

VPLIV DELEŽA BITUMNA V SESTAVI BITUMENSKEGA BETONA NA REZULTATE PRESKUSOV PRI NIZKIH TEMPERATURAH

INFLUENCE OF BITUMEN CONTENT IN THE ASPHALT CONCRETE MIXTURES ON THE RESULTS OF TESTS AT LOW TEMPERATURES

mag. Dejan HRIBAR, univ. dipl. inž. grad.

Gradbeni inštitut ZRMK, d. o. o., Dimičeva 12, 1000 Ljubljana,
Center za prometnice in infrastrukturo, dejan.hribar@gi-zrmk.si

doc. dr. Marjan TUŠAR, univ. dipl. inž. kem.

Kemijski inštitut Ljubljana, Hajdrihova 19, 1000 Ljubljana,
marjan.tusar@ki.si

Znanstveni članek

UDK 624.011.9:691.32

Povzetek | Zaradi geografske lege Slovenije se pri nas srečujemo z zelo nizkimi temperaturami. Po podatkih ARSO je v pretežnem delu Slovenije izmerjena absolutno najnižja temperatura zraka s povratno dobo 50 let (obdobje 1951 do 2005) pod $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, razen na Primorskem in Vipavskem, kjer je višja. Po podatkih DRSC je bila pozimi 2011/2012 izmerjena najnižja temperatura vozišča pod $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$. To pomeni, da je na tem območju zaradi nizkih temperatur večja verjetnost za nastanek razpok na asfaltnih voziščih. Poleg nizkih temperatur je v zadnjem obdobju v Sloveniji tudi porast prometnih obremenitev, ki posledično pospešujejo nastanek razpok pri nizkih temperaturah. V prispevku so predstavljeni rezultati preskusov na vzorcih bitumenskega betona AC 11 surf B50/70 A2/Z2 pri nizkih temperaturah v odvisnosti od deleža bitumna v bitumenizirani zmesi. Opravljena sta bila ohlajevalni preskus ob preprečeni deformaciji (ang. Tensile Stress Restrained Speciment Test – TSRST) in enoosni natezni preskus pri nizkih temperaturah (ang. Uniaxial Tensile Strength Test – UTST). Analiza rezultatov je pokazala slabo korelacijo med deležem bitumna in rezultati pri preskusu TSRST. Rezultati enoosnega nateznega preskusa UTST v odvisnosti od deleža bitumna kažejo, da je korelacija odvisna od temperature, pri kateri je bil preskus opravljen. Še najboljše je vidna dobra korelacija z največjo rezervo natezne trdnosti $\Delta\beta_{t,max}$ in temperaturo pri največji rezervi natezne trdnosti $T(\Delta\beta_{t,max})$. Pri deležu bitumna pod 4,8 m.-% opazimo, da se največja rezerva natezne trdnosti $\Delta\beta_{t,max}$ in temperatura pri največji rezervi natezne trdnosti $T(\Delta\beta_{t,max})$ zelo malo spreminjata. Nad 4,8 m.-% pa se obe lastnosti drastično izboljšujeta. Od tod sklepamo, da je 4,8 m.-% minimalni potrebni delež bitumna za to našo konkretno sestavo AC 11 surf B50/70 A2/Z2. Z raziskavo smo ugotovili, da delež bitumna pomembno vpliva na lastnosti bitumenizirane zmesi pri nizkih temperaturah.

Ključne besede: bitumenski beton, bitumen, nizke temperature, razpoke

Summary | Due to geographical position of Slovenia we are dealing with very low temperatures. According to the ARSO data, practically the whole of Slovenia has the absolute minimum air temperature with a return period of 50 years (the period from 1951 do 2005) below $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, except at the seaside and in Vipava region where it is higher.

According to the DRSC data the lowest measured temperature in the pavement last winter was below $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$. This means that the occurrence of cracks in the asphalt pavements in this region is more likely to happen. In addition to low temperatures the traffic in Slovenia has significantly increased in recent years, which has caused the occurrence of thermal cracks. This paper presents the result of the tests on specimens of asphalt concrete AC 11 surf B 50/70 A2/Z2 at the low temperature as a function of bitumen content. We have carried out the cooling test (Tensile Stress Restrained Specimen Test – TSRST) and uniaxial tensile test (Uniaxial Tensile Strength Test – UTST). The analysis of the results has shown a poor correlation between the bitumen content and TSRST test results. The results of the uniaxial tensile test UTST in the dependence of bitumen content indicate that the correlation depends on the test temperature. What is especially evident is a good correlation between the maximum reserves of tensile strength $\Delta\beta_{t,max}$ and temperature at the maximum reserve tensile strength $T(\Delta\beta_{t,max})$. At the bitumen content 4.8 m.-% it was observed that the maximum reserves of tensile strength $\Delta\beta_{t,max}$ and the temperature at the maximum reserve tensile strength $T(\Delta\beta_{t,max})$ has only slightly changed. Over 4.8 m.-% both of properties have drastically improved. Therefore, the 4.8 m.-% is a minimum bitumen content for our specific bituminous mixture AC 11 surf B 50/70 A2/Z2. This study shows that the bitumen content has very important influence on the properties of the bituminous mixture at the low temperatures.

