperaturama.

Slika 9. prikazuje dobru korelaciju između rezultata pri rezervi maksimalne vlačne čvrstoće $\Delta\beta$ i šupljina ispunjenih bitumenom VFB. Dokazano je da se pri većem VFB javlja



Slika 9. Rezultati jednoosnog vlačnog ispitivanja UTST u ovisnosti o šupljinama ispunjenim bitumenom: a) Rezerva maksimalne vlačne čvrstoće Δβ; b) Temperatura pri rezervi maksimalne vlačne čvrstoće T_{Δβ}



Slika 10. a) Temperatura pri rezervi maksimalne vlačne čvrstoće T_{Δβ} u ovisnosti o Marshallovom stabilitetu; b) Temperatura pri rezervi maksimalne vlačne čvrstoće T_{Δβ} u ovisnosti o tangencijalnoj čvrstoći prema Marshallu

i veća rezerva maksimalne vlačne čvrstoće Δβ te niža temperatura rezerve maksimalne vlačne čvrstoće T_{Δβ}. Na slici 10.a se može uočiti da polinomna regresivna krivulja pokazuje iznenađujuće dobar odnos (R² = 0.999) između temperature pri rezervi maksimalne vlačne čvrstoće T_{Δβ} i Marshallova stabiliteta. Vrijednost Marshallova stabiliteta u najvišoj točki polinomne regresivne krivulje iznosi 2.4 kN/mm, dok temperatura rezerve maksimalne vlačne čvrstoće T_{Δβ} iznosi -6.8 °C. Pretpostavlja se da je to tako zato jer je čvrstoća asfaltnih mješavina u dobrom međuodnosu s linearnom kombinacijom udjela bitumena i punila (R² = 0.97). Međuodnos između tangencijalne čvrstoće prema Marshallu i temperature pri rezervi maksimalne vlačne čvrstoće T_{Δβ} (slika 10.b) relativno je dobar (R² = 0.855), ali lošiji nego kod normalne čvrstoće prema Marshallu.

4. Zaključak

Analiza rezultata ispitivanja asfaltbetona tipa AC 11 postupkom hlađenja (The Thermal Stress Restrained Specimen Test - TSRST) te jednoosnim vlačnim ispitivanjem (Uniaxial Tensile Strength Test - UTST) pokazala je bolju korelaciju između svojstava bitumske mješavine i rezultata UTST ispitivanja nego između svojstava bitumske mješavine i TSRST ispitivanja. Zbog ograničenog broja uzoraka nije jasno je li uzrok ove pojave pogreška u mjerenju ili je to pravilo. Ono što se posebno može uočiti jest dobra korelacija između rezultata pri maksimalnim rezervama vlačne čvrstoće i temperaturi pri maksimalnoj rezervi vlačne čvrstoće, kao funkcija udjela bitumena, šupljina, zbijenosti, šupljina ispunjenih bitumenom (VFB) i Marshallova stabiliteta. Iz tih međuodnosa može se zaključiti da je utjecaj udjela bitumena pri niskim

temperaturama bolje opisan jednoosnim vlačnim ispitivanjima, dok su promjene u udjelu punila više utjecale na rezultate ispitivanja hlađenjem. Zaključno, povećanjem

udjela bitumena iznad 4.8% dolazi do značajnih poboljšanja svojstava asfaltbetona i povećanja njegove otpornosti na pucanje pri niskim temperaturama.

LITERATURA

- [1] Arand, W.: On the crack resistance and the fatigue behaviour of asphalts for pavements, Institut für Strassenwesen, Braunschweig, 7. kolokvij o bitumnih, Zdrženje asfalterjev Slovenije, Gozd Martuljek; 2002, p. 3-15.
- [2] kSIST FprEN 12697-46:2011: Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 46: Low temperature cracking and properties by uniaxial tension tests, 2011.
- [3] Spiegl, M.: Tieftemperaturverhalten von bituminösen Baustoffen – Labortechnische Ansprache und numerische Simulation des Gebrauchsverhaltens. Dissertation, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Technische Universität Wien, Heft 19, Wien, 2008, p. 13-17
- [4] The Shell Bitumen Handbook, 5th edition, Tomas Telford Publishing, London, 2003, p. 196-199.