Keywords: asphalt concrete, bitumen, low temperature, cracks

1 • UVOD

Na slovenskih asfaltnih voziščih je opaziti poškodbe v obliki razpok. Žmavc (Žmavc, 2010) opisuje, da razpoke razvrščamo na osnovi značilne oblike in mesta v krovni plasti. Delimo jih na linijske in mrežaste. Vzroki za nastanek razpok na asfaltnih vozniških površinah so škodljive spremembe mehanskih, fizikalnih in kemijskih lastnosti vgrajenih materialov. V naravi se večina gradbenih materialov pri segrevanju razteguje in pri ohlajanju krči, tudi bitumenizirana zmes. Z nižanjem temperature je stanje vedno bolj podobno kot pri elastičnih materialih, v bitumenizirani zmesi pa natezna napetost narašča. Ko natezna napetost preseže natezno trdnost materiala, nastane porušitev (Arand, 2002) v obliki razpok. Te napetosti se od zgornjega roba asfaltna plasti proti spodnjemu nelinearno manjšajo (Žmavc, 2010), zato se razpoka širi od zgoraj navzdol (Read, 2003). Poleg nizkih temperatur je v zadnjem obdobju v Sloveniji tudi občuten porast prometnih obremenitev, kar pospešuje nastanek razpok pri nizkih temperaturah. Henigman (Henigman, 2010) opisuje, da se je na slovenskih avtocestah v zadnjih desetih letih na posameznih avtocestnih krakih povečala rast prometne obremenitve od planiranih 3 do 4 % letno za 4- do 5-krat oziroma med 16 in 17 % letno.

V prvem delu prispevka so na kratko prikazane meritve nizkih temperatur na slovenskih asfaltnih voziščih. V drugem sklopu prispevka so predstavljeni rezultati in analiza preskusov na vzorcih bitumenskega betona AC 11 surf B50/70 A2/Z2 pri nizkih temperaturah v odvisnosti od deleža bitumna v bitumenizirani zmesi. Opravljena sta bila ohlajevalni preskus ob preprečeni deformaciji (ang. Tensile Stress Restrained Specimen Test – TSRST) in enoosni natezni preskus pri nizkih temperaturah (ang. Uniaxial Tensile Strength Test – UTST), oba preskusa v skladu s standardom kSIST FprEN 12697-46:2009.

Pri ohlajevalnem preskusu TSRST je togo vpeti preskušaneec dimenzij 4 x 16 cm ohlajan pri nespremenjeni dolžini. Ohlajanje poteka s hitrostjo $dT = (-10 \pm 0,5)\text{ K/h}$. Rezultat preskusa je kriogenska natezna napetost v odvisnosti od temperature $\sigma_{cry}(T)$ (MPa), napetost pri porušitvi $\sigma_{cry,f}(T)$ (MPa) in temperatura pri porušitvi T_f ($^{\circ}\text{C}$). Pri enoosnem nateznem preskusu preskušaneec enakomerno raztegujemo pri konstantni temperaturi. Preskušanje poteka pri temperaturah $T_i = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Raztezanje poteka s hitrostjo $d\varepsilon = (0,625 \pm 0,025)\text{ \%}/\text{min}$. Rezultat sta natezna trdnost β_t (MPa) in raztezek pri porušitvi ε_f (%). Preskus TSRST simulira obremenitev asfaltna zmesi pri nizki temperaturi, kjer nastanejo termično inducirane natezne napetosti, ki jih omenjeni standard imenuje



Slika 1a • Prečna razpoka (Babno Polje, februar 2012)



Slika 1b • Vzdolžna razpoka v območju kolesnih sledi (Babno Polje, februar 2012)

kriogenske natezne napetosti (ang. cryogenic tensile stress), te se na asfaltnem vozišču odražajo predvsem kot prečne razpoke na razdalji 3 do 5 m (slika 1a). Preskus UTST simulira odpornost asfaltnih zmesi na enosno natezno obremenitev zaradi obtežb, ki jih povzroči prometna obremenitev v osi kolesnice in v območju kolesnih sledi, zaradi česar

na vozišču nastanejo vzdolžne razpoke na razdalji 30 do 90 cm od osi kolesnice (slika 1b) (Spiegl, 2008). Takšne nizkotemperaturne razpoke so opazne tudi v Avstriji v podnebnih območjih z minimalno temperaturo zraka do $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ in maksimalno stopnjo ohlajanja od $7,5\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ (Wistuba, 2002). Razliko med natezno trdnostjo materiala $\beta_i(T)$ in kriogensko

natezno napetostjo $\sigma_{cry}(T)$ imenujemo rezerva natezne trdnosti $\Delta\beta_i(T)$ (Read, 2003). Od tod lahko odčitamo največjo rezervo natezne trdnosti $\Delta\beta_i(T)$ in temperaturo pri največji rezervi natezne trdnosti $T_{\Delta\beta_i}$. Enačba za rezervo natezne trdnosti je

$$\Delta\beta_i(T) = \beta_i(T) - \sigma_{cry}(T) \quad (1)$$

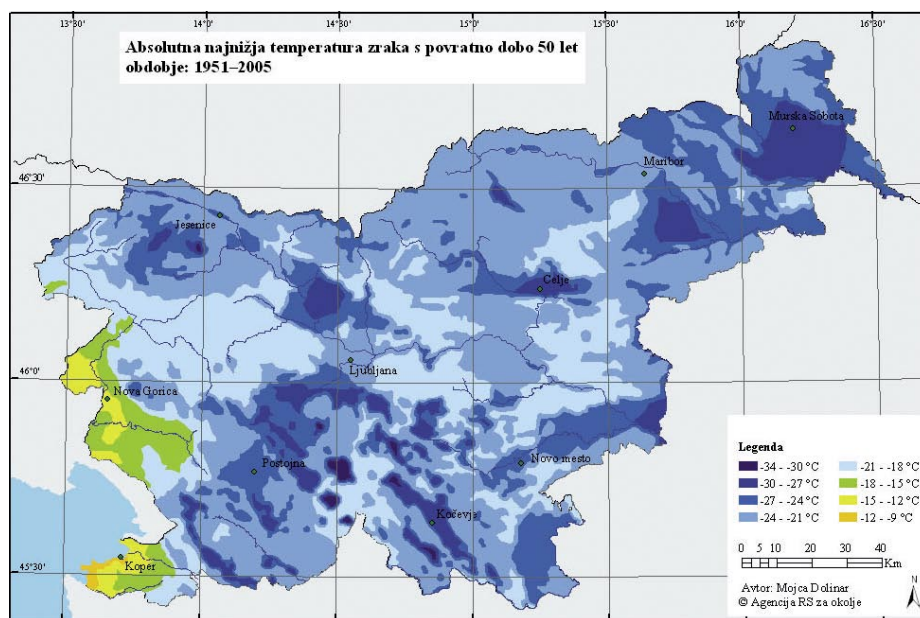
2 • MERITVE NIZKIH TEMPERATUR NA SLOVENSkih VOZIŠČIH

V Sloveniji se srečujemo z zelo nizkimi temperaturami zraka. Po podatkih ARSO je praktično na celotnem območju Slovenije absolutna izmerjena najnižja temperatura zraka s povratno dobo 50 let (obdobje 1951 do 2005) pod $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (slika 2). Izjema je del Primorske in Vipavske doline, kjer so temperature nekoliko višje. Najnižje temperature in največja verjetnost, da nastanejo razpoke prav zaradi nizkih temperatur, so na Gorenjskem v območju Triglavskega narodnega parka, Kamnika in Velike planine, na notranjskem in dolenskem v območju Vrhnike, Cerknice, Babnega Polja, Ribnice, Kočevja in Brežic, na Štajerskem v območju Celja, Rogle in Ptuja ter v Prekmurju v območju Murske Sobote pa vse do hrvaško-madžarske meje.

Od leta 2008 dalje je v Sloveniji vzpostavljen Cestno-vremenski informacijski sistem CVIS, ki ga uporabljajo pri Direkciji RS za ceste (DRSC) ter Družbi za avtoceste v RS (DARS), omogoča pa enoten pregled nad stanjem cestišča na lokacijah cestno-vremenskih postaj (CVP). CVP imajo vgrajene merilnike za temperaturo zraka in vozišča (2 do 5 cm v obrani plasti), vlažnost zraka, jakost padavin, vidljivost, sončno sevanje in veter. Podatki se preko komunikacijske opreme zapisujejo v skupno bazo podatkov (Šajin Slak, 2010). Od DRSC smo pridobili podatke o doslej izmerjeni najnižji temperaturi vozišča v Sloveniji. S slike 3 (rdeča linija) je razvidno, da je bila izmerjena najnižja temperatura 20. decembra 2009 na mostu ceste Gorica–Predel in je znašala $-16,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ter na lokaciji Kranj–Delavski most $-16,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ istega dne. Tudi v začetku februarja letos so na teh dveh lokacijah temperature vozišča padle pod $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na sliki 3a vidimo, da je v sedmih urah upad temperature z $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ob 13. uri) na $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ob 20. uri), torej je bila stopnja padanja temperature za $1,8\text{ }^{\circ}\text{C/h}$. Po podatkih DARS so bile v zimskem obdobju leta 2011 in 2012 najnižje izmerjene vrednosti

temperature v vozišču z avtocestnimi CVP-ji v krajih Divača $-13,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, Ivanje selo $-14,7\text{ }^{\circ}\text{C}$,

Podmežakla II $-14,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, Kresnica $-10,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ in Dobovo $-16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Slika 2 • Absolutno najnižje temperature zraka s povratno dobo 50 let za obdobje 1951–2005 (ARSO, 2012)



Slika 3a • Podatki CVIS na mostu ceste Gorica – Predel na lokaciji CVP, 20. december 2009



Slika 3b • Podatki CVIS na cesti Kranj – Delavski most na lokaciji CVP, 20. december 2009

3 • PRESKUSI PRI NIZKIH TEMPERATURAH

3.1 Material

Preskuse smo opravljali v laboratoriju v ZAG na predhodno pripravljenih vzorcih bitumenizirane zmesi AC 11 surf B 50/70 A2/Z2 (SIST 1038-1:2008). Uporabljena je bila kamena moka – polnilo (Stahovica), zmes kamnitih zrn 0/2, 2/4, 4/8 in 8/11 mm (Ljubeščica) ter bitumen B50/70 (MOL). V laboratoriju smo pripravili pet sestav bitumeniziranih zmesi v odvisnosti od deleža bitumna (4,0, 5,0, 5,4, 5,8 in 6,0 m.-%). V preglednici 1 so prikazane lastnosti vhodnega in ekstrahiranega cestogradbenega bitumna B50/70, ki je bil uporabljen v bitumenizirani zmesi (Poročilo ZAG, št. P 790/10-760-1 in P 790/10-760-6). Slika 4 predstavlja presejne krivulje za vsak vzorec v odvisnosti od deleža bitumna. S slike 4 je razvidno, da se presejne krivulje med seboj prekrivajo, kar dokazuje, da se sestava zmesi kamnitih zrn ni spreminjala in tudi delež polnila (zrna pod 0,125 mm) se praktično ni spreminjal.

Pri spreminjanju deleža bitumna se ob nespremenjeni presejni krivulji spreminja vsebnost votlin. V preglednici 2 so prikazani rezultati nekaterih osnovnih preskusov bitumeniziranih zmesi (Poročilo ZAG, št. P 790/10-760-6 in P 790/10-760-9). Iz rezultatov je razvidno, da je lahko variiral delež polnila. Največje odstopanje je bilo ugotovljeno pri deležu bitumna 5,6 m.-%.

3.2 Rezultati in analiza

Iz rezultatov ohlajevalnega preskusa TSRST zmesi AC 11 surf B 50/70 A2/Z2 (Poročilo ZAG, št. P 790/10-760-3, P 790/10-760-4, P 790/10-760-5, P 790/10-760-7 in P 790/10-760-8) vidimo, da je pri natezni napetosti $\sigma_{cry,t}$ (v nadaljevanju σ_t) in temperaturi pri porušitvi T_f v odvisnosti od deleža bitumna korelacija slaba: $R^2 = 0,35$ in $R^2 = 0,55$ (sliki 5a in 5b). Z nazadnje omenjenih dveh slik lahko ocenimo le trend, da z večanjem deleža bitumna narašča natezna trdnost σ_t in se zmanjšuje temperatura pri porušitvi T_f . Arand (Arand, 2002) omenja, da pri bitumenskem betonu 0/11 delež polnila, bitumna in drobljenega peska v primerjavi z viskoznostjo bitumna zelo malo vpliva na temperaturo pri porušitvi T_f .

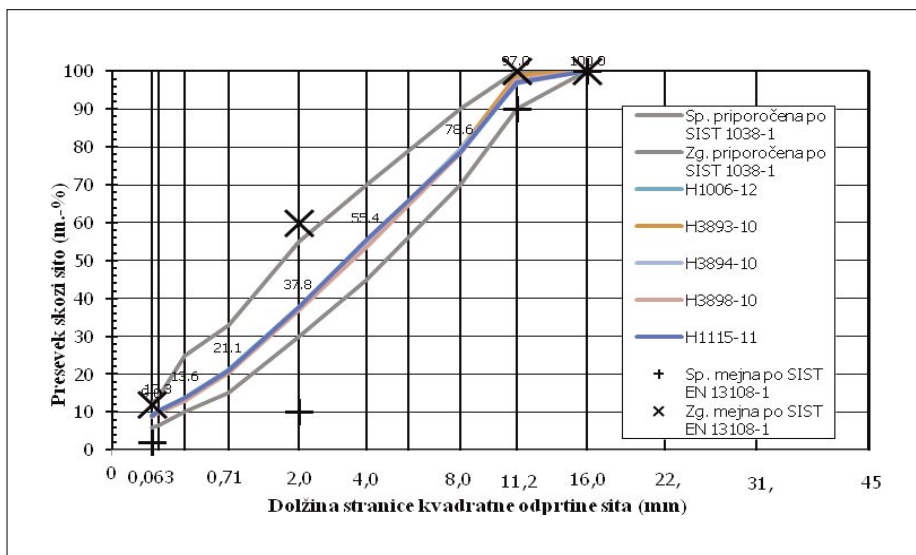
Iz rezultatov enoosnega nateznega preskusa UTST (Poročilo ZAG, št. P 790/10-760-3, P 790/10-760-4, P 790/10-760-5, P 790/10-760-7 in P 790/10-760-8) je razvidno, da

Št.	Lastnosti	Enota	Zahteve po metodah SIST EN	Vhodni bitumen	Ekstrahirani bitumen
1	Penetracija pri 25 °C	mm/10	SIST EN 1426:2007	56	39
2	Zmehčišče po PK	°C	SIST EN 1427:2007	52	56,6
3	Indeks penetracije	–	SIST EN 12591, tč. B4:2004	-0,4	-0,25
4	Pretrgališče po Fraassu	°C	SIST EN 12593:2007	-15	-13
5	Prostorninska masa – analiza izvedena v vodi	kg/m ³	SIST EN ISO 3838	1,0142	n. d.

Preglednica 1 • Lastnosti vhodnega in ekstrahiranega cestogradbenega bitumna B50/70

Oznaka vzorca	Delež bitumna	Presek skozi sito 0,063	Prostorninska masa Marshallovega preskušanca	Vsebnosti votlin v Marshallovem preskušancu	Vsebnost votlin v zmesi kamnitih zrn, zapoljenih z bitumnom
	(m.-%)	(m.-%)	(kg/m ³)	(V.-%)	VFB (%)
H1006-12	3,9	9,3	2404	8,0	62,8
H3893	4,9	9,1	2441	5,0	79,4
H3874	5,3	9,0	2461	3,8	86,1
H3898	5,6	8,6	2467	2,6	92,5
H1115-11	6,0	9,0	2484	1,8	97,9

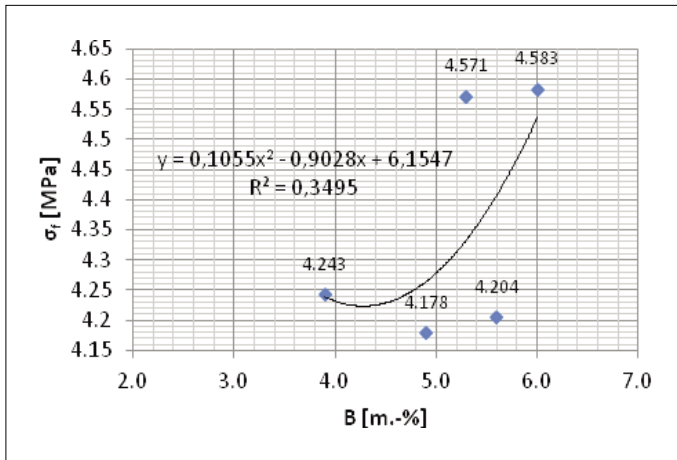
Preglednica 2 • Rezultati nekaterih osnovnih preiskav bitumeniziranih zmesi



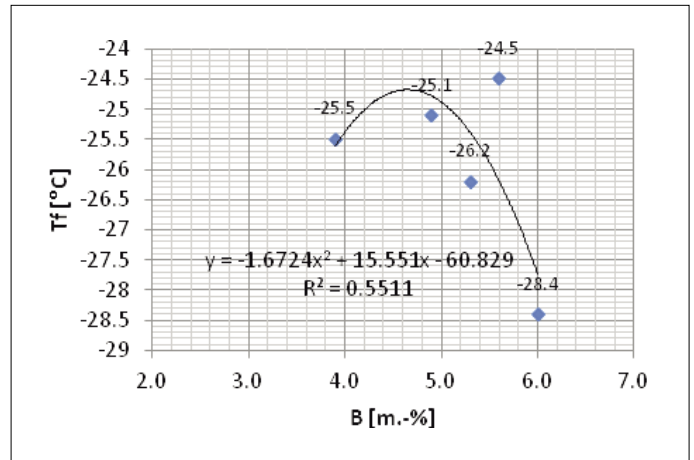
Slika 4 • Presejne krivulje zmesi kamnitih zrn

je korelacija med rezultati UTST in deležem bitumna odvisna od temperature, pri kateri je bil preskus opravljen (sliki 6a in 6b). Slika 6a kaže, da obstaja dobra korelacija med β_t/B pri

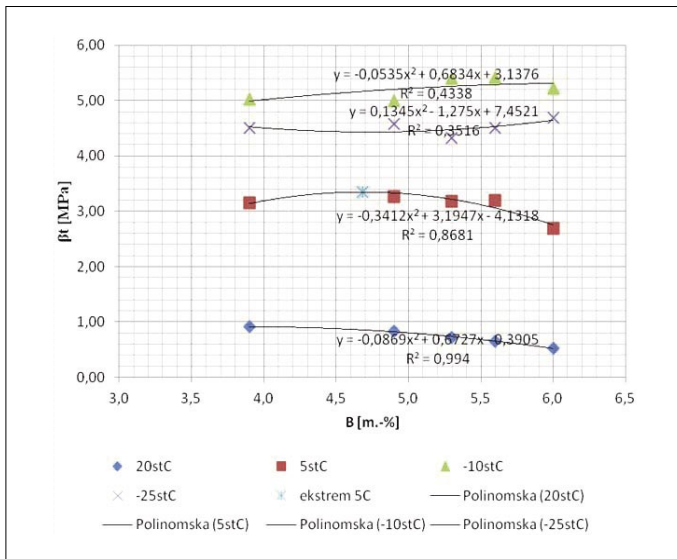
temperaturi 20 °C ($R^2 = 0,994$) in pri temperaturi 5 °C ($R^2 = 0,8681$). Pri temperaturi -10 °C in -25 °C pa je slaba (slika 6b). Pri temperaturi 20 °C se z večanjem deleža bitumna



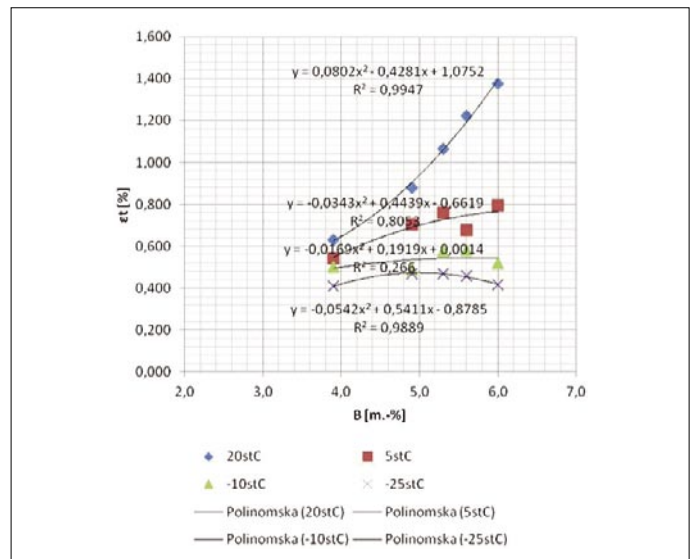
Slika 5a • Največja natezna napetost σ_f v odvisnosti od deleža bitumna B pri AC 11 surf B 50/70 A2/Z2



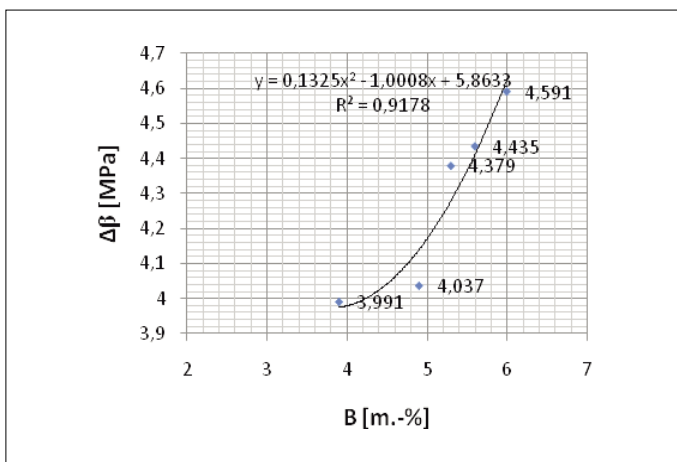
Slika 5b • Temperatura pri porušitvi T_f v odvisnosti od deleža bitumna B pri AC 11 surf B 50/70 A2/Z2



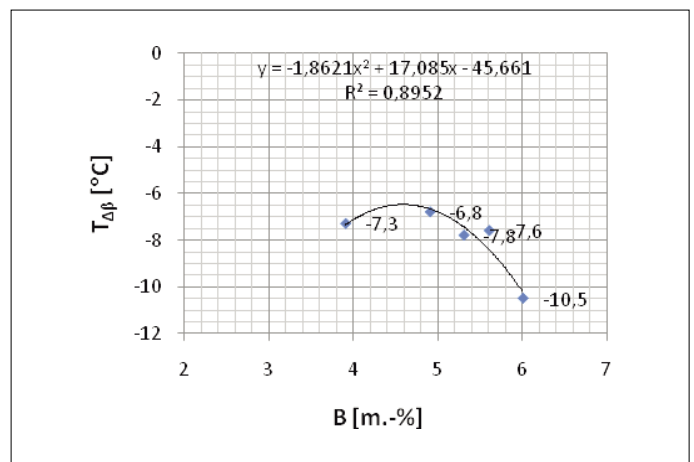
Slika 6a • Natezna trdnost β v odvisnosti od deleža bitumna B pri AC 11 surf B 50/70 A2/Z2



Slika 6b • Raztezek ϵ v odvisnosti od deleža bitumna B pri AC 11 surf B 50/70 A2/Z2



Slika 7a • Največja rezerva natezne trdnosti $\Delta\beta$ v odvisnosti od deleža bitumna B v sestavi AC 11 surf B50/70 A2/Z2



Slika 7b • Temperatura pri največji rezervi natezne trdnosti $T_{\Delta\beta}$ v odvisnosti od deleža bitumna B v sestavi AC 11 surf B50/70 A2/Z2

rahlo znižuje natezna trdnost β_t (slika 6a) in drastično povečuje raztezek pri porušitvi ϵ_r , kar je posledica viskoelastičnega obnašanja zmesi pri tej temperaturi. Pri temperaturi 5 °C natezna trdnost pri deležu bitumna nad 4,7 m.% pada hitreje, vendar manj kot pri temperaturi 20 °C. Raztezek ϵ_t pri temperaturi 5 °C kaže še vedno na viskoelastično obnašanje zmesi, vendar manjše, kot je to opaziti pri temperaturi 20 °C. Pri temperaturi -10 in -25 °C se natezna trdnost in raztezek pri porušitvi v odvisnosti od deleža bitumna zelo malo spreminjata, zato

lahko sklepamo, da je to posledica povsem elastičnega obnašanja zmesi. Rezultati največje rezerve natezne trdnosti $\Delta\beta_{t,max}$ (v nadaljevanju $\Delta\beta$) in temperature pri največji rezervi natezne trdnosti $T_{\Delta\beta,t,max}$ (v nadaljevanju $T_{\Delta\beta}$) v odvisnosti od deleža bitumna kažejo dobro korelacijo in nelinearno odvisnost (sliki 7a in 7b). V primerjavi z zgoraj navedenimi korelacijami izhaja, da vpliv deleža bitumna pri nizkih temperaturah najboljše opisuje največja rezerva natezne trdnosti in temperatura pri njej.

Slika 7a prikazuje, da se s povečevanjem deleža bitumna, s 4,8 na 6,0 m.%, največja rezerva natezne trdnosti $\Delta\beta$ bistveno poveča in temperatura pri največji rezervi natezne trdnosti $T_{\Delta\beta}$ zniža z -6,7 °C na -10,5 °C (slika 7b). Pri deležih bitumna 4,0 in 4,8 m.% opazimo, da se obe vrednosti zelo malo spreminjata. Od tod sklepamo, da ima delež bitumna v tej raziskavi pomembno vlogo, kajti s povečevanjem deleža bitumna nad 4,8 m.% bistveno izboljšamo lastnosti bitumenskega betona pri nizkih temperaturah.

4 • SKLEP

Na večjem območju Slovenije so pozimi nizke temperature, kar predstavlja večjo verjetnost za nastanek razpok na asfaltnih voziščih. Po podatkih DRSC in DARS je bila letošnja zimo izmerjena najnižja temperatura vozišča pod -16 °C. Poleg nizkih temperatur je v zadnjem obdobju v Sloveniji tudi občuten porast prometnih obremenitev, ki pospešujejo nastanek termičnih razpok.

V prispevku so predstavljeni rezultati in analiza preskusov bitumenskega betona AC 11 surf B50/70 A2/Z2 pri nizkih temperaturah v odvisnosti od deleža bitumna. Analiza rezultatov je pokazala slabo korelacijo med deležem bitumna in rezultati preskusa TSRST. Rezultati enoosnega nateznega preskusa UTST v odvisnosti od deleža bitumna kažejo, da je kore-

lacija odvisna od temperature, pri kateri je bil preskus opravljen. Zelo dobra korelacija je pri temperaturah 20 °C in 5 °C, pri temperaturah -10 °C in -25 °C pa je slaba. Dobro korelacijo v odvisnosti od deleža bitumna pa kažejo rezultati pri največji rezervi natezne trdnosti $\Delta\beta$ in pri njeni temperaturi $T_{\Delta\beta}$.

Pri deležih bitumna 4,0 in 4,8 m.% opazimo, da se največja rezerva natezne trdnosti $\Delta\beta$ in temperatura pri največji rezervi natezne trdnosti $T_{\Delta\beta}$ zelo malo spreminjata. S povečevanjem deleža bitumna s 4,8 na 6,0 m.% se največja rezerva natezne trdnosti $\Delta\beta$ bistveno poveča in temperatura pri največji rezervi natezne trdnosti $T_{\Delta\beta}$ zniža, kar ugodno vpliva na odpornost proti nastanku razpok. Od tod sklepamo, da je za sestavo AC 11 surf B50/70

A2/Z2 v tem primeru minimalni potrebni delež bitumna 4,8 m.%. Ti rezultati tudi kažejo na nelinearno odvisnost med največjo rezervno natezne trdnosti $\Delta\beta$ ter temperaturo $T_{\Delta\beta}$ in deležem bitumna.

Iz rezultatov UTST smo pri temperaturi 20 °C opazili viskoelastično obnašanje bitumenizirane zmesi. Pri temperaturi 5 °C pa se izgublja viskozni del. Pri temperaturi -10 in -25 °C se natezna trdnost in raztezek v odvisnosti od deleža bitumna zelo malo spreminjata, iz česar lahko sklepamo, da je to posledica povsem elastičnega obnašanja zmesi.

Na podlagi raziskav ugotavljamo, da pri naši konkretni sestavi delež bitumna pomembno vpliva na obnašanje bitumenizirane zmesi pri nizkih temperaturah. S povečevanjem deleža bitumna nad 4,8 m.% bistveno izboljšamo lastnosti bitumenskega betona in njegovo odpornost proti nastanku razpok pri nizkih temperaturah.

5 • LITERATURA

- Arand, W., On the crack resistance and the fatigue behaviour of asphalts for pavements, 7. kolokvij o bitumnih, Združenje asfalterjev Slovenije, Gozd Martuljek, str. 3–15, 2002.
- ARSO, 2012: povzeto po: <http://www.arso.gov.si/vreme/podnebnje/karte/karta4020.html>
- Henigman, S., Voziščne konstrukcije na avtocestah in v predorih – asfalt ali beton? 14. od skupščine do skupščine, strokovni prispevki, Združenje asfalterjev Slovenije, Ljubljana, str. 24–27, 2010.
- KSIST FprEN 12697-46:2011 (Bitumenske zmesi – preskusne metode za vroče asfaltne zmesi, 46. del, Odpornost asfaltne plasti proti razpokam pri nizkih temperaturah z enoosnimi nateznimi preskusi).
- Poročilo ZAG, št. P 790/10-760-1, P 790/10-760-3, P 790/10-760-4, P 790/10-760-5, P 790/10-760-6, P 790/10-760-7, P 790/10-760-8, P 790/10-760-9.
- Read, J. et al., The Shell Bitumen Handbook, 5th edition, Tomas Telford Publishing, London, str. 196–199, 2003.
- SIST 1038-1:2008 Bituminizirane zmesi, specifikacije materialov, 1. del, Bitumenski beton, zahteve, pravila za uporabo SIST EN 13108-1.
- Spiegel, M., Tieftemperaturverhalten von bituminösen Baustoffen, Labortechnische Ansprache und numerische Simulation des Gebrauchsverhaltens, Dissertation, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Technische Universität Wien, Heft 19, Wien, str. 13–17, 2008.
- Šajn Slak, A., Čarman, S., Kršmanc, R., Ivačič, M., Černivec, R., Herga, L., Vidiki razvoja cestno-vremenskega informacijskega sistema, 10. SLOVENSKI KONGRES O CESTAH IN PROMETU, Portorož, 20.–22. oktober 2010, str. 497, 2010.
- Wüstuba, M., Klimaeinflüsse auf Asphaltstraßen, Maßgebende Temperatur für die analytische Oberbaubemessung in Österreich, Dissertation, Mitteilungen des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung, Ausgabe 15, Technische Universität Wien, Wien, 2002.
- Žmavc, J., Vzdrževanje cest, UL FGG in DRC, Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije, Ljubljana, str. 54–57, 2010.